

深部反射波抽出に向けた速度不均質構造推定の高精度化 Strategic seismic data processing for extraction of deep crustal reflectors through reconstructed velocity heterogeneity

阿部 進^{1*}; 佐藤 比呂志²; 石山 達也²; 齊藤 秀雄¹
ABE, Susumu^{1*}; SATO, Hiroshi²; ISHIYAMA, Tatsuya²; SAITO, Hideo¹

¹ 地球科学総合研, ² 東大地震研
¹JGI, Inc., ²ERI, Univ. of Tokyo

沿岸-海陸境界域を含む近年の反射法地震探査では、有線テレメトリー方式の陸域及び浅海域における受振システムと独立型データ収録システムの併用による稠密展開を伴う多チャンネル長大測線(測線長 100~250km)の設定によって、同一測線内の複数の探査対象及び深度に見合った、低重合広角反射法、広域屈折法及び稠密展開反射法の同時取得、海域着底ケーブルを中心とした多成分データ取得によるマルチスケール・マルチモード型調査仕様が実現した。

本研究では、従来型の CMP 重合解析のみでは限界があった深部地殻構造プロファイリングについて、以下の多角的なアプローチをマルチスケール型稠密長大展開データに適用することによって、深部反射波列の抽出とイメージングの高精度化について検証を実施した。第一に、屈折法・反射法統合プロファイリングによる速度推定の高精度化を試みた。屈折トモグラフィー解析に関しては、ランダム化初期モデル手法の採用によって、客観指標による速度構造推定と誤差評価を実施し、反射波及び屈折波フォワードモデリングを併用した総合的な速度モデル構築を行うと共に、広角領域データに対するフルウェーブインバージョンの適用を通じて、短波長不均質構造の抽出を試行した。第二に、広角領域を含む反射法イメージングの改善を目的として、軸波線理論を前提とした MDRS(Multi-dip Reflection Surface)法を含めた最適化重合処理、さらには短波長不均質を含むフルウェーブインバージョンによって推定された速度構造を前提とした重合前深度マイグレーション処理の適用性を検討した。

また、本研究では、国内における深部地殻構造探査データを対象事例として、多様な速度推定情報の複合化を実施すると共に、推定された速度構造の不均質と深部反射波イメージングの解像度について議論を行った。

キーワード: 深部反射波, 速度不均質, フルウェーブインバージョン, 反射法地震探査

Keywords: deep reflection, velocity heterogeneity, fullwave inversion, seismic reflection survey

近畿地方北部における地殻内及び最上部マンタルの地震波速度不連続面の推定 Estimation of seismic velocity discontinuity in the crust and uppermost mantle beneath the northern Kinki region

青木 将^{1*}; 飯尾 能久¹; 澁谷 拓郎¹; 片尾 浩¹; 三浦 勉¹; 米田 格¹; 澤田 麻沙代¹
AOKI, Sho^{1*}; IIO, Yoshihisa¹; SHIBUTANI, Takuo¹; KATAO, Hiroshi¹; MIURA, Tsutomu¹;
YONEDA, Itaru¹; SAWADA, Masayo¹

¹ 京大・防災研

¹ DPRI, Kyoto Univ

近畿地方北部は、ひずみ集中帯の一部を構成する地域であり、その地下にはフィリピン海プレートが沈み込んでいる。またこの地域では、微小地震活動が活発であり、深さ 25-30 km 付近に S 波反射面の存在が知られている（例えば、青木ほか、2013）。青木ほか（2013）は、反射法により S 波反射面の 3 次元的な分布を明らかにし、マンタルからの流体によってこの反射面が形成されている可能性を指摘した。この流体の供給源として、沈み込むフィリピン海プレートからの脱水が考えられる。海洋地殻中の含水鉱物が脱水分解する際に、温度・圧力条件が重要となるため、プレートの形状や深さを詳細に推定する事が重要である。

沈み込むプレートをイメージングするために、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よく行われている。澁谷ほか（2013）では、稠密リニアアレイ観測により、主に紀伊半島下のフィリピン海プレートとその周辺の構造を推定している。Ueno et al.（2008）では、本研究地域を含むように中国地方と近畿地方下のモホ面やフィリピン海プレートの深さを推定しているが、定常観測点のみを用いているため解析分解能が低く、局所的な不均質構造との対比を行う事が難しい。近畿地方北部では、2008 年から満点地震計による 45 点の稠密地震観測が行われている。2009 年にはさらに観測点が増強され、現在 89 点の臨時観測点と 81 点の定常観測点による観測が行われている。観測点間隔は約 5 km である。この観測網によって得られたデータを使用する事により、より高分解能な解析を行う事ができると期待される。佐々木（2011）は上記の観測点のうち、56 点で得られたデータを用いて、preliminary な解析を行った。本発表では、この稠密地震観測網によって得られている、2008 年 11 月から 2014 年 3 月の間に発生した、震央距離が 30°~80°、M6.0 以上の遠地地震のデータを使用し、レシーバ関数解析によって得られた地殻及び最上部マンタルの地震波速度不連続面について報告する。また、青木（2013）によって得られている S 波反射面と比較を行い、その関係について議論する。

キーワード: レシーバ関数

Keywords: receiver function

琉球海溝南部の地震学的構造 Seismic structure in the southern Ryukyu Trench subduction zone

山本 揚二郎^{1*}; 高橋 努¹; 海宝 由佳¹; 石原 靖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
YAMAMOTO, Yojiro^{1*}; TAKAHASHI, Tsutomu¹; KAIHO, Yuka¹; ISHIHARA, Yasushi¹; ARAI, Ryuta¹;
NAKANISHI, Ayako¹; OBANA, Koichiro¹; MIURA, Seiichi¹; KODAIRA, Shuichi¹; KANEDA, Yoshiyuki²

¹ 海洋研究開発機構, ² 名古屋大学

¹JAMSTEC, ²Nagoya 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, the result of offshore geodetic observation showed interplate coupling occurs near the trench [Nakamura et al., 2010], where plausible seismogenic zone of the 1771 Yaeyama earthquake (Mw 8.0) is located [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, not only the fault plane geometry of past large earthquakes but also the local seismic structure is uncertain due to the sparse seismic observation network. To investigate the hypocenter distribution and the subducted plate geometry, we have conducted the passive seismic observation 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".

We performed a seismic tomography to estimate the hypocenter location and plate geometry by using a part of obtained data, although the data picking is still in progress. The initial P-wave model was established by referring the result of active source survey [Arai et al., 2014], and the initial S-wave model was calculated by assuming a V_p/V_s value of 1.73. As the initial S-wave velocity model did not include the low-velocity sediment layer just beneath the OBSs, we calculated a station correction value for the S-wave arrival data by using the differential times of arrivals between PS converted waves and direct P-waves.

Preliminary result shows northwestern dipping hypocenter distribution and low velocity layer in the forearc region. We interpreted this layer as the subducted oceanic crust. In that case, most of earthquakes located within the oceanic crust and the uppermost oceanic mantle, and the dip angle of plate boundary gradually increased from 10 degrees near the trench axis to 30 degrees beneath the island arc. We will add more data and estimate more detail relationship between earthquake location and plate geometry.

Keywords: The Ryukyu Trench, Ocean bottom seismograph, Seismicity, Plate geometry

海底地震計を用いた地震探査による能登半島西方沖・日本海南東部の島弧—背弧海盆域の地殻構造 Crustal structure in an arc-back-arc basin of the southeastern Japan Sea off Noto Peninsula deduced from seismic survey

佐藤 壮^{1*}; 野 徹雄¹; 三浦 誠一¹; 小平 秀一¹; 石山 達也²; 佐藤 比呂志²
SATO, Takeshi^{1*}; NO, Tetsuo¹; MIURA, Seiichi¹; KODAIRA, Shuichi¹; ISHIYAMA, Tatsuya²;
SATO, Hiroshi²

¹ 海洋研究開発機構, ² 東大地震研
¹JAMSTEC, ²ERI, Univ. of Tokyo

北西太平洋の背弧海盆の1つである日本海は、約 30 Ma からのアジア大陸からのリフティング、その後の海洋底拡大を含む背弧拡大によって約 12 Ma までに形成し、約 3.5 Ma からは東縁や南西縁部を中心に短縮変形が起きている（例えば、Tamaki et al., 1992; Sato, 1994）。この日本海の背弧拡大と短縮変形のメカニズムについては、基礎資料の1つと考えられる地殻構造が少なかったため、よくわかっていなかった。これらのメカニズムの理解するために、青森県西方～能登半島東方沖にかけての日本海東縁部において地震探査を実施し、その結果、地殻構造の分布と短縮変形によって形成した被害地震の震源断層を含む活断層や活褶曲の分布との対応関係が明らかになった（No et al., 2014; Sato et al., 2014）。しかしながら、上記域以外の日本海では、東縁部で実施した地震探査と同規模なものも行われていないため、上記のメカニズムの理解を深化させるために必要な地殻構造や、構造と活断層や活褶曲との分布の対応関係はよくわかっていない。そこで、詳細な地殻構造や活断層等の分布の対応関係を把握するために、日本海地震津波防災研究プロジェクトの一環として、2014年夏に能登半島西方沖の日本海南東部の沿岸部から背弧海盆である大和海盆に至る海域で、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 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。

OBS 探査は能登半島西方沖の大陸棚から大和海盆南部、大和堆にかけて長さ約 350 km の測線において、制御震源として総容量 7,800 cubic inch のエアガンレーと OBS60 台を使用して行われた。MCS 探査は OBS 探査測線と同一なものを含め 11 測線にて、OBS 探査と同じ制御震源と 444 チャンネルのストリーマケーブルを用いて実施した（野・他, 2015JpGU）。OBS 探査測線は東京大学地震研究所が陸域で実施した地震探査測線（かほく-砺波測線）と接続している。OBS 探査で得られた OBS の記録は良好である。海盆部に設置した OBS の記録では、初動が震央距離約 70 km まで追跡でき、最上部マントルを通過した屈折波である Pn が震央距離約 60 km、モホ面からの反射波である PmP が震央距離約 40 km から明瞭に観測されている。また MCS 探査においても、良好な記録が得られた。

暫定的な結果であるが、能登半島沖の大陸棚部では、海嶺下の地殻全体の厚さは約 24 km である。速度構造の不均質が確認でき、この不均質は一部では深さ約 10 km まで分布している。一方、能登半島西方沖の大和海盆南部の地殻は約 13 km の厚さを持っており、佐渡島北西沖、粟島沖の大和海盆の地殻の厚さよりも薄い。また、大和堆の地殻の厚さは約 21 km と推測でき、この厚さと速度分布から、大陸性地殻の特徴を持っていることが推測される。

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「2014年かほく-砺波測線」による富山堆積盆地の構造 Onshore-offshore deep seismic profiling across the Toyama basin: 2014 Kahoku-Tonami seismic survey

石山 達也^{1*}; 佐藤 比呂志¹; 加藤 直子¹; 蔵下 英司¹; 戸田 茂²; 越谷 信³; 小林 健太⁴; 野 徹雄⁶; 佐藤 壮⁶; 小平 秀一⁶; 白石 和也⁶; 東中 基倫⁶; 阿部 進¹; かほく 砺波構造探査研究グループ¹
ISHIYAMA, Tatsuya^{1*}; SATO, Hiroshi¹; KATO, Naoko¹; KURASHIMO, Eiji¹; TODA, Shigeru²; KOSHIYA, Shin³; KOBAYASHI, Kenta⁴; NO, Tetsuo⁶; SATO, Takeshi⁶; KODAIRA, Shuichi⁶; SHIRAISHI, Kazuya⁶; HIGASHINAKA, Motonori⁶; ABE, Susumu¹; RESEARCH GROUP FOR 2014 KAHOKU-TONAMI, Seismic survey¹

¹ 東京大学地震研究所, ² 愛知教育大学, ³ 岩手大学工学部社会環境工学科, ⁴ 新潟大学理学部地質科学科, ⁵ 独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波海域観測研究開発センター, ⁶ 株式会社地球科学総合研究所

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²Aichi Educational University, ³Iwate University, ⁴Niigata University,

⁵Research and Development center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁶JGI, Inc

文部科学省「日本海地震津波調査プロジェクト」のプロジェクトの一環として、2014年度に山陰沖から北陸地域において、震源断層の分布・形状と地殻構造を解明する目的で、海陸統合および沿岸域における地殻構造調査が実施された。本発表では、富山県八尾から呉羽丘陵・砺波平野・宝達山地を横断し、石川県かほく市沖に至る測線で実施した海陸統合深部地殻構造探査の結果について報告する。

今回の地殻構造探査の特色は、水平解像度の向上による複雑な地質構造のイメージングを図るため、多数の独立型収録器を駆使し、深部構造探査としては稠密な25m間隔の受振・発震を実現したことである。測線は、富山県八尾町から石川県かほく市高松にいたる15km区間に、受振点間隔25mの陸上探査測線を設定すると共に、海域延長部には2.5kmにわたって海底着底ケーブルを設置し、25m間隔での大型バイブレータ4台およびエアガン(容量3020cu.inch)の発震記録を受振した。また、屈折法による速度構造の推定のため、陸上区間10点(約5km間隔)において、100-150 sweepの集中発震を実施した。これらをもって海陸統合測線(KT01)を構成した。また、測線の一部に当たる砺波平野中部・宝達山地東麓部の約10km区間では、更に12.5m間隔で独立型収録器と中型バイブレーターによる稠密発震を行い、高分解能反射法のデータを取得した。

KT01測線が横断する砺波平野下では、P波速度が5km/secを超える層が海水準下5kmに分布している。このことは、富山トラフの南西延長にあたる砺波平野の新第三系堆積盆地が、2013年に実施した飛騨山脈の北縁から富山トラフを横断する海陸統合測線(T1)(佐藤ほか、2013)で明らかになった富山トラフと同等の規模と構造差を有することを示す。堆積盆の両側は、南東および北西に傾斜する正断層によって区切られており、新潟-佐渡海峡などの日本海拡大期中絶リフトの構造と類似する。高清水断層、法林寺断層、石動断層といった平野縁辺に分布する逆断層の上盤側に見られる褶曲構造は、これら新第三系の堆積盆を境する正断層の再活動によって形成された反転構造である。さらに、砺波平野やかほく市沿岸部では、先新第三系基盤岩類および新第三系の分布高度を大きく食い違わせる構造が伏在しており、その直下には逆断層が存在していると推定される。上述の高分解能浅層反射法探査の結果によれば、このうち砺波平野に伏在する逆断層は第四系大桑層・埴生層相当および更に上位の層準まで変形させており、活動的であると考えられる。また、測線西部の日本海沿岸部には、基盤岩類とこれより上位の堆積物の分布高度を大きく食い違わせる西向き単斜構造が分布し、その下には東傾斜の伏在断層の存在が推定される。

かほく 砺波構造探査研究グループ: 池口直毅・山内紘一・田中伸一・坂 守・宮川幸治・田上貴代子・辻 浩・渡辺 茂・安藤美和子(東京大学地震研究所)・日高功揮・大内 貫・山田 遼(岩手大学)・小野藍生・佐藤 光・香取拓馬・飯田圭輔・粉川真人(新潟大学)

キーワード: 日本海, 震源断層, 地殻構造, 反射法地震探査, 堆積盆地

Keywords: Sea of Japan, seismic source fault, crustal structure, seismic reflection survey, sedimentary basin

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

岩崎 貴哉^{1*}; 津村 紀子²; 伊藤 谷生³; 佐藤 比呂志¹; 蔵下 英司¹; 平田 直¹; 在田 一則⁴;
野田 克也⁵; 藤原 明⁵; 阿部 進⁵; 菊池 伸輔⁶; 鈴木 和子⁷
IWASAKI, Takaya^{1*}; TSUMURA, Noriko²; ITO, Taniao³; SATO, Hiroshi¹; KURASHIMO, Eiji¹;
HIRATA, Naoshi¹; ARITA, Kazunori⁴; NODA, Katsuya⁵; FUJIWARA, Akira⁵; ABE, Susumu⁵;
KIKUCHI, Shinsuke⁶; SUZUKI, Kazuko⁷

¹ 東京大学地震研究所, ² 千葉大学大学院理学研究科, 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 石油資源株式会社, ⁷ シュランベルジュ

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

The Hokkaido Island, located in the southernmost part of the Kuril trench region, has been under a unique tectonic environment of arc-arc collision due to the oblique subduction of the Pacific (PAC) plate. At the time of middle Miocene, the Kuril forearc sliver started to collide against Northeast (NE) Japan arc to form the Hidaka collision zone (HCZ) with complex structural features including the westward obduction of the crustal rocks of the Kuril arc (the Hidaka metamorphic belt (HMB)) along the Hidaka main thrust (HMT) and a thick foreland fold-and-thrust belt.

Re-analyses for a series data sets of seismic reflection/refraction experiments in HCZ, which started in 2012, are aimed to construct a more detailed collision model through new processing and interpretation techniques. A multi-disciplinary project of the 1998-2000 Hokkaido Transect, crossing the northern part of the HCZ in EW direction, collected high-quality seismic data on a 227-km seismic refraction/wide-angle reflection profile and three seismic reflection lines. Our reprocessing/re-analyses revealed interesting collision structure ongoing in the northern part of the HCZ. The westward obduction of the Kuril arc crust was clearly imaged along the HMT. This obduction occurs at a depth of 27-30 km, much deeper than in the southern HCZ (23-25 km). The CRS/MDRS processing to the reflection data firstly succeeded in imaging clear reflection events associated with the lower crust/Moho within the NE Japan arc descending down to the east. Gently eastward dipping structures above these events (in a depth range of 5-10 km) are interpreted to be fragments of Cretaceous subduction/arc complexes or deformation interfaces branched from the HMT.

The refraction/wide-angle reflection analysis including amplitude calculations revealed a series of eastward dipping interfaces at depths of 15-30 km east of the HMT, some of which show a very large Vp contrast exceeding 0.5-1.0 km/s. The subducted NE Japan arc meets the Kuril arc 20-40 km east of the HMT at a depth of 20-30 km. The above mentioned high Vp contrasts may result from the mixture of the upper crustal (low Vp) materials of the NE Japan arc and lower crustal (high Vp) materials of the Kuril arc.

Seismic reflection image in the southern HCZ reprocessed by almost the same techniques confirms a clear crustal delamination, where the upper 23-km crust is thrust up along the HMT while the lower part of the crust descends down to the subducted PAC plate. At the moment, the results in the northern HCZ do not provide positive evidence on shallow crustal delamination as found in the case of the southern HCZ, probably presenting important information on "3D structure" of the HCZ.

キーワード: 日高衝突帯, 千島弧, 東北日本弧, 地殻剥離

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

3D比抵抗モデリングによる日高衝突帯南部の地殻構造および流体分布 Crustal structure and fluid distribution beneath the southern Hidaka collision zone based on 3-D resistivity modeling

市原 寛^{1*}; 茂木 透²; 山谷 祐介³; 橋本 武志²; 上嶋 誠⁴; 小川 康雄⁵

ICHIHARA, Hiroshi^{1*}; MOGI, Toru²; YAMAYA, Yusuke³; HASHIMOTO, Takeshi²; UYESHIMA, Makoto⁴; OGAWA, Yasuo⁵

¹ 海洋研究開発機構, ² 北海道大学大学地震火山研究観測センター, ³ 産業総合研究所, ⁴ 東京大学地震研究所, ⁵ 東京工業大学火山流体研究センター

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ³Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ⁵Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

Erimo area, south end of Hokkaido Island is located on the south part of Hidaka collision zone where Kurile and the north-eastern (NE) Japan arcs are collided. This area is an attractive research field to understand mechanism of continent evolution and deep inland earthquakes because 1) ultra-mafic rocks are outcropped although the delamination hypothesis of Kurile arc indicates uplift and down lift of upper-middle and lower crust rocks, respectively, and 2) inland earthquakes occurs anomalously depth (e.g. 1970 Hidaka earthquake M6.7). We conducted wideband and long-period magnetotelluric surveys at 27 sites in the Erimo area and obtained 3-D resistivity models based on inversion procedure. Reliable features of the inverted models and their interpretations are as follows. 1) A low resistivity zone (C-1) is distributed beneath the Hidaka main thrust (HMT) and extends to the upper most part of subducting Pacific slab. The high seismicity in the subducting slab in C-1 implies dehydration embrittlement. The C-1 around arcs boundary implies upwelling fluid along the HMT, which may affect the deep inland earthquake. 2) Ultra-high resistivity zone (R-1), which probably reflects dry metamorphic rocks, is distributed underneath the Hidaka metamorphic belt. The boundary between C-1 and R-1 is spatially consistent to the boundary between the delamination wedge and delaminated upper-middle crust (Ito, 2000). It supports the proposed collision model based on seismic surveys.

Figure caption: (a) Locations magnetotelluric stations. (b) A vertical cross-section of inverted resistivity model beneath the line X-X'. Gray lines denote geological boundaries based on seismic surveys (Ito 2000). White circles denote hypocenter between 2000 and 2012 by JMA. (c) Interpretation of the resistivity model.

Keywords: Hidaka collision zone, magnetotellurics, dehydration embrittlement, inland earthquake

弾性波速度測定による日高衝突帯の地殻構成岩石の推定 Crust composition in the Hidaka Metamorphic Belt estimated from seismic velocity by laboratory measurements

山内 紘一^{1*}; 石川 正弘²; 佐藤 比呂志¹; 岩崎 貴哉¹; 豊島 剛志³
YAMAUCHI, Koichi^{1*}; ISHIKAWA, Masahiro²; SATO, Hiroshi¹; IWASAKI, Takaya¹; TOYOSHIMA, Tsuyoshi³

¹ 東京大学地震研究所, ² 横浜国立大学, ³ 新潟大学

¹Earthquake Research Institute, The university of Tokyo, ²Yokohama National University, ³Niigata University

リソスフェアのダイナミクスを理解する上で、構成岩石の推定は重要な課題となる。地殻構成岩石の推定には、実際の地殻深部の条件下で、弾性波速度測定による岩石物性値と制御震源や自然地震による弾性波速度構造を比較する方法が有効である。

北海道日高変成帯は島弧衝突帯であり、地殻の上部約 23km が衝上露出している (Komatsu et al., 1983)。この地域では、制御震源を用いた屈折法・広角反射法構造探査 (Iwasaki et al., 2004) により、詳細な P 波速度構造が求められている。さらに、反射断面図における地殻構造の解釈が行われており (伊藤, 2000; Iwasaki et al., 2014)、反射面の連続性から地表に露出している岩石が深部まで連続的に追跡することができるため、弾性波速度を用いた地殻を構成する岩石の推定には好条件を有している。そこで本研究では、日高変成帯の岩石を用いて弾性波速度測定を行い、P 波速度構造モデルおよび地震波トモグラフィの岩石学的な解釈を行った。

日高変成帯で採取した岩石を対象に最大圧力 1.0GPa、最高温度 400 °C において弾性波速度を測定した。例えば、0.5GPa、25 °C 条件下での花崗岩、トーナル岩、片麻岩、角閃岩、グラニュライトの P 波速度は、5.88km/s、6.02~6.34km/s、6.34、6.41~7.05km/s、7.41km/s である。また、測定した SiO₂ 量との相関がトーナル岩に関して得られた。

構成岩石の推定のため、弾性波速度と密度より算出した音響インピーダンスにおいて、トーナル岩と角閃岩の境界は中部地殻で明瞭な反射面となる結果が得られ、深部反射法地震探査データ (Iwasaki et al., 2014) と調和する。これより、日高変成帯における P 波速度構造モデルとの速度比較を行うと、中部地殻、下部地殻に対してそれぞれ、トーナル岩、角閃岩が調和的であった。また、実験より算出した岩石の V_p/V_s 比と V_p/V_s 比構造 (Matsubara and Obara, 2011) との比較により同様の傾向が得られた。

次に、日高変成帯で採取した岩石の速度データを用いて、千島弧における P 波速度構造モデル (Nakanishi et al., 2009) と比較した。日高変成帯よりも比較的浅部の島弧上部地殻、中部~下部地殻に対してそれぞれ、トーナル岩、角閃岩が調和的であった。地震波トモグラフィ (Matsubara and Obara, 2011) における日高変成帯と千島弧の比較により、厚い千島弧下部地殻には、より苦鉄質な岩石が推定され、異なる構造を有することが推定される。

キーワード: 弾性波速度, 日高変成帯, 音響インピーダンス, トーナル岩, 角閃岩

Keywords: elastic wave velocity, Hidaka Metamorphic Belt, acoustic impedance, tonalite, amphibolite

伊豆衝突帯下に沈み込むスラブのジオダイナミクス Geodynamics of subducting slab under Izu collision zone

石川 正弘^{1*}; 坪川 祐美子¹; 本多 聡子¹
ISHIKAWA, Masahiro^{1*}; TSUBOKAWA, Yumiko¹; HONDA, Satoko¹

¹ 横浜国立大学環境情報研究院

¹Yokohama National University

フィリピン海プレートは本州の下に沈み込む。しかし、フィリピン海プレートの東縁には伊豆小笠原マリアナ弧が存在するために、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う関東周辺のテクトニクスは複雑になっている。南関東の房総半島や三浦半島周辺では付加体が発達する一方、南関東の西部の丹沢山地では伊豆小笠原弧の地殻物質が大規模に衝突付加している(伊豆衝突帯)。JpGU2014の発表では、岩石の弾性波速度実験と岩石の鉱物組み合わせの相平衡計算の結果に基づき、伊豆衝突帯直下のスラブ構成岩石を検討したが、様々な問題点が浮かび上がってきたので、JpGU2015の発表では、伊豆衝突帯直下のジオダイナミクスについて改めて検討する。

フィリピン海プレート東縁に分布する伊豆小笠原弧の地殻構造は伊豆衝突帯の地殻構造を理解する上で重要な鍵となる。丹沢山地等に産する深成岩類の弾性波速度測定実験から得られたP波速度とSuyehiro et al. (1996)の構造探査から得られた北部伊豆小笠原弧のP波速度構造を比較すると、トータル岩のP波速度は伊豆小笠原弧中部地殻のP波速度と同程度であり、トータル岩が伊豆小笠原弧中部地殻の主要構成岩石であると推定される。また、丹沢産の角閃石はんれい岩とパキスタン(コヒスタン島弧下部地殻断面)産のガプロノーライトのP波速度と伊豆小笠原弧で得られたP波速度を比較すると、下部地殻上層の主要構成岩石として角閃石はんれい岩を、また、下部地殻の主要構成岩石として角閃石輝石はんれい岩やガプロノーライトが推測されてきた。伊豆小笠原弧の構成岩石モデルとSato et al.(2005)の伊豆衝突帯の地殻構造を総合的に解釈すると、伊豆小笠原弧の下部地殻(角閃石はんれい岩等の苦鉄質岩石)は熱いスラブとして本州下に沈み込んでいると推測される。本発表では、丹沢山地のはんれい岩の化学組成を用いてTheriak-Dominoの相平衡計算プログラムで鉱物組み合わせと含水鉱物中のH₂O量を計算し、伊豆衝突帯直下のジオダイナミクスに関する問題点を議論する。

問題のひとつは、スラブ中における含水鉱物(角閃石等)の安定領域とソリダスの関係である。超高温な地温勾配のスラブの沈み込みの場合、角閃石は30 km以浅で脱水が完了すると推測される。丹沢山地下において微小地震が沈み込むスラブ内(30 km以浅)で発生しており、スラブの脱水反応に伴う脱水脆性化によって説明できるように一見思える。しかし、フィリピン海スラブの地温勾配は火山フロントに位置する伊豆衝突帯下で最も高温であると予想されるので、火山フロントに位置する伊豆衝突帯から東西方向に遠ざかるほどフィリピン海スラブの地温勾配は相対的に低くなると推測される。このようなスラブが沈み込む場合、角閃石の脱水が完了する前にスラブは部分融解条件に達するので、沈み込みながらメルトを生成する環境になる。実際には、伊豆衝突帯北部にはそれに相当する火山活動が存在しない。スラブ融解しない程度に地温勾配を仮定すると、スラブ脱水は連続的に進行し、深さ50-60 km以深で角閃石が消失する(zoisiteはなお安定)。一般的なスラブ内地震はスラブの脱水反応・脱水脆性化によって説明がなされてきているが、丹沢山地直下で発生している微小地震(30 km以浅)は丹沢山地北部や関東山地直下ではほとんど発生していないことから、スラブの脱水脆性化が起因とは考えられない。丹沢山地直下のスラブ内で発生している微小地震の深さはスラブがガーネット安定領域に入る深さに相当するので、沈み込む伊豆弧下部地殻が高密度な含ガーネット岩石(候補:ざくろ石グラニューライトまたはざくろ石角閃岩)に相転移する際に地震が発生してと解釈することが妥当である。一方、含ガーネット岩石に相転移後も脱水が継続すると予想されるにもかかわらず非震性スラブとして沈み込む背景には、スラブが通常の海洋スラブと比較してかなり高温であること、塑性領域に入っていることが関連しているのかもしれない。

キーワード: 伊豆衝突帯, フィリピン海スラブ, ジオダイナミクス

Keywords: Izu collision zone, Philippine Sea slab, geodynamics

地震波速度および比抵抗からの流体分布の推定 Estimation of fluid distribution from seismic velocity and electrical resistivity

渡辺 了^{1*}; 牧村 美穂¹
WATANABE, Tohru^{1*}; MAKIMURA, Miho¹

¹ 富山大学大学院理工学研究部

¹ Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama

Geophysical mapping of fluids in the crust is critical for understanding crustal dynamics. Pore-fluids play important roles in geodynamic processes including seismic activities. Though a lot of studies have suggested the existence of aqueous fluids in the crust, the fluid distribution has not been quantitatively constrained. Seismic velocity and resistivity should be combined to make a quantitative inference on fluid distribution. It is impossible to infer the amount of fluid only from seismic velocity. Since the lithology of a study region is usually unknown, elastic properties of the rock matrix must be assumed. The fluid amount cannot be inferred only from electrical resistivity, either. The inference of the fluid amount requires the assumption on the fluid resistivity. The fluid amount estimated from resistivity must be identical to that estimated from seismic velocity. The combination of velocity and resistivity can thus constrain the rock matrix and fluid conductivity.

We propose a new method for estimating the amount of fluid from seismic velocity and resistivity. It utilizes an empirical relationship between the normalized resistivity and crack density parameter, which was obtained from measurements of elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated granitic rock under confining pressures (Makimura and Watanabe, Poster session). Resistivity is normalized by the fluid resistivity. If we assume a lithology for the study region, we can estimate the crack density parameter from observed velocity. Using the empirical relation, we can obtain the normalized resistivity. Comparing the normalized resistivity with observed resistivity, we can obtain the fluid resistivity. If the fluid resistivity is an unrealistic value, we must modify the assumed lithology. Both the lithology and fluid resistivity can be constrained through these procedures.

The applicability and limitation of the empirical relation should be studied both experimentally and theoretically. In experimental studies, the relation should be studied in different rock types. A theoretical work on the network of grain boundary cracks will give us a basis of the relation.

キーワード: 地震波速度, 比抵抗, 流体
Keywords: seismic velocity, resistivity, fluid

いわき誘発地震帯での3次元比抵抗イメージング 3-D Resistivity imaging of source regions of the Iwaki normal faulting sequences

上嶋 誠^{1*}; 小川 康雄²; 市来 雅啓³
UYESHIMA, Makoto^{1*}; OGAWA, Yasuo²; ICHIKI, Masahiro³

¹ 東京大学地震研究所, ² 東京工業大学火山流体研究センター, ³ 東北大学大学院理学研究科

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Volcanic Fluid Research Center Tokyo Institute of Technology,

³Graduate School of Science, Tohoku University

Following the 2011 Tohoku-Oki earthquake, M9.0, several areas of the inland Japan were activated due to significant change of the stress field. Among all, intense swarm-like seismicity associated with shallow normal faulting was induced in Ibaraki and Fukushima prefectures in the boundary area between Kanto and Tohoku districts, Japan. In order to elucidate a high-resolution model of crustal resistivity structure in this region and to get insights on causes of those induced earthquakes, MT surveys were performed in Jan. 2012 and from Dec. 2013 to Jan. 2014, by using Phoenix and Metronix Wideband MT instruments.

After estimating impedance tensors and induction vectors with the aid of the BIRRP code (Chave and Thomson, 2004), a 3-D phase tensor (PT) and induction vector (IV) inversion code was applied to the dataset. In order to investigate the influence of the initial model on the final structural model, we did several inversion runs with initial resistivity values ranging from 20 to 2000 Ohm-m. All the inversion runs could get respective final models with RMS of around 2. Although some differences in the final models are detected, overall characteristics and scales (in length and intensity) are similar for all the final models. Generally, induced earthquakes are distributed in the higher electrical resistivity zones. We delineated a separate low-resistivity anomaly directly beneath the hypocenter of the largest earthquake in the sequence (the M7.0 Iwaki earthquake), indicating crustal fluids in this region. Together with previously obtained seismic image (Kato et al., 2013), we hypothesize that strong crust underwent structural failure due to the infiltration of crustal fluids into the seismogenic zone from deeper levels, or stress accumulation on the edge of the isolated weak portion, causing the Iwaki earthquake.

キーワード: 3次元比抵抗構造, いわき誘発地震震源域, 地殻流体の局在

Keywords: 3-D resistivity structure, source region of the Iwaki earthquake, localized crustal fluids

岩手宮城内陸地震震源域の3次元比抵抗構造と地殻変動との関連 3D Resistivity Structure around the Epicenter of Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake and Crustal Deformations

鈴木 惇史^{1*}; 小川 康雄²; 齋藤 全史郎¹; 潮田 雅司²
SUZUKI, Atsushi^{1*}; OGAWA, Yasuo²; SAITO, Zenshiro¹; USHIODA, Masashi²

¹ 東京工業大学地球惑星科学専攻, ² 東京工業大学火山流体研究センター

¹Department of earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology, ²Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology

The 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (M 7.2) was an unusually large earthquake, which occurred near the volcanic regions. To understand the mechanism of inland earthquakes, it is important to study the structure around the area. Okada et al. (2012) observed aftershocks precisely and estimated the seismic velocity structure. Iinuma et al. (2009) detected coseismic and aseismic slips with GPS observations. Mishina (2009) and Ichihara et al. (2014) conducted 2-D and 3-D MT surveys respectively. However, the MT station distributions of the previous MT surveys were sparse. We carried out denser surveys and showed more precise resistivity structures around the area. We conducted MT surveys at 66 stations (59 stations from October until November in 2012 and 7 stations from October until November in 2014) around the area and estimated 3-D resistivity structures using inversion code of Siripunvaraporn and Egbert (2009) with full impedance tensor as response functions. The result of our final resistivity structures is similar to the one in Ichihara et al. (2014), but is more complex. We found a low resistivity zone to the northeast of Mt. Kurikoma below 3km depth. This anomaly is connected with a low resistivity zone located under Mt. Kurikoma below 10km depth. The locations of aseismic and co-seismic slips in Iinuma et al. (2009) correspond to the locations of low resistivity and high resistivity zones in our model respectively. This may represent that low resistivity zones are brittle and high resistivity zones are ductile.

キーワード: 岩手宮城内陸地震, 比抵抗構造, マグネトテルリクス, 流体, 変形, 余効変動

Keywords: Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, resistivity structure, magnetotellurics, fluid, deformation, post seismic deformation

2008年岩手宮城内陸地震の震源域における地震波速度構造と断層破壊挙動 Seismic velocity structure and fault rupture behavior in the source region of the 2008 Iwate-Miyagi nairiku earthquake

青柳 恭平^{1*}; 木村 治夫¹; 阿部 信太郎²
AOYAGI, Yasuhira^{1*}; KIMURA, Haruo¹; ABE, Shintaro²

¹ 電中研, ² 産総研
¹ CRIEPI, ² AIST

奥羽脊梁山地は東北日本弧の中軸をなす東西圧縮の歪み集中帯であり、脊梁山地と両側にある平野との境界にはそれぞれ南北走向の活断層帯が認められる。しかし、一連のように見える断層帯でも、活動性に部分的な差異があり、地震時の破壊区間はしばしば制限される。我々は、断層破壊の規制要因が地殻構造にある可能性を想定し、稠密微小地震観測に基づく地震波トモグラフィ解析から、速度構造と既往地震の破壊域端部との関係を検討してきた(青柳・木村, 2014JpGU, 青柳ほか, 2014 地震学会)。本発表では、特に岩手宮城内陸地震の震源域に着目して、速度構造と断層挙動との関係を議論する。なお、観測と解析の概要については、上記2つの予稿をご参照頂きたい。

<震源域周辺の速度構造>

震源域周辺の地震発生層における速度構造の特徴は、栗駒山の西部から南部にかけて密集するカルデラ群(三途川、鬼首、鳴子カルデラなど)の分布に対応して、顕著な低 V_p/V_s 領域が認められることである。こうした特徴は、Nakajima and Hasegawa (2003) がすでに報告しており、彼らは熱水など水蒸気に富んだ構造であることを推定している。一方、その北東側の領域には、高 V_p/V_s 領域が認められる。両者の境界はWNW-ESE方向であり、秋田県湯沢市から栗駒山の数km北側を通過し、岩手・宮城県境に達する。これより北東側の高 V_p/V_s 領域の中では唯一、栗駒山の東部から北北東に向かって低 V_p/V_s 領域が存在しており、余震はこの低 V_p/V_s 領域に卓越して発生している。この低 V_p/V_s 領域の北東縁は、北上低地西縁断層帯南部の分布域に対応する高 V_p/V_s 領域に接しており、震源域の北端部は、この速度境界と一致している。

<地震発生層の速度分布>

地震発生層の速度分布を明らかにするため、個々の震源位置での地震波速度のヒストグラムを調べた(N=1101)。地震発生層の速度分布の上下限10%ずつを除く大半の部分は、 V_p が5.8~6.15km/s、 V_s が3.45~3.7km/s、 V_p/V_s 比が1.64~1.70に分布する。地震発生層はいわゆる $V_p \sim 6$ km/s層に対応しており、特に V_p/V_s 比が1.73よりも顕著に小さいことが特徴である。高圧下で測定された岩石速度(Christensen, 1996)と比較すると、この地域における地震発生層は、花崗岩類から構成されている可能性が高い。

<地震発生深度の変化>

震源域の地震発生層の深さ分布を明らかにするために、個々の震源の深さのヒストグラムを調べた。上位5%を除いた深さの上限(いわゆるD5)は2.9km、下位5%を除いた深さの下限(D95)は9.0kmである。この値は、同じ解析で得られた陸羽地震の震源域の深さ分布(D5が3.3km、D95が11.7km)と比較して、特に下限の深さが浅くなっている。さらに、上述した栗駒山北方の構造境界の南側のみに限定すると、D5が2.8km、D95が7.8kmであり、下限はより顕著に浅くなる。このような震源域の走向に沿う地震発生層の下限深度の変化は岡田ほか(2008)が報告しており、鬼首や鳴子などの火山に対応した高温領域が地下浅部に達するために、脆性-延性境界が浅くなっていると解釈されている。

<構造変化と断層破壊挙動>

前述したWNW-ESE方向の顕著な速度境界では、余震分布の深さだけでなく、水平方向にも左ステップする変化が認められる。布原ほか(2010)は、この境界を東北地方にいくつか見られるWNW-ESE系の断層のひとつであると指摘した。この系列の断層は、日本海拡大時の反時計廻りの回転運動に伴って形成された差別的横ずれ断層と推定されており、黒鉱の分布などに10~20kmの左横ずれが認められている。また、青柳ほか(2012)は、震源域を南北に縦断する深部反射法地震探査の結果、この位置に構造的な急変部を認めている。これより北側では地表から地下5km程度までは反射イベントが卓越しているが、南側では地下2km以深には反射イベントがほとんど見られない。地震発生層の深度変化は、この構造的な変化とよく対応している。したがって、そこには何らかの大きな構造境界が存在する可能性が高い。ただし、地震時の破壊はこの構造境界で停止されず、その南北に広がった。その原因は、南北の地質体が横ずれ転移した結果、地震発生層(低 V_p/V_s 領域)が連続的になっているためだと解釈される。一方で、震源域の北端部は、高 V_p/V_s 領域に接している。この速度境界部は平泉付近から横手市付近まで断続的に認められ、やはりNNW-SSE走向の左横ずれ断層を見ている可能性が高い(青柳ほか, 2014)。地震時の破壊が北端部で停止した原因は、地震発生層(低 V_p/V_s 領域)

SCG57-13

会場:国際会議室

時間:5月28日 09:45-10:00

が、この境界部で不連続になっているためと解釈される。

キーワード: 岩手宮城内陸地震, 地震波速度構造, 地震発生層, 断層破壊挙動

Keywords: Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, seismic velocity structure, seismogenic layer, fault rupture behavior

神城断層周辺の地殻変動と2014年長野県北部地震 Crustal deformation around the Kamishiro fault and its implications for the 2014 Northern Nagano earthquake

鷺谷 威^{1*}; 寺谷 尚子¹; 西村 卓也²; 矢来 博司³; 水藤 尚³
SAGIYA, Takeshi^{1*}; TERATANI, Naoko¹; NISHIMURA, Takuya²; YARAI, Hiroshi³; SUITO, Hisashi³

¹ 名古屋大学, ² 京都大学, ³ 国土地理院

¹Nagoya University, ²Kyoto University, ³Geospatial Information Authority of Japan

The Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL) is a major geologic boundary intersecting the Japanese mainland into the north-eastern and the southwestern parts. It is also an active fault system that is supposed to have a high seismic potential. We have conducted dense GPS observation and identified a highly localized E-W contraction

around the Kamishiro fault at the northern ISTL. Kinematic modeling of this deformation pattern suggests that the fault is dipping to the east and accommodating the E-W contraction by aseismic faulting below the depth of 2-4 km.

On November 22, 2014, a Mw 6.3 earthquake occurred at the Kamishiro fault. The hypocenter is located at a depth of 5 km and surface rupture appeared for about 9 km along the fault trace. Considering the pre-seismic deformation pattern and aseismic fault slip at depth, this earthquake is considered to rupture the remaining shallow locked part. Thus no further large earthquake is not anticipated in this area in the near future although much larger event is expected to occur along the whole ISTL.

This earthquake caused a heavy damage on a small neighborhood called Horinouchi. It should be noted that the same neighborhood had experienced a severe damage by another earthquake in 1714. Considering that the locked portion is limited to the shallowest 5 km and strain rate around this area is very large, it is possible that the same fault segment was reactivated in 300 years, which is an unusually short recurrence interval as a intra-plate active fault. This example demonstrates an importance of dense as well as precise geodetic observation for seismic hazard evaluation and understanding the crustal seismogenesis.

キーワード: 神城断層, 2014年長野県北部地震, GPS, 地殻変動

Keywords: Kamishiro Fault, 2014 Northern Nagano Earthquake, GPS, crustal deformation

2014年長野県北部の地震の複雑な断層 Urgent seismic observation for the 2014 Northern-Nagano Prefecture Earthquake and complex fault system

酒井 慎一^{1*}; 蔵下 英司¹; 小原 一成¹; 岩崎 貴哉¹; 高橋 浩晃²; 松本 聡³; 神薊 めぐみ³; 岡田 知己⁴

SAKAI, Shin'ichi^{1*}; KURASHIMO, Eiji¹; OBARA, Kazushige¹; IWASAKI, Takaya¹; TAKAHASHI, Hiroaki²; MATSUMOTO, Satoshi³; KAMIZONO, Megumi³; OKADA, Tomomi⁴

¹ 東京大学地震研究所, ² 北海道大学理学研究院地震火山研究観測センター, ³ 九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻, ⁴ 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ² Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, ³ Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University, ⁴Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku University

2014年11月22日22時8分頃、長野県北部を震源とするマグニチュード6.7 (Mw6.2)の地震が発生した。本震発生後、余震域の広がりに応じて、九州大学、北海道大学、東北大学と共に臨時観測点を設置し、一部をテレメータ化して、現在は、17ヶ所で観測を続けている。12月中旬にオフライン観測点の一部を回収し、周辺のテレメータ観測点とともに震源決定を行った。震源決定に用いた速度構造は、この付近で行われた人工地震探査の結果を元にした一次元速度構造である。白馬村では、この地震発生の4日前の11月18日18時頃から、M3程度を最大規模とする小さな群発地震活動があったため、11月20日から震源域の直上にオフライン観測点を設置していた。その記録を用いて解析を行ったため、本震の破壊開始点を始めとする余震分布を高精度で得ることができた。その結果、本震の位置は、気象庁一元化震源に比べて約2.5km東にずれた。本震周辺の震源は、高角な東傾斜の面上になり、これが本震の地震断層と考えられる。しかし、余震は、この面以外にも分布していて、鉛直に分布するものや西傾斜になるものもあり、複雑な断層群を形成している。本震の発震機構解は、北西-南東方向に圧力軸をもった逆断層と考えられるが、地震断層面は、単純な一枚の面とはいえないようである。

キーワード: 2014年長野県北部の地震, 臨時地震観測, 震源分布, 複雑な断層面

Keywords: 2014 Northern-Nagano Prefecture earthquake, urgent aftershock observation, precise aftershock distribution, multi-fault system

2014年11月22日長野県北部の地震 (Mj6.7) 震源域の稠密余震アレイ観測による余震分布と地殻構造 Aftershock distribution and crustal structure in and around the source area of the 2014 northern Nagano Pref. earthquake

蔵下 英司^{1*}; 平田 直¹; 岩崎 貴哉¹; 酒井 慎一¹; 小原 一成¹; 石山 達也¹; 佐藤 比呂志¹
KURASHIMO, Eiji^{1*}; HIRATA, Naoshi¹; IWASAKI, Takaya¹; SAKAI, Shin'ichi¹; OBARA, Kazushige¹;
ISHIYAMA, Tatsuya¹; SATO, Hiroshi¹

¹ 東大地震研

¹ERI, Univ. Tokyo

2014年11月22日22時8分頃、長野県北部の深さ約5kmを震源とするマグニチュード6.7 ($M_{JMA}6.7$)の地震が発生した。この地震の余震域の西側には、糸魚川-静岡構造線の一部である神城断層の北部が位置しており、地表で確認されている活断層との関係を明らかにすることは、活断層の活動評価を行うにあたって重要である。また、高精度な余震分布や震源域付近の不均質構造は、地震発生様式を考える為に必要不可欠な情報である。そこで、3次元速度構造と余震分布を明らかにする目的で、余震域を含む領域に臨時地震観測点を約1km間隔で163箇所を設置し、独立型地震観測システム (GSX-3システム) を用いた稠密余震アレイ観測を実施した。また、地表断層付近には、10-20m間隔でトラップ波等の観測のために64点の観測点を設置した。観測は、2014年12月3日から2014年12月21日まで実施し、各観測点では、固有周波数4.5 Hzの地震計によって上下動及び水平動の3成分観測を行った。サンプリング周波数は250 Hzで行なった。気象庁一元化震源リストによると、余震域を含む研究対象地域 (緯度35.5°-37.1° N; 経度136.7°-139.0° E) では977個の地震の震源が決定されている。これら地震の震源時刻に従って、本観測で得た連続記録から地震毎へのデータ編集を実施した。その後、臨時観測点の波形データと本観測網周辺の40点のテレメータ観測点で得られている波形データとの統合作業を行った。このようにして作成した地震波形データから、震央ができるだけ均等に分布するように100イベントを抽出し、P波・S波の手動検測を行った。得られた走時データを用いてトモグラフィー解析 (Thurber and Eberhart-Phillips, 1999) を実施し、3次元速度構造と余震分布を求めた。トモグラフィー解析の初期モデルには、連携震源決定法 (Kissling et al., 1994) を用いて得た1次元速度構造モデルを使用した。得られた余震分布からは、本震の震源付近で東傾斜の余震分布が確認できる。また、神城断層を横切るP波速度構造の東西鉛直断面図から、神城断層の深部延長に東傾斜の低速度領域が確認できる。

謝辞: トモグラフィー解析をおこなうにあたっては、東京大学の波形データに加え、気象庁、防災科学技術研究所、京都大学のデータを利用しました。震源リスト作成には、気象庁と文部科学省が協力してデータを処理した結果 (気象庁一元化処理震源リスト) を使用させて頂きました。ここに記して深く感謝の意を表します。

キーワード: 稠密自然地震観測, 地震波トモグラフィー, 神城断層, 余震分布

Keywords: dense seismic array observation, seismic tomography, Kamishiro fault, aftershock distribution

山陰ひずみ集中帯における稠密 GNSS 観測網の構築 Construction of a dense GNSS array in the San-in shear zone

西村 卓也^{1*}; 細 善信¹; 三浦 勉¹; 米田 格¹; 小池 俊貴¹

NISHIMURA, Takuya^{1*}; HOSO, Yoshinobu¹; MIURA, Tsutomu¹; YONEDA, Itaru¹; KOIKE, Toshiki¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

はじめに

国土地理院の GNSS 連続観測網 (GEONET) のデータ解析から、山陰地方の島根県東部から鳥取県にかけて顕著な地殻変動集中域 (以下、山陰ひずみ集中帯) が存在していることが明らかになった (西村, 2014)。我々は山陰ひずみ集中帯の詳細地殻変動を明らかにし、ひずみ集中のメカニズムを解明することを目的として、2014 年 8~12 月に山陰ひずみ集中帯を横断するように、13 箇所の新規 GNSS 観測点を設置し、連続観測を開始した。本講演では、既存 GNSS 観測網から明らかになった山陰ひずみ集中帯及びその周辺の地殻変動と新規に設置した観測点の概要について報告する。

山陰ひずみ集中帯の特徴と地震活動

2005-2009 年における山陰地方及びその周辺の GEONET 観測点速度分布には、以下のような特徴が認められる。①太平洋側で顕著に見られるフィリピン海プレートの沈み込みに伴う北西方向の地殻変動の北限は、中国地方の瀬戸内海沿岸に位置し、中国山地ではその影響がほとんど見られない。②兵庫県北部を基準とすると、鳥取県と島根県東部の日本海沿岸では、東向きに約 4mm/年の変動が見られるが、内陸部では変動が小さい。この変動が急変する地帯を山陰ひずみ集中帯と呼ぶ。GNSS データから得られた速度分布とひずみ速度分布から、山陰ひずみ集中帯は右横ずれ運動を示すせん断帯が日本海沿いに長さ 200km 以上に渡って連続するように見えるが、せん断帯の幅は一定ではない。観測点速度の東西成分をひずみ集中帯に直交する断面に投影すると、鳥取県東部では隣り合う GEONET 観測点 (約 20km) の間で約 4mm/年の速度の違いがあり変動帯の幅が最も狭いが、鳥取県西部から島根県東部では、同じ変動速度を 50~70km 程度の幅でまかなっているように見える。

多くの先行研究が示すように、山陰地方の微小地震分布には日本海に沿って地震の活発な帯が認められるが、山陰ひずみ集中帯はこの地震帯に対応している。ただし、微小地震の集中帯は鳥取県から島根県東部だけでなく、さらに西方の山口県まで連続しているが、島根県西部以西では顕著な地殻変動は見られない。また、微小地震の震源分布には、ひずみ集中帯や地震帯の走向 (ほぼ東西) とは斜交する北北西-南南東方向の配列も見られる。鳥取県西部地震はそのような斜交する地震活動域で発生した左横ずれの地震であるが、このような微小地震の配列は全体としては右横ずれのせん断帯内部に生じるリーデルせん断帯 R2 で説明できる可能性がある。なお、これらの斜交する地震活動が見られる場所では、ひずみ集中帯の幅が広い傾向がある。

GNSS 観測点の新設と GNSS データ収集・解析システム

山陰ひずみ集中帯の地殻変動の詳細なパターンを明らかにするためには、現在の GEONET の平均配点密度 (20~25km) では不十分である。そこで、我々はひずみ集中帯を横切る 3 測線 (鳥取市付近、鳥取県倉吉市から岡山県真庭市、米子市付近) において、13 点の観測点を新設した。観測開始は、鳥取県倉吉市の 3 点で 2014 年 8 月、それ以外の 10 点は 2014 年 12 月である。GNSS 受信機は Trimble 5700 を用い、外部データロガー (三浦・出町, 2014) とデータ専用通信 SIM カードにより、Compact RINEX 形式の 1 秒サンプリングデータが京都大学防災研究所に毎日転送されている。日座標値の算出には、GNSS 基線解析ソフトウェア GIPSY6.2 を用い、整数値バイアス推定精密単独測位法 (PPP-AR) により、周辺の GEONET 観測点とともに約 2 週間遅れで日座標値の推定結果を得ることができる。地殻変動のベクトル図と時系列は、web (<http://www1.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/~nishimura/monitoring.html>) にて公開中である。観測開始から 1 ヶ月以上が経過したが、新設点の日座標値の再現性は周辺の GEONET 観測点と同程度と良好であり、観測条件や設置状況が適切であることが確認できた。観測開始から間もないため地殻変動のパターンを議論することはできないが、8 月に設置した観測点間で変位速度が異なるようにも見えることから、データの蓄積により詳細地殻変動が明らかになることが期待できる。

謝辞

観測点の設置にあたり、鳥取市教育委員会、倉吉市教育委員会、境港市教育委員会、南部町教育委員会、日野町役場、日南町役場、真庭市教育委員会にご協力頂きました。上記の各機関に感謝いたします。

キーワード: ひずみ集中帯, GNSS, 地殻変動, 山陰地方, 内陸地震

Keywords: strain concentration zone, GNSS, Crustal deformation, San-in district, inland earthquake

NIED 国際地震観測網データを用いて推定したフィリピン地殻内応力の空間変化: フィリピン断層の不均質すべりによる影響
Strong spatial variations of stress within the Philippines produced by slip heterogeneity along the Philippine fault

吉田 圭佑^{1*}; プリード ネルソン¹; 福山 英一¹
YOSHIDA, Keisuke^{1*}; PULIDO, Nelson¹; FUKUYAMA, Eiichi¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

A detailed knowledge of the stress state of crust is a key factor to understand earthquake occurrence. Previous studies showed that the stress patterns are primarily controlled by the plate boundary forces [e.g. Zoback et al., 1989]. However, it has also been pointed out that observed complicated stress field is affected by other factors. To address this point it is important to investigate the stress state of various tectonic regions around the world.

The Philippines is located in a region of high crustal seismicity, bounded to the east and west by oblique subduction zones. In the last few years, seismic and volcanic observation network have substantially improved in the Philippines in particular during the SATREPS cooperative project "Enhancement of Earthquake and Volcano Monitoring and Effective Utilization of Disaster Mitigation Information in the Philippines" between PHIVOLCS and NIED. Using waveform from regional broadband seismic stations, moment tensor solutions are routinely determined at NIED. In this study, we investigated the stress states in the Philippine archipelago by using those moment tensor solutions.

As a first step, we classified focal mechanisms into three groups: 1) events within the overriding plate, 2) those along the interplate, and 3) those within the subducting plate. Then we applied the stress tensor inversion method developed by Michael (1987) to focal mechanisms within the overriding plate. The estimated σ_1 -axis is oriented to WNW-ESE, which is parallel to the slip vectors of the interplate events.

In order to investigate the spatial distribution of stress across the archipelago, we performed additional stress tensor inversions by dividing the entire region in sub-regions eastern and western of a stripe containing the NNE-SSW striking Philippine fault, which is a 1200km long strike-slip fault cutting through the islands. Additionally the region was subdivided along the strike of the fault. In the central and eastern sub-regions, σ_1 -axis are parallel to the orientations of relative plate motions. On the other hand, in the western region, orientations of σ_1 -axis are significantly different from those of the relative plate motions. In particular, the orientations of σ_1 -axis in southern part (Bohol) are substantially different from those of the relative plate motions. Also, the orientations of σ_1 -axis in northern part (Mindoro) are different from those in the entire Philippines.

The σ_1 -axes and σ_3 -axes in Bohol and Mindoro are opposite. The σ_1 -axis in Bohol and σ_3 -axis in Mindoro are almost parallel to the strike of the Philippines fault, which is consistent with the stress produced by left-lateral slip on the central part of the Philippines fault. This range corresponds to the Masbate fault characterized by a larger number of moderate-sized earthquakes, while the northern and southern extensions correspond to the segments which have generated several historical earthquakes [Bessana & Ando, 2005]. Our study suggests that more strain is released along the Masbate fault by moderate-sized events, while the northern and southern extensions are accumulating more strain which may be released as large earthquakes in the future. From the calculated stresses produced by the Philippines fault, based on dislocations in an elastic half-space model [Okada, 1992], as well as assuming an interplate coupling, we successfully reproduced the spatial features of stress orientations.

We also propose that a model considering the bending deformation of the overriding plate is also able to roughly explain the observed σ_1 -axes, based on a 2D finite element modeling, although it does not explain the strike-slip stress regime. By taking account of oblique subduction effects, we may reproduce the observations in more detail. However, we prefer the strike-slip on the Philippines fault as the cause of stress variation, because this simple model alone can sufficiently explain all the observations.

キーワード: フィリピン, メカニズム解, 応力テンソルインバージョン, 応力モデリング
Keywords: the Philippines, focal mechanisms, stress tensor inversions, stress modeling

発震機構解から推定した九州内陸の応力場 (2) Spatial heterogeneities of deviatoric stress in Kyushu, Japan, inferred from the focal mechanism (2)

松本 聡^{1*}; 大倉 敬宏²; 宮崎 真大¹; 清水 洋¹; 安部 祐希³; 井上 寛之²; 中元 真美¹; 吉川 慎²; 山下 裕亮³

MATSUMOTO, Satoshi^{1*}; OHKURA, Takahiro²; MIYAZAKI, Masahiro¹; SHIMIZU, Hiroshi¹; ABE, Yuki³; INOUE, Hiroyuki²; NAKAMOTO, Manami¹; YOSHIKAWA, Shin²; YAMASHITA, Yusuke³

¹九州大学地震火山センター, ²京都大学火山研究センター, ³東京大学地震研究所

¹Institute of Seismology and Volcanology, Kyushu Univ., ²Aso Volcanological Laboratory, Kyoto Univ., ³Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo

九州内陸では別府-島原地溝において微小地震活動が非常に活発である一方、活断層である日奈久断層付近や2005年福岡県西方沖地震(M7)震源域において高い地震活動度を示している。本研究では震源および発震機構推定の精度向上させるため、地震観測点を展開してデータを取得した。このデータを九州地域の九州大学・京都大学のルーチン観測・臨時観測、防災科学技術研究所 Hi-net, 気象庁によるデータとともに処理を行った。

解析した地震は1993年1月から2013年7月までの深さ20km以浅に発生した地震を用い、震源はSaiga et al. (2010)による3次元速度構造を用いて震源の再決定を行った。福岡県西方沖震源域においてはHori et al. (2006)による構造を用いた。発震機構解はP波初動極性を用いて決定し、このうち、精度の良い9177個を選んだ。

応力場は微小地震の発震機構解をもちいて応力テンソルインバージョンを行って推定した。緯度・経度方向に0.15°のグリッドを設定し、グリッド内の応力を一様とした。得られた結果は九州内では共通の特徴として、最小主圧縮応力(σ_3)が安定しており、最大および中間主圧縮応力が近接している特徴を示す。空間分布は、九州内を大きく3つに分ける特徴を持っている。南部は四国の中央構造線延長上から八代海に抜けるせん断帯によって区分されている。この地域は最小主圧縮応力が北北西-南南東になっている。さらにせん断帯近傍の活断層に対して σ_3 軸がほぼ垂直になっている。これらはせん断帯の活断層のせん断応力が開放されていることを示している。中部はいわゆる別府島原地溝帯に対応しており、ほぼ南北の σ_3 と正断層あるいは一軸伸張($\sigma_1 \approx \sigma_2$)の応力場を示している。これらは別府や島原半島における地溝の形状と整合的な応力場である。北部は地溝帯より北の領域であり、再び北北東-南南西張力場になっている。この地域では地表活断層に対して応力場がせん断応力を強く働かせる向きになっている。

以上のように九州は大きく3つの地域に応力場の特徴が分けられ、これらが地殻活動と密接に関係している可能性を示唆している。

キーワード: 応力場, 九州, 発震機構

Keywords: stress field, Kyushu, focal mechanism

地殻応力に対する断層の応答性から推定される日本列島における断層活動場の時間発展 Development of fault activity in Japan estimated from the response of the faults to the tectonic stress field

宮川 歩夢^{1*}; 大坪 誠²
MIYAKAWA, Ayumu^{1*}; OTSUBO, Makoto²

¹ 産業技術総合研究所 地質情報研究部門, ² 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

¹Institute of Geology and Geoinformation (IGG), Geological Survey of Japan, AIST, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Institute of Earthquake and

日本列島, 特に東北地方において現在のような応力場(東西圧縮)を獲得したのは, 3.5Ma 頃と考えられている(Sato et al., 1994). 一方で, 日本列島において, 1Ma より最近に現在の活動様式で活動を開始した活断層が多く存在することが知られている(道家ほか, 2012). これらの研究結果は, 日本列島がある応力場におかれてから, その応力場に応答した断層活動が開始するのに, 数 Ma の時間経過が必要であることを示唆する. そこで我々は, このような地殻応力に対する断層が応答する過程を, 断層活動場の成熟過程として検討する. 本発表では, 日本列島における現在の地殻応力場に対して, 地殻内の断層の力学的応答性を求め, 断層成熟過程の空間変化と地質学的・測地学的変動場の関係について議論する.

日本列島における地殻応力は, F-net による震源メカニズムに対して応力逆解析を行い推定した. また, 活断層と地質断層(活断層と認定されていない地質学的な断層)について, 地殻応力に対する断層の応答性を slip tendency (Morris et al., 1996) を用いて計算した. その結果, 東北地方においては地殻応力に対して活動性が高い断層のほとんどが, 応力に応答して活断層化しているのに対して, 中部・近畿地方では地殻応力に対して活動性が高くても活断層化していない断層が存在した. このことは, 東北地方では断層活動場として成熟し, 中部・近畿地方では地殻応力に対する断層の応答が十分に進行しておらず, 断層活動場として未成熟な状態に有ることを示唆する. このような, 東北地方と中部・近畿地方における断層活動場としての成熟度の違いは, 東北地方で観察される地質学的歪や中部・近畿地方で観測される測地学的歪の分布と整合的である. 特に逆断層について道家ほか(2012)も, 中部地域の多くの逆断層型活断層について現在の運動になったのが, 東北日本のそれより遅い 1 Ma 以降であることを指摘している. すなわち, 東北地方では断層活動や褶曲として地質学的歪が記録されるほど地殻変形が進行していることから, 断層活動場としての成熟度が高いものと考えられる. それに対して, 現在測地学的に歪集中が進行している中部・近畿地域では, 断層活動場としての成熟度が低いものと考えられる.

Sato, H. The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan
Journal of Geophysical Research, 1994, 99, 22261-22274

道家涼介; 谷川晋一; 安江健一. 日本列島における活断層の活動開始時期の空間的特徴. 活断層研究, 2012, 37: 1-15.

Morris, A.; Ferrill, D. & Henderson, D. Slip-tendency analysis and fault reactivation Geology, 1996, 24, 275-278

キーワード: 断層活動, ひずみ集中帯, 地殻応力

Keywords: crustal deformation processes, tectonic zone, fault activity

中央構造線露頭から見た断層内部構造の発達過程 Evolution of fault zone architecture during the exhumation of the Median Tectonic Line in SW Japan

重松 紀生^{1*}; 亀高 正男²; 稲田 徳之²; 宮脇 昌弘²; 東郷 徹宏¹; 藤本 光一郎³
SHIGEMATSU, Norio^{1*}; KAMETAKA, Masao²; INADA, Noriyuki²; MIYAWAKI, Masahiro²; TOGO, Tetsuhiro¹;
FUJIMOTO, Koichiro³

¹ 産業技術研究所活断層・火山研究部門, ² 株式会社ダイヤコンサルタント, ³ 東京学芸大学

¹Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST, ²Dia Consultants Co. Ltd., ³Tokyo Gakugei University

日本の陸上において最大の断層である中央構造線は、長い履歴を持ち、延性領域から脆性領域までの異なる条件で形成した断層岩が分布する。従って、その解析は物理条件の違いによる多様な断層の挙動の理解につながることを期待される。本研究では三重県松阪市飯高町栗野から田引にかけての林道沿いに見つかった露頭において断層内部構造形成過程について検討した。

栗野・田引露頭では、標高差約 35 m ほどの斜面に、走向方向に約 80 m にわたり中央構造線が露出している。中央構造線の南側(下盤側)に三波川変成岩、北側(上盤側)には和泉層群相当の堆積岩、及び領家帯の畑井トータル岩が分布している。本研究では東西約 10 m の標高差 15 m の範囲について壁面整形を行い、記載を行った。

記載範囲では和泉層群相当の堆積岩と三波川変成岩の岩相境界である中央構造線はほぼ東西走向で北傾斜である。三波川変成岩は中央構造線から 20 m ほどにわたり様々な程度に破碎を被っており、この内部には右横ずれを示す非対称構造が発達している。露頭西部においては、岩相境界およびその下盤数 m の場所に東西走向で北傾斜の剪断面が見られる。下側の剪断面はより明瞭であり主すべり面となっていると考えられる。露頭東端では上側剪断面は和泉層群相当の堆積岩中に伸び、下側の剪断面が和泉層群相当の堆積岩と三波川変成岩の岩相境界となっている。

主すべり面の上盤側には、非対称複合面構造が顕著に発達しており右横ずれを示す。この右横ずれ非対称複合面構造は、主すべり面により切られる。主すべり面内部は、黒色鱗片状ガウジ、灰色ガウジ、黒色無構造ガウジと分かれる。このうち灰色ガウジは、露頭全体にわたり主すべり面の中心部に連続的に分布し、さらに他の構造要素とは直線的な境界を持つことから断層帯を構成する最も新しい構造要素と考えられる。黒色鱗片状ガウジはその上盤に、黒色無構造ガウジは下盤に分布する。

右横ずれ非対称複合面構造と黒色鱗片状ガウジとの境界に右横ずれ成分の正断層を示す条線が観察される。黒色鱗片状ガウジ内部には西方向にレーク角を持つ条線が観察される(センス不明)。灰色ガウジ内部には傾斜方向の正断層を示す条線が観察される。なお、部分的に上記構造を切る逆断層性の条線を持つ剪断面が観察される。ただしこの構造は必ずしも中央構造線の断層面と調和的な構造が動いているわけではない。

以上のことから、三重県松阪市飯高町における構造発達は、右横ずれ→右横ずれ正断層→西方向にレーク角を持つ断層運動→傾斜方向の正断層の順序で変化したと考えられる。右横ずれの構造が幅広い範囲での変形であるのに対し、他の構造が狭い範囲に変形が集中することは、変形の物理条件の違いを反映している可能性がある。また今回の結果は、中央構造線の構造発達に関する数多くの研究の結論と調和的というわけではない。これらについて、今後の検討が必要である。

キーワード: 断層内部構造, 断層ガウジ, 断層条線, 正断層

Keywords: fault zone architecture, fault gouge, fault striation, Normal Fault

断層帯はどのように成長するのか? : 天然断層岩の観察からの知見 How do fault zones develop?: Findings from the observation of natural fault rocks

竹下 徹^{1*}; 金子 由実¹; 荒井 駿¹
TAKESHITA, Toru^{1*}; KANEKO, Yumi¹; ARAI, Shun¹

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

地震は岩石の破壊によって生じるが、内陸型地震は地殻中のどこでも起きるわけではなく、断層に沿って起きることが知られている。したがって、地震活動の問題を考える時、断層構造の発展・進化は重要な研究テーマとなるが、意外にもこの問題について十分な解答が得られていないのが実情である。例えば、断層は当然剪断あるいは破碎帯によって認識されるが、一部の地質学者は断層は弱面であるので、地殻中の変位はそこだけに集中し決して破碎帯の幅は拡大していかないと考えている。しかし、一方で破碎帯の幅は変位量とともに増加していくことが知られている。最近、Schrank et al. (2008) は剪断帯は最初、インタクトな地殻中にかみそりのような断層として発生し、網目状に連結して行って、最後には網目状の剪断帯に囲まれた部分も剪断帯となって、剪断帯の体積(幅)が断層に沿う変位(時間)とともに増加していくというモデルを示した。Takeshita and El-Fakharani (2013) は、三波川変成岩が地殻上部レベルに上昇する、脆性-延性転移の条件で形成されたと考えられる石英片岩中に発達する試料スケールの断層について、Schrank et al. (2008) が示したものと極めて類似する剪断帯の成長過程を明らかにした。この研究によると石英片岩中の微小剪断帯は、最初石英の動的再結晶を伴って形成され、同時に微小剪断帯に沿って侵入して来た流体から白雲母が沈殿するため、ミクロンオーダーの微細粒石英と白雲母から構成される多結晶体の幅狭い帯として形成される。時間の経過とともに微小剪断帯は網目状に発達していくばかりか、剪断帯の幅や結晶サイズが増加する。この微小剪断帯の部分は、構成鉱物の粒径が極めて小さいので圧力溶解-沈殿で低応力で変形が進行していると考えられる。このため引き続き変形においては、網目状剪断帯に囲まれた未変形のレンズ状部分に応力が集中し、そこに微小剪断帯が形成され、同様な過程が繰り返されることにより微小剪断帯の体積が増加し、微小断層帯が成長していく。本研究は試料スケールの剪断帯について行われたが、おそらく露頭スケールおよび地図スケールでも同様な過程で剪断あるいは破碎帯が成長して行くと考えられる。破碎帯成長の鍵は2つあって、1つ目は幾何学的に破碎帯が網目状に形成されていくことが重要である。網目状の破碎帯は、これまで地質学者が露頭や試料スケールの断層について観察している事実と合致しているばかりか、地図スケールではセグメントとジョグ構造がこれにあたる。今回は、三重県中央構造線で新たに見つかった小規模なジョグ構造と周辺の変形構造をポスター発表で報告する(荒井ほか、本連合大会)。もう1つは、亀裂形成に伴う流体の浸透と流体を介した岩石の変質作用および圧力溶解沈殿の重要性である。この問題と関連して、破碎帯中の流体を介した物質移動は大変重要なテーマであり、今回、金子ほか(本連合大会)の発表で、中央構造線カタクレサイト中の流体を介した元素移動により岩石が軟化していく過程を議論する。

キーワード: 断層帯の成長, 剪断あるいは破碎帯, 溶解-沈殿クリープ, 網目状断層帯, 脆性-延性転移, 流体を介した物質移動

Keywords: growth of fault zone, shear or fracture zone, dissolution-precipitation creep, anastomosing fault zone, frictional-viscous transition, mass transfer via fluids

三重県中央構造線沿いのカタクレーサイト化に伴う流体を介した元素移動 Element migration via fluids with progress of fracturing along the Median Tectonic Line, Mie Prefecture, southwest Japan

金子 由実^{1*}; 竹下 徹¹; 重松 紀生²; 藤本 光一郎³

KANEKO, Yumi^{1*}; TAKESHITA, Toru¹; SHIGEMATSU, Norio²; FUJIMOTO, Koichiro³

¹北海道大学大学院理学院, ²独立行政法人産業技術総合研究所活断層・地震研究センター, ³東京学芸大学

¹Hokkaido University Graduate school of science, ²Active Fault and Earthquake Research Center, Geological Survey of Japan, National Institute of Advan, ³Tokyo Gakuhei University

断層帯を構成する脆性断層岩(カタクレーサイト)中では岩石内に流体が流れ、流体を介して溶解・沈殿反応が起き、岩石の軟化・硬化が引き起こされると考えられている。本研究は、産総研の松阪飯高観測点で得られた深度473.9mで中央構造線を貫通するボーリングコア試料に見られるカタクレーサイトについて、断層帯における流体を介した元素移動を明らかにした。

三重県の中央構造線においては、上盤の領家帯構成岩石中にマイロナイトとカタクレーサイトが発達している。本研究では得られたボーリングコアのうち、トーナライトを原岩とカタクレーサイト試料(深度439-473m)と未破碎な試料(深度87m・88m・317m・358m)を研究対象とした。

偏光顕微鏡下での微小剪断割れ目密度に基づき、試料のカタクレーサイト化の程度を4段階、「未破碎岩」、「弱破碎岩」、「中破碎岩」、「強破碎岩」に分類した。蛍光X線分析による全岩化学組成結果に対してアイソコン法(Grant, 1986)を使用し、質量変化と元素移動を明らかにした。また、多変量解析の主成分分析を使用し、分散が最大となるように新たな指標を設定することで、元素の挙動の原因を明らかにした。さらにX線回折法結果に対してRockJock(Eberl, D.D., 2003)を使用し、鉱物モード組成を明らかにし、破碎の進展に伴う鉱物組み合わせの変化を詳細に明らかにしたほか、鏡下観察では同定できない微細粒部について、エネルギー分散型X線分析により鉱物同定を行った。

本研究では、Zrを不動元素とし、質量変化を(質量変化)=[(1/S)-1]×100として見積もった。Sはアイソコン図の原点と不動であるZrのプロットを結んだ直線の傾きである。密度の変化がないと仮定したとき、質量増減は体積増減と一致する。アイソコン法による解析に基づく、「未破碎岩と弱破碎岩」、「弱破碎岩と中破碎岩」、「弱破碎岩と強破碎岩」の組み合わせのそれぞれについて、質量増加は21%・33%・52%である。SiO₂・Na₂O・K₂Oは同じような挙動を示し、未破碎岩から弱破碎岩では増加、弱破碎岩から中破碎岩・強破碎岩ではほぼ一定であった。SiO₂の増加は割れ目への石英の沈殿による石英脈の形成、K₂Oの増加は斜長石とカリ長石の白雲母化により引き起こされたと考えられる。また、斜長石はアルバイト成分が主であることから、Na₂Oの増加は、斜長石についてオリゴクレスのアルバイト化によるものであると考えられる。TiO₂・FeO*・MnO・MgO・CaOに関しては主に同じ挙動を示し、未破碎岩から弱破碎岩では減少、弱破碎岩から中破碎岩・強破碎岩では増加した。また、LOI・Al₂O₃は破碎度に関わらず一方的に増加した。CaOの増加は濁沸石・ぶどう石、FeO*の増加は硫化鉄・緑泥石、MgO・MnOの増加は緑泥石、TiO₂の増加はスフェーンの形成によるものであると考えられる。さらに、Al₂O₃の増加は緑泥石・白雲母・濁沸石の形成、LOIの増加は白雲母・緑泥石の形成によるものであると考えられる。中破碎岩・強破碎岩になると摩擦係数の低い雲母・粘土鉱物(白雲母・緑泥石)や軟らかい鉱物である方解石が大量に形成している。したがって、中・強破碎岩中では、軟らかい鉱物の形成により、岩石が著しく軟化したことが推定される。

キーワード: 中央構造線, 物質移動, カタクレーサイト, アイソコン図, 溶解沈殿反応, 反応軟化

Keywords: Median Tectonic Line, mass transfer, cataclasite, isocon diagram, resolution precipitation reaction, reaction softening

シュードタキライトとマイロナイトを利用した足助剪断帯変形環境の推定 Estimation of deformation environment of Asume Shear Zone using pseudotachylyte and mylonite

金井 拓人^{1*}; 高木 秀雄¹
KANAI, Takuto^{1*}; TAKAGI, Hideo¹

¹ 早稲田大学

¹ Waseda University

中部地方領家帯の伊奈川花崗岩中に発達する足助剪断帯は、NE – SW 走向で正断層成分を伴った左ずれ剪断帯である(酒巻ほか, 2006)。構成断層岩類はカタクレーサイトのほか、シュードタキライトやウルトラマイロナイトを密接に伴う。今回、(1)シュードタキライトに発達する杏仁状構造を充填する方解石に発達した変形双晶を利用した応力解析と、(2)マイロナイト化した石英のc軸結晶格子定向配列(CPO)パターンを利用した変形温度の推定を行ったので、その結果を報告する。

(1)田振露頭より得られた53MaのFT年代(Murakami et al., 2006)をもつ厚さ11cmのシュードタキライト脈には、多くの杏仁状構造が発達する。この試料では杏仁状構造を充填する鉱物は大部分が石英と方解石で、ほとんどの方解石には直線的な変形双晶が発達する。変形双晶は双晶面における剪断変形であり、小断層と同様に古応力状態の推定に利用することができる。この方法は、石灰岩、大理石、方解石脈、などを中心に利用されてきたが、シュードタキライトに発達する杏仁状構造を充填する方解石に適用した例も報告されている(Craddock and Magloughlin, 2005)。今回、杏仁状構造を充填する方解石から1491個のすべりデータを測定し(一部は金井・高木, 2014で報告済み)、Hough変換を利用した多重逆解法(Yamaji et al., 2006)により、古応力状態を推定した。その結果、足助剪断帯に対して、左ずれの剪断運動を与える応力状態と、正断層運動を生じさせる応力状態の2つが検出された。これらの応力状態はシュードタキライト形成後の応力状態であるが、足助剪断帯の運動センスと調和的であることから、足助剪断帯における岩石の変形に寄与していた可能性が考えられる。

(2)大島露頭には、断層脈と注入脈の両者が延性変形を被ったシュードタキライトが存在する。シュードタキライトの断層脈部と注入脈部それぞれ4ヶ所にみられる多結晶集合体石英を対象に、SEM-EBSD法を用いて結晶方位を測定した。測定にはOxford Instruments社製のHKL CHANNEL5を利用した。その結果、断層脈部では3ヶ所でZ集中、注入脈部では4ヶ所すべてでランダムなCPOパターンが得られた。Z集中のCPOパターンからは350~450℃以下での転位クリープでの変形、ランダムなCPOパターンからは拡散クリープでの変形が推定される(Bouchez, 1977; Takeshita and Wenk, 1988; Sakakibara, 1995)。このようなCPOパターンおよびマイロナイトの産状から、足助剪断帯は破碎-塑性遷移領域(無水条件で約300~400℃; Stockhert et al., 1999)において、シュードタキライトやマイロナイトを形成する変形を繰り返し被ったと考えられる。

文献

- Bouchez, K. L., 1977, *Tectonophysics*, **39**, 25-50.
Craddock, J. P. and Magloughlin, J. F., 2005, *Tectonophysics*, **402**, 153-168.
金井拓人・高木秀雄, 2014, 日本地質学会第121年学術大会講演要旨, **R15-P4**, 277.
Murakami, M., Kosler, J., Takagi, H. and Tagami, T., 2006, *Tectonophysics*, **424**, 99-107.
Sakakibara, N., 1995, *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, **10**, 267-332.
酒巻秀彰・島田耕史・高木秀雄, 2006, *地質雑*, **112**, 519-530.
Stockhert, B., Brix, R. M., Kleinschrodt, R., Hurford, J. A. and Wirth R., 1999, *Jour. Struct. Geol.*, **21**, 351-369.
Takeshita, T. and Wenk, H. R., 1988, *Tectonophysics*, **149**, 345-361.
Yamaji, A., Otsubo, M. and Sato, K., 2006, *Jour. Struct. Geol.*, **28**, 980-990.

キーワード: 足助剪断帯, 破碎-塑性遷移, 杏仁状構造, 方解石変形双晶, 石英c軸ファブリック
Keywords: Asume Shear Zone, brittle-plastic deformation, amygdule, calcite twin, quartz c-axis CPO

塩ノ平断層における断層ガウジの摩擦特性 Frictional properties of Shionohira Fault Gouge

青木 和弘^{1*}; 瀬下 和芳¹; 田中 義浩¹; 亀高 正男²; 酒井 亨²; 岡崎 和彦²; 嶋本 利彦³
AOKI, Kazuhiro^{1*}; SESHIMO, Kazuyoshi¹; TANAKA, Yoshihiro¹; KAMETAKA, Masao²; SAKAI, Toru²;
OKAZAKI, Kazuhiko²; SHIMAMOTO, Toshihiko³

¹ 日本原子力研究開発機構, ² ダイヤコンサルタント, ³ 中国地震局地質研究所

¹Japan Atomic Energy Agency, ²Dia Consultants, ³Institute of Geology, China Earthquake Administration

2011年4月11日に発生した福島県浜通りの地震(以下4.11地震と呼ぶ)によって、いわき市田人町旅人滑石から石住綱木北西に至る約14kmの区間に、北北西から南南東へ延びる地表地震断層が出現し、石山ほか(2011)によって塩ノ平断層と命名された。一方で、旅人滑石より南方は茨城県との県境付近まで同方向のリニアメントが識別されているが、この区間には地表変位は現れなかった。著者らは4.11地震による活動区間と非活動区間との違いに注目した調査・研究を進めており、今回の発表では、活動区間である塩ノ平断層の地表露頭から採取した断層ガウジを用いた低速・高速摩擦試験結果について報告する。

試験機は、中国地震局地質研究所が所有する回転剪断式低速・高速摩擦試験機を用いた。すべり速度は6mm/年~2m/s、温度・圧力条件は熱水圧力容器とTiAlCr合金製ピストンを使用することで500℃、70MPaの超臨界水圧下まで可能である。試料は、塩ノ平断層のうち、別当露頭で確認された結晶片岩中の幅数十cmの厚い断層ガウジから採取したもの、塩ノ平露頭で確認された砂岩と結晶片岩の接する断層面に沿って確認された断層ガウジより採取した。断層ガウジより採取した試料を60℃で20時間乾燥後に乳鉢で強くこすり過ぎないように粉末し、#100の篩で150μm以下の粒径を選別する。その後、TiAlCr合金製の下部ピストン(40mm径)にテフロン・スリーブを設置し、テフロン・スリーブ中に粒径選別した試料をセットした。

試験条件は、断層ガウジ試料の初期圧密を1~5MPa、垂直応力1.0~2.0MPa、すべり速度0.2microns/s~2.1m/sとし、低速・高速摩擦試験を実施した。また、無水及び含水条件下で実施し、更に、摩擦の速度依存性についても求めた。

試験結果から両露頭の断層ガウジは、無水条件下で0.6~0.8程度の高い摩擦係数を示すのに対して、含水条件下では0.1~0.2程度の極めて低い摩擦係数を示した。また、断層ガウジの摩擦係数は速度の増加とともに僅かに増加し、高速ほど摩擦が大きくなる「速度強化」の性質をもつことが明らかになった。

キーワード: 摩擦特性, 断層ガウジ, 塩ノ平断層, 摩擦係数, 低速・高速摩擦試験, 福島県浜通り地震

Keywords: friction properties, fault gouge, Shionohira fault, friction coefficient, low and high velocity friction experiment, Fukushima-ken Hamadori earthquake

Structural development of the basin associated with bends on the North Anatolian fault in NW Turkey

Structural development of the basin associated with bends on the North Anatolian fault in NW Turkey

Kurt Hulya^{1*}; SORLIEN Christopher²; SEEBER Leonardo³; STECKLER Michael³; SHILLINGTON Donna³; CIFCI Gunay⁴; DONDURUR Derman⁴; OKAY Seda⁴
KURT, Hulya^{1*}; SORLIEN, Christopher²; SEEBER, Leonardo³; STECKLER, Michael³; SHILLINGTON, Donna³; CIFCI, Gunay⁴; DONDURUR, Derman⁴; OKAY, Seda⁴

¹Istanbul Technical University, Department of Geophysics, ²Earth Research Institute, University of California, Santa Barbara, ³Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, ⁴Dokuz Eylul University, Institute of Marine Sciences and Technology

¹Istanbul Technical University, Department of Geophysics, ²Earth Research Institute, University of California, Santa Barbara, ³Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, ⁴Dokuz Eylul University, Institute of Marine Sciences and Technology

The Marmara Sea in western Turkey contains three subbasins with water depths reaching 1250 m, called from west to east the Tekirdag, Central and Cinarcik basins. These basins are active subsiding marine basins forming along the North Anatolian Fault (NAF) which is 1500 km-long and accommodates the current GPS-derived about 25 mm/yr westward motion of the Anatolian platelet relative to Asia. The Quaternary active Cinarcik basin is representative of the basin that developed in the wake of Tuzla bend along continental transform NAF. The basin is oblique time-transgressive half graben and is bordered by the master northern strand of the transform.

We use existing deep-penetration, low-resolution migrated multichannel seismic reflection (MCS) data and new migrated high-resolution MCS data for seismic stratigraphic interpretations in Cinarcik basin. All the seismic reflection data are used to correlate five stratigraphic horizons which contain stacked low-stand shelf-edge deltas. These five seismic horizons related to the geological boundaries with the known age information are used to calculate thicknesses, depth changes and tilts of the strata within the basin.

The Cinarcik basin has an asymmetric structure and within the basin strata are progressively tilted obliquely toward the bend and toward the border fault, where subsidence is fastest. Yet, nearest the bend is also where the basin is youngest and shallowest. Away from the bend the subsidence rate decreases while the basin get deeper and older. This common pattern is accounted for by time-transgressive basin growth. On the transtensive side of the bend, slip on the transform is oblique normal and the hangingwall side subsides forming the basin. Subsidence continues along the fault and the basin get progressively deeper away from the bend. Eventually, the basin reaches its maximum depth, but can continue to grow longitudinally along the fault.

キーワード: North Anatolian Fault, Marmara Sea, Cinarcik Basin, Multi-Channel Seismic Reflection, Seismic Stratigraphy, Basin Formation

Keywords: North Anatolian Fault, Marmara Sea, Cinarcik Basin, Multi-Channel Seismic Reflection, Seismic Stratigraphy, Basin Formation

北アナトリア断層帯下における地殻内粘性率の空間変化 The spatial viscosity variation in the crust beneath the western North Anatolian Fault

山崎 雅^{1*}; Gregory A., Houseman²
YAMASAKI, Tadashi^{1*}; HOUSEMAN, Gregory A.²

¹ 産業技術総合研究所, ² リーズ大学
¹Geological Survey of Japan, AIST, ²University of Leeds

The GPS velocity profiles across the western North Anatolian Fault (NAF) near the location of the 1999 Izmit rupture are characterised by: (i) before the earthquake, strain rate is localised in a region <100 km wide across the near-fault zone, and (ii) after the earthquake, near-fault relative velocities are up to ~150 mm/yr, being significantly higher than the long-term relative displacement rate of Anatolia with respect to Eurasia (~22 mm/yr). We previously showed that these characteristics can be explained if a localised weak zone (LWZ) in the mid-crust directly beneath the NAF northern strand is embedded in a relatively high viscosity background crustal layer [Yamasaki et al., 2014, *J. Geophys. Res.*, 119, 3678-3699]. This study expands upon the previous study of Yamasaki et al. [2014], investigating in more detail a likely spatial viscosity variation beneath the western North Anatolian Fault (NAF), for which a simplified 3D finite element model is employed to solve the linear Maxwell visco-elastic response to periodically repeating right lateral strike-slip earthquakes under the presence of a constant-rate far-field loading. We tested in this study whether the LWZ in the mid-crust is required to be centred on the NAF northern strand. Horizontal offset of the LWZ from directly beneath the rupture zone of the 1999 Izmit earthquake should be less than ~10% of its width in order to preserve the approximate anti-symmetry of the GPS velocity profiles. We find that a LWZ between the NAF northern and southern strands, which may be expected from the spatial variation of low resistivities in the magnetotelluric (MT) images of Tank et al. [2005, *Phys. Earth Planet. Inter.* 150, 213-225] and Kaya et al. [2013, *Geophys. J. Int.* 193, 664-677], does not explain the GPS velocities. We therefore find no simple one-to-one relation between viscosities and resistivities beneath the western NAF. In this study we also investigate possible depth-variation of the background viscosity structure on which the LWZ centred on the NAF northern strand is superposed, and find that the background viscosities are required to be greater than $\sim 2 \times 10^{20}$ Pa s at depths shallower than ~30 - 35 km in the 40 km thickness of the crust in order to explain the high strain-rate zone in the pre-seismic velocity profiles.

地震間-地震後の東北日本弧における垂直変動のモデル化：レオロジー不均質の効果 Numerical modeling on interseismic and post-seismic vertical deformation of NE Japan: Role of rheological heterogeneity

武藤 潤^{1*}; 芝崎 文一郎²; 飯沼 卓史³; 西村 卓也⁴

MUTO, Jun^{1*}; SHIBAZAKI, Bunichiro²; IINUMA, Takeshi³; NISHIMURA, Takuya⁴

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 建築研究所国際地震工学センター, ³ 東北大学災害科学国際研究所, ⁴ 京都大学防災研究所
¹Tohoku University, ²International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, ³Inuma
Takeshi International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ⁴Disaster Prevention Research Institute, Kyoto
University

Nation wide deployment of dense geodetic network has clarified the strain accumulation and release processes through the megathrust earthquake cycle for the NE Japan subduction zone system. Prior to the 2011 Tohoku Oki earthquake, vertical deformation was characterized by rapid subsidence in the forearc and gentle uplift in the backarc. The large subsidence is only observed in a latitude range between N37 and N40 degrees. At the Tohoku Oki earthquake, coseismic vertical deformation shows a subsidence simply increasing eastward reaching a 1.2 m on the Oshika Peninsula. Post-seismic deformation over the three years shows concentric distribution of uplift and subsidence around the epicentral area: uplift in the forearc, subsidence in the volcanic front to backarc, and uplift in further backarc to Japan Sea side. The pattern of the observed uplift and subsidence across the island arc in the middle of the NE Japan, crossing the largest slip of the Tohoku Oki earthquake, is opposite that in the interseismic period (Nishimura, 2014). Here, we developed two dimensional and three dimensional finite element models of the NE Japan subduction zone to simulate the vertical crustal deformation during the megathrust earthquake cycle. Two dimensional model transects and three dimensional model includes an area of large coseismic slip of the Tohoku Oki earthquake. Temperature dependent heterogeneous viscosity structures were utilized to investigate the role of rheological heterogeneity (Muto et al., 2013). Deformation along plate boundary is kinematically assigned using the split node method. During interseismic period, backslip is given to a locked portion at a plate convergence rate of 80 mm/year. At the coseismic step, the amount of slip corresponding to slip deficit accumulated during the interseismic period for 500 years is given along the locked portion. Our preliminary models indicate that the pattern of vertical deformation implies the rheological heterogeneity normal to the NE Japan island arc. Especially the model with presence of rheological contrast between thick, cold forearc and weak volcanic front reproduce similar pattern of vertical deformation observed in the interseismic period. Those results strongly suggest that the incorporation of rheological heterogeneity is required to explain the strain accumulation process in three-dimensional subduction zone systems from the geodetic observation.

References:

Muto, J., B. Shibazaki, Y. Ito, T. Inuma, M. Ohzono, T. Matsumoto, and T. Okada (2013), *Geophys. Res. Lett.*, 40, doi:10.1002/grl.50906.

Nishimura, T. (2014), *J. Disaster Res.*, 3, 294-302.

Keywords: Subduction zone earthquake cycle, post-seismic deformation, interseismic deformation, rheology, finite element model

2011年東北沖地震後の奥羽脊梁山脈周辺における粘弾性緩和過程と歪異常のモデル化 Modeling viscoelastic deformation and strain anomaly around the Ou Backbone Range after the 2011 Tohoku-oki earthquake

芝崎 文一郎^{1*}; 松本 拓己²; 武藤 潤³; 飯沼 卓史⁴; 三浦 哲⁵
SHIBAZAKI, Bunichiro^{1*}; MATSUMOTO, Takumi²; MUTO, Jun³; IINUMA, Takeshi⁴; MIURA, Satoshi⁵

¹ 建築研究所国際地震工学センター, 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, ⁴ 東北大学災害科学国際研究所, ⁵ 東北大学大学院理学研究科

¹International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, ²National Institute for Earth science and Disaster Prevention, ³Department of Earth Sciences, Tohoku University, ⁴International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ⁵Graduate School of Science, Tohoku University

This study investigates the viscoelastic deformation processes of the northeastern Japan island arc after the Tohoku-oki earthquake by considering the heterogeneous rheological structure. Recently, Shibazaki et al. (2014) calculated the effective viscosity of the Japanese island arc crust and upper mantle, considering the thermal structure obtained by dense geothermal observations using Hi-net boreholes (Matsumoto, 2007) and by Tanaka et al. (2004). They reproduced several elongated low-viscosity regions in the crust and upper mantle of the northeastern Japan arc, striking transverse to the arc, which correspond to hot fingers. Recently, Miura et al. (2014) found a postseismic strain anomaly along the Ou Backbone Range after the 2011 Tohoku-oki earthquake. This postseismic anomaly could have been affected by the existence of low-viscosity anomalies caused by the hot fingers.

We develop a finite element model of the viscoelastic deformation processes after the Tohoku-oki earthquake, considering the realistic crustal and mantle structures, and coseismic fault slip distribution (Iinuma et al., 2012). Our numerical results show that significant extensional viscous deformation occurs in the low-viscosity regions in the crust and upper mantle. This deformation causes significant subsidence in the back-arc region and Ou Backbone Range, but uplift near the Pacific coast. We also try to reproduce the decreases in areal strain along the Ou Backbone Range observed by Miura et al. (2014). In the case where low viscosity zones are extended to the shallower part of the crust, we can reproduce the areal strain decrease which is caused by contraction along the N-S direction. In our model, we cannot reproduce the expansion of areal strain decrease over time along the arc observed by Miura et al. (2014). To model this phenomenon, we would probably need to consider afterslip after the Tohoku-oki earthquake.

キーワード: 東北沖地震, 東北日本弧, 粘弾性緩和過程, 奥羽脊梁山脈, 歪異常

Keywords: the Tohoku-oki earthquake, the northeastern Japan arc, viscoelastic deformation, the Ou Backbone Range, strain anomaly

定常的な陸の隆起と海水準変動を考慮した房総半島完新世海成段丘の発達過程シミュレーション

Modeling and simulation for the development of Holocene marine terraces in the Boso peninsula

野田 朱美^{1*}; 宮内 崇裕²; 佐藤 利典²; 松浦 充宏³

NODA, Akemi^{1*}; MIYAUCHI, Takahiro²; SATO, Toshinori²; MATSU'URA, Mitsuhiro³

¹ 構造計画研究所, ² 千葉大学大学院理学研究科, ³ 統計数理研究所

¹Kozo Keikaku Engineering Inc., ²Graduate School of Science, Chiba University, ³The Institute of Statistical Mathematics

房総半島南端部には沼Ⅰ～Ⅳ面と呼ばれる完新世海成段丘が発達している。このうち最低位の沼Ⅳ面は1703年元禄地震の際に離水した浅海底地形(波食棚から海食台付近)であることが知られており、元禄段丘面とも呼ばれる(松田ほか, 1974)。この元禄段丘面と高位の沼Ⅰ～Ⅲ面の高度分布パターンが良く似ていることから、従来、沼Ⅰ～Ⅲ面も昔の元禄型地震によって離水したと考えられてきた(Matsuda et al., 1978; Shimazaki & Nakata, 1980; 穴倉, 2003)。しかし、プレート境界地震の場合、地震時にすべった領域(震源域)はやがて再固着するが、それ以外のプレート境界では地震間を通じて非地震性すべりが進行するため、地震時の隆起・沈降パターンは時間と共に徐々に失われていき、最終的に残るのはプレートの定常沈み込みによる変動だけである(Matsu'ura & Sato, 1989)。従って、沼Ⅰ～Ⅲ面の形成は元禄型地震の発生とは関係なく、その成因は太平洋プレートとフィリピン海プレートの沈み込みによる房総半島南端部の定常的な隆起運動と完新世の海水準変動に帰すべきものである(松浦・野田, 日本地震学会 2014 年度秋季大会講演予稿集, D11-03)。こうした考えの妥当性を検証するため、本研究では、波浪による浸食と堆積、地盤隆起、及び海水準変動を考慮した海岸地形形成モデルを構築し、房総半島南部の完新世海成段丘発達の数値シミュレーションを行った。

海岸地形の形成過程は概念的に次のような式で記述される: 標高変化 = -浸食 + 堆積 + 地盤隆起 - 海面上昇。海岸での海-陸相互作用のモデル化に際しては、浸食レートは波浪エネルギーの散逸レートに比例し(Anderson et al., 1999)、浸食によって生産された浮遊物質の堆積レートは岸から遠ざかるにつれて指数関数的に減少していくとした。また、房総半島完新世海成段丘の発達シミュレーションでは、地震性の間欠的な隆起運動は考慮せず、プレートの沈み込みに起因する定常的な隆起運動(Hashimoto et al., 2004)のみを考慮し、酸素同位体比記録に基づく平均海面高度の時系列データ(Siddall et al., 2003)を3次スプライン関数の重ね合わせでフィッティングした海水準変動曲線を用いた。

海食崖と海食台は海水準変動曲線の変曲点(山と谷)付近で発達する。1万年前から現在までの海水準変動曲線には7つの変曲点(4つの山と3つの谷)があるため、7つの海成段丘が形成される。しかし、隆起速度が遅いと、形成された段丘の殆どは現海面下に沈んでしまい観測されない。隆起速度が早い場合でも、古い段丘と新しい段丘の重なり合いや逆転が生じ、段丘面の形成年代と現在の高度の対応関係は単純ではない。このことは、房総半島南部の完新世離水海岸地形の詳細な調査に基づいて、既に指摘されている(遠藤・宮内, 日本活断層学会 2011 年度秋季大会講演予稿集, P-06)。今回のシミュレーションでは、隆起速度を3~4mm/yrとすると沼Ⅰ～Ⅳ面に相当する明瞭な段丘面が発達することが分かった。但し、その場合でも、古い段丘と新しい段丘の重なり合いや逆転が生じているため、最高位の段丘面の形成年代が最も古いわけではないことに注意する必要がある。

キーワード: 海成段丘, 海水準変動, 定常隆起運動, 浸食, 堆積

Keywords: Marine terrace, Sea level change, Steady land uplift, Erosion, Deposition

多重地震サイクルとそのすべり・時間依存構成則による解釈 Interpretation of multiple earthquake cycles based on the slip- and time-dependent fault constitutive law

松浦 充宏^{1*}
MATSU'URA, Mitsuhiro^{1*}

¹ 統計数理研究所
¹ Institute of Statistical Mathematics

The occurrence of the Mw9.0 Tohoku-oki earthquake in 2011 brought two essential problems in subduction-zone dynamics to light. The first problem is why did such an extraordinarily large earthquake occur in the same place where ordinarily large earthquakes have repeated every 40 years over the past two centuries? In other words, is the multiple earthquake cycles physically explainable? The second problem is when will the surface deformation pattern in northeast Japan be back? In other words, how will the frictional strength of ruptured areas be recovered? To address these problems, first, we need to change the conventional concept of asperity. Since Lay & Kanamori (1981) proposed an asperity model of earthquakes, the asperity has been thought to be an actual entity that means a strongly coupled portion of faults or a fundamental unit of seismic rupture areas. If it is so, plural asperities cannot occupy the same place. Then, no multiple earthquake cycle exists, though the chain rupture of adjacent asperities is possible. Recently, following the idea of spectral analysis, Matsu'ura (2012) redefined the asperity as a notional entity to represent the spatial irregularity in frictional properties (peak strength and critical slip-weakening displacement) of faults. For example, a specific mode in spectral analysis of peak strength corresponds to the asperities of a specific size. Then, plural asperities with different sizes can be in the same place, but it is only a necessary condition for multiple earthquake cycles. Another necessary condition is the scale dependence of critical slip-weakening displacement, which results from the upper fractal limit of fault surface geometry (Matsu'ura et al., 1992). Otherwise the dynamic rupture of a small asperity would easily trigger the dynamic rupture of the largest basement asperity. From the laboratory rock experiments (e.g., Ohnaka & Shen, 1999) and the numerical simulations based on the slip- and time-dependent fault constitutive law (Aochi & Matsu'ura, 2002), we can derive the following quantitative relations on the scale-dependence of frictional properties; 1) the critical slip-weakening displacement is proportional to the upper fractal limit of fault surface geometry and inversely proportional to the abrasion rate of fault surface, and 2) the recovery time of peak strength is proportional to the square of the upper fractal limit and inversely proportional to the adhesion rate. The scale-dependence of fault healing time (the second relation) means that the strength recovery of larger asperities is slower than that of smaller asperities. So, the time needed for the complete recovery of the surface deformation pattern in northeast Japan depends on the fault healing time of the largest basement asperity, which would be very long.

キーワード: 2011年東北沖地震, 多重地震サイクル, アスぺリティモデル, すべり・時間依存構成則
Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, multiple earthquake cycle, asperity model, slip- and time-dependent friction law

水平短縮している堆積盆がなぜ沈降するのか? Why do horizontally shortening sedimentary basins subside?

飯尾 能久^{1*}
HIO, Yoshihisa^{1*}

¹ 京大・防災研
¹DPRI, Kyoto Univ.

新潟平野、大阪平野や濃尾平野などでは、数 km 以上の厚い堆積層が発達しており、これらの盆地は、新第3紀あるいは第4紀以降、沈降を続けていると考えられている(例えば、藤田,1993)。また、これらの堆積盆は、新潟-神戸歪集中帯あるいはその周辺に位置し、大きな水平短縮速度で特徴付けられる(Sagiya et al., 2000)。地層が水平に短縮すると、直感的には、そこでは物質が過剰となるため短縮した部分で地層が厚くなり、隆起が起こるものと考えられるが、上記の堆積盆では大規模な沈降が続いている。どうしてだろうか?

これらの堆積盆と周辺の山地の境界付近には活断層がある。その運動の逆断層成分により、上盤・下盤側で相対的な隆起・沈降が期待される。しかしながら、絶対的な隆起・沈降については、問題は単純ではない。例えば、半無限弾性体の単純な平面逆断層では、高角でないとそもそも下盤側に絶対的な(遠方から見て)沈降が表れない。断層のある弾性層より下部に粘弾性的な層を導入すると、粘性緩和とアイソスタシーの効果により沈降は生じる。しかしながら、この沈降は、そもそも隆起域の荷重に起因するものであり沈降量は隆起量とせいぜい同程度であるが(例えば、西村・他, 2012)、新潟平野や大阪平野では、沈降量が隆起量に比べて圧倒的に大きい。淡路島では標高数百 m の山の上にも大阪層群があるが、盆地下では、対応する層の深さは 2km 程度である(例えば、堀川・他, 2003)。新潟平野では、西端付近にある変位速度の大きな角田・弥彦断層の上盤側には顕著な山地は存在していない(例えば、石山・他, 2000)。

飯尾(2009)は、水平短縮による物質過剰を除去するために、地殻下部でデラミネーションが起こり、地殻が薄くなるために沈降すると考えた。短縮により厚くなった地殻下部で高温・高圧の変成作用が起こり、最上部マントルより重くなって脱落するという考えである。しかし、隆起から一転して沈降となるためには、相当大規模なものが脱落する必要があると考えられる。

飯尾(2009)は短縮域で物質過剰が生じると考えたわけであるが、それは例えば、粘土を短縮するようなイメージである。一方、薄い弾性板の短縮では、バックリングと呼ばれる上か下への一方的な曲がりが起こる可能性も知られている。上への曲がりにおいては、空気中には障害物は無いが、重力に抗するための仕事を必要とする。下への曲がりの場合、海面下の同じ深度で比較すると、沈降域において上載岩圧が小さくなるため、周囲より鉛直応力が小さくなると考えられる。そのため、沈降域において、水平最大圧縮応力と鉛直応力の差が大きくなり、変形が進みやすくなる可能性がある。

短縮変形において、一旦下向きのバックリングが起こるとそこでは差応力が大きくなり、さらに短縮変形が進行するという正のフィードバックが働く可能性がある。そのため、歪み速度の大きな堆積盆が形成されると考えられる。水平圧縮応力の絶対値が大きい場合、つまり、地殻が高応力状態にある場合は、1,2km の沈降はそれほど効かないかもしれないが、低応力状態にある場合は大きな効果を持つと考えられる(例えば、吉田・他(2014)による地形とメカニズム解の関係に見られるように)。

キーワード: 歪み集中帯, 応力, 堆積盆, 沈降, 内陸地震, 活断層

Keywords: high strain region, stress, sedimentary basin, subsidence, intraplate earthquake, active fault

本州の背弧内リフトの形成と短縮変形 Formation of backarc inner rifts and their shortening deformation in Honshu island, Japan

佐藤 比呂志^{1*}; 石山 達也¹; 加藤 直子¹; 阿部 進³; 白石 和也³; 稲葉 充²; 阿部 紫織¹; 蔵下 英司¹; 野 徹雄⁴; 佐藤 壮⁴; 小平 秀一⁴; 松原 誠⁵
SATO, Hiroshi^{1*}; ISHIYAMA, Tatsuya¹; KATO, Naoko¹; ABE, Susumu³; SHIRAIISHI, Kazuya³; INABA, Mitsuru²; SHIORI, Abe¹; KURASHIMO, Eiji¹; NO, Tetsuo⁴; SATO, Takeshi⁴; KODAIRA, Shuichi⁴; MATSUBARA, Makoto⁵

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 海洋研究開発機構, ⁵ 防災科学技術研究所
¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI Inc., ³JAPEX Co., Ltd., ⁴JAMSTEC, ⁵NEID

日本海の拡大は、複数の軸をもつ様式で進行した。この背弧域でのリフトニングについては、これまで地質構造や重力異常などから議論されることが多かったが、近年、深部反射法地震探査の実施や、地震波トモグラフィなどによって認識できるようになってきた。ここでは、とくに東北日本から中部日本にかけての地域を対象として、新しい地球物理学的数据を基に、日本海拡大期に形成された背弧域のリフトの形成と、その後の短縮変形の特徴について述べる。

新潟平野から佐渡島の間には厚さ 7km に達する厚いリフト期以降の堆積物が分布し、ボーリング調査などで日本海拡大期に噴出した広域玄武岩の分布が知られている。自然地震トモグラフィからは下部地殻への苦鉄質岩の併入に起因する P 波速度の高速度化が認められる。こうした地域では、玄武岩併入域と大陸地殻の境界部にリフト軸に平行なリフト軸の外側に傾斜する逆断層が形成されている。越後山脈西縁の月岡断層は、大規模なウェッジスラストを構成することが、反射断面や速度構造から明瞭になっている。秋田堆積盆地の西縁を限る飛島-船川断層は、西傾斜の逆断層である。すなわち、盆地両縁の盆地外側に傾斜した逆断層が大規模なウェッジスラストを形成しつつ短縮変形が進行し、盆地内堆積物の褶曲が形成される。北部フォッサマグナは最も短縮変形が進行した地域で、とくに大規模なウェッジスラストを構成する長野盆地西縁断層により、リフト盆地充填堆積物が強く褶曲した。盆地充填堆積物が強い短縮変形を被って保存されていることは、基本的にはリフト縁の断層がリフト外側に傾斜した逆断層をなすからである。類似した構造は富山トラフにも見られる。富山や新潟堆積盆地では、北東-南西方向にリフト軸を有する堆積盆地が形成され、その南西端はこれと直交する横断方向の断層によって境される。こうした形状は基本的には、北部フォッサにおいても同様であり、基本的に糸魚川-静岡構造線から関東構造線にいたる断層群は、リフトを横断する断層としての性格を有している。

下部地殻の高速度領域は、関東北部から東北南部でも新第三系の堆積物が厚い堆積盆地地下で見られる。鬼怒川低地帯や関東北西部の平野下でも重力や反射などから厚い堆積物の分布が確認されているが、この領域の下部地殻で地震波速度の高速度化が見られる。これらの過去のリフト境界に形成された活断層の姿勢は、リフト軸の外側に傾斜しており、日本海沿岸の中絶リフトと共通した性質を示す。

キーワード: 中絶リフト, 背弧海盆, 日本海, 地殻構造, 短縮変形, 断層関連褶曲

Keywords: failed rift, backarc basins, the Sea of Japan, crustal structure, shortening deformation, fault-related fold

白亜紀アジア大陸東縁と日本の堆積盆地 The eastern continental margin of Cretaceous Asia and sedimentary basins in Japan

磯崎 行雄^{1*}; 中畑 浩基¹; 青木 一勝²
ISOZAKI, Yukio^{1*}; NAKAHATA, Hiroki¹; AOKI, Kazumasa²

¹ 東京大学大学院総合文化研究科, ² 岡山理科大学
¹Dept. Earth Science & Astronomy, Univ. Tokyo, ²Okayama University of Science

The tectono-sedimentary history of the Cretaceous arc-trench system of Japan has been reconstructed on the basis of conventional geological studies on the paired metamorphic belts, granite batholith belt, and various sedimentary basins. The recently developed detrital zircon chronology can add more critical constraints in reconstructing the sedimentary settings of various basins with respect to the coeval arc complex and contemporaneous continent on the back-arc side. We reported several preliminary results on U-Pb age spectra of zircon grains from various Cretaceous sandstones in Japan, and the mutual comparison among them allows us to discriminate/characterize various sedimentary units and basins. In particular, we could identify back-arc, intra-arc, and fore-arc basins for the Cretaceous Japan with respect to the Asian continent.

キーワード: 白亜紀, 堆積盆地, 碎屑性ジルコン, アジア大陸, U-Pb 年代
Keywords: Cretaceous, sedimentary basin, detrital zircon, Asia, U-Pb age

地形・重力異常・火山分布の位置関係に基づく沈み込み帯の分類 Classification of subduction zones based on the spatial correlation of topography, gravity anomaly and volcanic front

深畑 幸俊^{1*}
FUKAHATA, Yukitoshi^{1*}

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

多様な沈み込み帯を分類し理解するために、チリ型・マリアナ型 (Uyeda, 1982) という区分が提唱され教科書等にも広く掲載されている。チリ型では、若い海洋プレートがその浮力のために低角で沈み込むため、プレート間の固着が強く、巨大地震が発生し上盤 (島弧) では圧縮が生じる。一方、マリアナ型では、古く重いプレートが高角で沈み込むため、プレート間の固着は弱く、巨大地震は発生せず上盤では背弧拡大など伸張的な現象が起こるとされている。この分類は直感に訴えるものではあるが、例えばスラブの年齢と沈み込み角の間には実は相関がない (Lallemant et al., 2005) など、実態を的確に反映したものではない。東北弧のように古い海洋プレートが沈み込む一方沈み込み角が浅いなど、どのように分類したら良いのか判然としない島弧は少なくない。

島弧海溝系の最も主要な特徴としては、地震分布の他に、地形・重力異常・火山分布の3つがある。その3者は基本的に海溝にほぼ平行に走る。そこで、各沈み込み帯ごとに島弧の走向に直交する断面を取って、地形および重力異常のプロファイルを描くと共に火山フロントの位置をプロットすることにより、3者の空間的位置関係をまず客観的に把握した。そして、主として火山フロントの位置が重力異常や地形的な高まりと一致するか否かを基に沈み込み帯の分類を行った。

重力異常は、海溝で普遍的に低く、わずかの例外を除き海溝から 100 - 200 km 陸側に顕著な高まりを持つ。以下では、その重力異常の高まりを前弧、それよりも陸側を背弧と呼ぶことにする。背弧にも重力異常の高まりがしばしば存在する。

まず一つ目の分類の基準として、前弧の重力異常の高まりと火山フロントの位置とが一致する場合としない場合とがあることに着目した。前者の場合、地形的高まりも一致する。これをI型と名付けた。次に、後者の一致しない場合、火山フロントは海溝側にくることはなく、常に背弧側に位置する。そして、火山フロントと地形的な高まり (ピーク) とが一致する場合と一致しない場合があり、それぞれII-a型、II-b型と名付けた。火山フロントが不明瞭ないしは海溝と斜行、海溝の走向方向に地形等の変化が大きい、海嶺沈み込みの近く、などを除く世界中の30の沈み込み帯について解析したところ、I型が6、II-a型が12、II-b型が6、前弧の重力異常がはっきりしないものが3、I型とII型の間接的形態が3となった。

I型は全て海洋性島弧である一方、II-a型は千島弧を除き全て大陸性だった。II-b型は海洋性と大陸性が半々で、海洋性の場合I型と一続きの島弧海溝系を形成する場合が多い。応力状態は、I型・II-b型が伸張的である一方、II-a型は圧縮的だった。

I型とII-b型の違いは、スラブの沈み込み角に帰されると考えられる。基本的に、前弧の重力異常の高まりの位置は海溝からの距離に依る (Matsu'ura and Sato, 1989) のに対し、火山フロントの位置はスラブの深度で規定されるからである (England et al., 2004)。例えば、スラブの沈み込み角が比較的に浅いトンガ弧はII-b型である一方、その南に位置するI型のケルマデック弧は沈み込み角が非常に急である。

II-a型とII-b型の違いは島弧の応力場に帰着される。まとめると、スラブの沈み込みの角度によりI型とII型が、応力状態によりa型とb型が区分される。そうすると、分類は全体として2×2となるべきだが、スラブの沈み込み角が急でかつ圧縮場というケースは少なくとも地球上には存在しない。一般に、スラブの沈み込み角が急になると島弧の応力場が伸張的になることが知られており、その問題と関係している。また、前弧の重力異常がはっきりしない島弧は、琉球やエーゲ海などいずれも強伸張場である。海洋プレートの沈み込みにより重力異常の高まりを作る作用が、伸張場による変形によってあらかじめ打ち消されているためと考えられる。また、地形的高まりと火山フロントがしばしば一致するものの普遍的にはそうではないことが知られているが、その問題もこの分類によってクリアに整理できる。I型とII-a型のときには両者は一致し、II-b型のときには一致しないのである。

キーワード: 沈み込み帯, 島弧, 地形, 重力異常, 火山フロント

Keywords: subduction zone, island arc, topography, gravity anomaly, volcanic front

巨大地震と青森・岩手・宮城の断面構造を結ぶダイナミクス Dynamics that connects massive earthquake and cross section structure of Aomori, Iwate, and Miyagi

間瀬 博文^{1*}
MASE, Hirofumi^{1*}

¹ 所属なし
¹ none

プレート (P) 収束帯では低温の P の斜め上斜め下に高温体が形成され互いに引き寄せ合う。東方から西進する高温体に乗る P とマントルウェッジは西進し、西方から東進する高温体に挟まれ圧縮される。これが収束帯の原動力・主構造と考え理論・実験・適用の各面で説明してきた。(1)(2) 他

私の、応力構造の現状解明と変動傾向の理解予測 (以下「構造理解」と略) は、1. 力学の一般知識 2. 上の仮説 3. 地震波トモグラフィ dV_p の赤色は高温青色は低温と解釈することを根拠とする。東日本に関する主な構造理解を以下に示す。

M7 クラスの地震が震源を東に移動 (登坂) させながら数十年に一度発生しその度に地震の西方が深部まですべりを起こす (宮城県沖地震)。先行する小地震が割れ前線を形成しそれがしかるべき位置に達すれば一斉全体すべりが起きる (3.11)。宮城沖の 1 千年の力学モデルであり実験で再現された。(3)(4)

宮城沖以南では南部ほど上盤下盤共に潰れが大きい。応力が蓄積し難く沈み込みが進まず応力開放時に海溝軸が東へ戻りにくい。長期的に南部ほど海溝軸は西へ運ばれる。これが南部ほど海溝が陸に近い理由であり房総沖三重会合点で最も西寄りの理由と共に説明した。(5)(6)

(図面 (注釈は英語) を参照のこと) 今回は宮城沖以北の構造理解に関する。まず宮城 (d-d' 断面) の特徴は青森 (a-a' 断面) との比較で再認識できた。高温体の高 4 はより西へ高 5 はより東へ拡がり原動力の向きは水平に近い。また東海岸以東のウェッジ (W) 内に顕著な高温部はなく 3.11 のすべり域のモデル化と再現実験が容易であった。西から押し寄せる高 4 は東部ほど斜面に貼り付き停滞し物質が蓄積する。これで陸地が形成・維持されるが東端は圧力が東下へ抜けがちである (陥没地形: 仙台湾)。W は西真横から押され P 境界に沿った剥離が期待できる。

青森の特徴は悉く異なる。高 4 と高 5 は拡がらず原動力は斜面に直角に近いため高 4 はまず斜面に近づきそれに沿って展開する。故に陸の発達は弱い。W は西斜め下から押されるので剥離は P 境界に沿わず途中で海底を突き上げる。そこに物質が溜まりドーム (D) が発達する。これより東側は東斜め下から D を止める力が反作用で発生し P 境界に沿う剥離はこちらも起こりにくくろう。a-a' 断面と b-b' 断面は似ているが前者は W の中にもエンジン (高 1) がありより能動的な登坂すべりが見込まれる。これらの理由で平面図の領域 AO は特異である。

1968 年と 1994 年の大地震は初期破壊 (IR) と主破壊 (MR) の位置が離れ (7)、浅部から深部まで広範囲で破壊したと見込まれるのは宮城沖との比較でも不思議であった (8)。しかし上の構造理解によれば領域 AO での大地震は D の東側にあるストッパーがまず動く (IR) ことで D の西側で大すべり (MR) が始まる震源過程が特性であると説明できる。高 4 の先端や高 1 は W 内のエンジンなので常に歪の蓄積が速く大地震の発生間隔を短くしていよう。限られた領域 AO に対し MR-D-IR が二列形成された必然性を今後明確にしたい。

岩手 (c-c' 断面) の温度構造は全体としては中間的であるが、陸地の下に低温体があり W の中に巨大な高 3 があることが特異である。高 3、高 4、高 5 は相互に引き合う。東西から押され安定した圧力で陸地は支持されている。これで三陸が存在すると思う。高 3 は東斜め下へも引かれることで W の先端や沈み込み P を直接的に押す。このことと地震の多発帯 (9) は関係しよう。

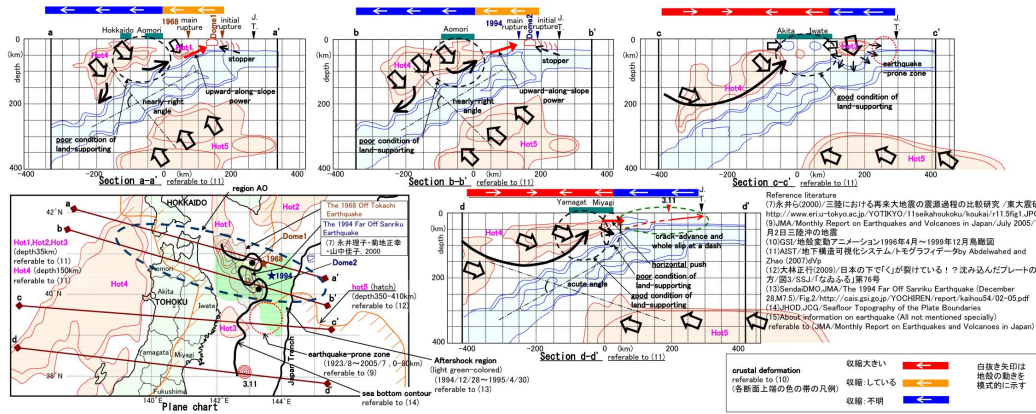
地殻変動は観測事実 (10) で示されるものを構造理解に投入しても全域で矛盾は認められない。例えば日本海が青森では陸と共に西へ流されそれより南では逆に東進していることは調和する。今回は宮城沖以北の構造理解で地震の理解も進み青森東方沖の大地震は仕組みが宮城県沖地震でもなく 3.11 でもないことが判明した。

参考文献: (1) 間瀬/SSJ2010 秋/P3-47 (2) 間瀬/JpGU2012/SCG67-P06 (3) 間瀬/SSJ2012 秋/P2-75 (4) 間瀬/JpGU2013/SSS28-P09 (5) 間瀬/SSJ2013 秋/P2-45 (6) 間瀬/JpGU2014/SCG66-P04 (7) 永井ら (2000)/三陸における再来大地震の震源過程の比較研究 / 東大震研 (8) 間瀬/JpGU2014/SSS30-P01 (9) JMA/地震・火山月報 (防災編)/平成 17 年 7 月/7 月 2 日三陸沖の地震 (10) GSI/地殻変動アニメーション 1996 年 4 月~1999 年 12 月鳥瞰図

SCG57-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 18:15-19:30



Crustal study of the Northern Scandinavian Mountains from receiver functions analysis and surface wave ambient noise Crustal study of the Northern Scandinavian Mountains from receiver functions analysis and surface wave ambient noise

Ben Mansour Walid^{1*} ; MAX Moorkamp¹ ; ANDREAS Kohler² ; STEWART Fishwick¹
BEN MANSOUR, Walid^{1*} ; MAX, Moorkamp¹ ; ANDREAS, Kohler² ; STEWART, Fishwick¹

¹University of Leicester, ²University of Oslo

¹University of Leicester, ²University of Oslo

The Scandinavian Mountains are a topographic anomaly on the North-East Atlantic passive margin. With heights above 1 km adjacent to the low-lying Baltic Shield (average altitude of 500 m), this mountain range has undergone a rejuvenation by an uplift event during the Neogene. The absence of a crustal root expected from Airy isostasy calculations , the variation of gravity anomaly and the possibility of a low velocity zone in the upper crust suggest variations in density within the crust. This mechanism will explain the (isostatic) equilibrium of the mountain range. With this perspective two passive seismic experiments were deployed in 2007-2009 (SCANLIPS2) and 2013-2014 (SCANLIPS3D) across the Northern Scandinavian Mountains. These 2 experiments allow a better characterization of the crust in terms of Moho depth, Poissons ratio and shear wave velocity. Here we will show a new Moho map compiled from our new results together with previous studies (LAPNET-POLNET, SNSN and NORSAR network) in this region. This map shows a crustal thickening from West to East (40 km to 50 km) without any obvious influence of the transition from the Scandinavian Mountains to the Baltic Shield. From our receiver functions only, inverse modelling does not confirm the presence of a low velocity zone in the upper crust as suggested in previous work in the area using P receiver functions and controlled source experiments. We therefore use Rayleigh waves ambient seismic noise to better constrain the shear wave velocity at the short periods (3- 30 s). Finally a joint inversion of the P-receiver functions and surface wave ambient noise used to build a new 2D crustal model across the Northern Scandinavian Mountains. This new crustal model confirms the assumption of the variation densities within the crust like the source of this topographic anomaly on this passive margin.

キーワード: Scandinavian Mountains, Neogene uplift, variation density, P-Receiver Functions, Rayleigh waves dispersion curve, joint inversion

Keywords: Scandinavian Mountains, Neogene uplift, variation density, P-Receiver Functions, Rayleigh waves dispersion curve, joint inversion

海底地震計を用いた房総沖プレート沈み込み帯の地震波速度構造 Seismic velocity structure off the Boso Peninsula, Central Japan, revealed by an ocean bottom seismographic experiment

河野 昭博^{1*}; 佐藤 利典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; 町田 祐弥⁴; 日野 亮太⁵; 東 龍介⁵

KONO, Akihiro^{1*}; SATO, Toshinori¹; SHINOHARA, Masanao²; MOCHIZUKI, Kimihiro²; YAMADA, Tomoaki²; UEHIRA, Kenji³; SHINBO, Takashi³; MACHIDA, Yuya⁴; HINO, Ryota⁵; AZUMA, Ryosuke⁵

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

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Earthquake Research Institute of Tokyo University, ³NIED, ⁴JAMSTEC,

⁵Graduate School of Science, Tohoku University

房総半島沖合には南に相模トラフ、東に日本海溝があり、太平洋プレート (PAC)、フィリピン海プレート (PHS)、北米プレート (NA) が互いに接する三重会合点が南東に位置している。PAC は NA・PHS の下へ沈み込み、PHS は NA の下へ沈み込んでいる。この2つの海洋プレートの沈み込みによって、関東地方周辺では1677年の延宝房総沖地震や、1703年の元禄関東地震、1923年の大正関東地震、房総沖スロースリップイベントなどの様々な地震学的イベントが発生している。これらイベントを理解するためには関東周辺の地下構造を知る必要があり、自然地震、人工地震を用いて関東地方の地下構造を推定した研究が過去に数多く行われてきた。

自然地震を用いた手法では、地震計の大半が陸域に設置されているという事と、房総沖合における地震活動が低調であるため、詳細な地下の構造を推定するには限界がある。また、人工地震を用いた構造探査も実施されているが、依然として明らかになっていない領域が多いのが現状である。この状況を改善するため、2009年7月30日から8月4日にかけて、房総半島南東沖に長さおよそ200kmの測線、およびその測線上に海底地震計 (OBS) が設置され、地震波構造探査が行われた。

本研究では、取得されたエアガン発震データを漸進的モデル改良法 (Sato and Kenett, 2000)、屈折波初動トモグラフィー (FAST) (Zelt and Barton, 1998) を用いて2次元地震波速度構造を求めた。

これまでのPHSに関する研究ではPHS上面のP波速度が5 km/s程度と推定されているので、それを参考に本研究結果ではおよそ5.0 km/sの所にPHS上面を表す線を引いた。その結果PHS上面が東に緩やかに傾斜している様子が見られると共に、房総半島南端付近、海水面からの深さ4 kmにおいて、東西幅およそ35 kmの、P波速度が周囲よりも速い領域が見られた。

フィリピン海プレート上面の深さはNakahigashi et al.(2012), Kimura et al.(2009)において求められたものとも調和的であった。更にフィリピン海プレート上面の深さを同海域において推定した他の先行研究の結果と本研究結果を比較したところ、房総半島沖合では深さ10 kmの上面は相模トラフにほぼ沿うように分布している一方で、15 kmの上面はおおよそ東西方向に、20 kmの上面は房総半島北東沖に分布しているように見える。この事から、フィリピン海プレートは陸側から房総半島の沖合にかけて、徐々に沈み込む傾斜が緩やかになっていると推察される。

P波速度が大きい領域の東西幅、およびその位置は、Tsumura et al.(2009)で存在が指摘されていたフィリピン海プレート上面の盛り上がり (Bump) のものと概ね一致する。このBumpの中心部ではP波速度が6 km/sを超えており、これは潜り込んだ海山を示すと考えられ、Tsumura et al.(2009)の結果を支持するものとなった。

謝辞

本研究の遂行にあたり、2009年7月から8月にかけて実施された洋上構造探査に白鳳丸を使用させて頂きました。船長以下乗組員の方々に感謝いたします。またその翌年OBSの回収を行った(株)新日本海事(現(株)深田サルベージ建設)の新潮丸の船長以下乗組員の方々にも心から御礼申し上げます。

また、本研究は文部科学省による「地震及び火山噴火予知のための観測計画」の支援を受けました。

キーワード: 房総沖, 速度構造, フィリピン海プレート

Keywords: Off-Boso, Seismic velocity structure, Philippine Sea plate

日本列島基盤岩類の熱年代コンパイル：地質学的時間スケールにおける変形像の理解に向けて
Compilation of thermochronologic ages of bedrocks in Japan: For understanding the deformation over geologic time

末岡 茂^{1*}; 田上 高広²
SUEOKA, Shigeru^{1*}; TAGAMI, Takahiro²

¹ 日本原子力研究開発機構, ² 京都大学 地球惑星科学専攻
¹Japan Atomic Energy Agency, ²Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University

日本列島の内陸地殻における応力と歪みの関係の理解や、弾性変形と非弾性変形の分離のためには、測地学的時間スケールから地質学的時間スケールまで、様々な時間スケールにおける歪み速度の比較・検討がひとつの鍵となる（例えば、池田ほか, 2012; Nishimura, 2014）。筆者らは、新学術領域研究「地殻ダイナミクス—東北沖地震後の内陸変動の統一的理解—」の一環として、低温領域の熱年代学的手法を用いて、地質時間スケールにおける東北日本弧の鉛直方向の歪み速度の推定を試みている。東北日本弧の地質学的時間スケールでの鉛直変位速度は、沿岸域や平野部周辺では段丘面を指標として推定されているが（例えば、小池・町田, 2001; 田力・池田, 2005; Matsu'ura et al., 2008, 2009）、もともと隆起が活発と予想される山岳地域では定量的な検討は報告されていない。東北日本弧の山地における熱年代学的検討の前段階として、東北日本弧における既報熱年代情報と、東北日本弧を含む日本列島規模の地質時間スケールにおける鉛直変位速度分布の把握のため、日本列島に分布する基盤岩類の既報年代のコンパイルを実施したため、本講演ではこれについて報告する。コンパイルはフィッション・トラック年代を中心に進めており、文献名、掲載誌、地域、地質、試料名、緯度、経度、標高、アパタイト FT 年代とその誤差、ジルコン FT 年代とその誤差、などについて整理している。2015年1月現在時点で、未公表データを含む70編以上の文献から、アパタイト FT 年代350点以上、ジルコン FT 年代600点以上のコンパイルが完了している。コンパイルの結果、既存の熱年代学データは西南日本弧に集中していること、東北日本弧太平洋岸では北上～阿武隈山地の花崗岩類から白亜紀後期のアパタイト FT 年代が得られている（つまり、白亜紀後期～現在までの総削剥量が約3kmに満たない）こと（後藤, 2001; Ohtani et al., 2004）、東北日本弧日本海岸では飯豊山地や越後山地で第三紀末以降の隆起・削剥を反映していると考えられる若いアパタイト FT 年代が得られていること（後藤, 2001; 末岡, 未公表データ）、などが明らかとなった。今後は、これらのコンパイル結果を基に、若い年代が得られている地域やデータの空白域を中心に、東北日本弧において、FT 解析や (U-Th)/He 年代測定を実施する予定である。

キーワード: 熱年代学, コンパイル, 地質学的時間スケールの変形
Keywords: thermochronology, data compilation, deformation over geologic time

下部地殻剪断帯の初期過程：ノルウェー Hasvik 斑れい岩体を例として Formation and development of incipient shear zone in the lower crust: Example from the Hasvik gabbro, Norway

木村 阜史^{1*}; 奥平 敬元²
KIMURA, Takafumi^{1*}; OKUDAIRA, Takamoto²

¹ 大阪市立大学 理学部 地球学科, ² 大阪市立大学大学院 理学研究科
¹Department of Geosciences, Faculty of Science, Osaka City University, ²Graduate School of Science, Osaka City University

地殻は全体として平均的に変形しているのではなく、局所的に歪み速度の速い領域（剪断帯）で主に変形している。よって剪断帯の形成・発達過程は、地殻の変形にとって重要である。Scholz の断層強度モデルで示されるような構造は、成熟した断層（剪断帯）に対して成立するものであり、形成初期の剪断帯では、その変形機構が大きく異なる可能性が高く、強度モデルも異なるはずである。

斑れい岩類は下部地殻の主要構成岩であり、それらは主に斜長石と輝石からなっている。下部地殻のレオロジーはこれまで、斜長石の粒径非依存型（転位）クリープによりモデル化されてきた。しかし、これまでの変形実験の結果によれば、粒径が十分小さければ、下部地殻条件では粒径依存型（拡散・粒界すべり）クリープが卓越する可能性が高い。本研究では、下部地殻剪断帯の初期過程を明らかにする目的で、北部ノルウェー、Seiland 火成岩区における Hasvik 斑れい岩体（e.g. Tegner et al. 1999）に発達する小規模剪断帯の解析を行った。

Hasvik 斑れい岩体には、数ミリ～数センチ程度の剪断帯がネットワーク上に発達しており、これら剪断帯は細粒の斜長石や角閃石、輝石により構成されている。火成作用起源の斜長石や輝石に破碎帯が観察されるのに対して、細粒鉱物は等粒状であり、顕著な結晶内塑性組織を示さない。角閃石は火成作用起源の輝石と斜長石の境界や破碎帯内部および周縁において観察される。破碎帯を構成している細粒の斜長石と斜方・単斜輝石は、火成作用起源のものとは化学組成が異なる。これは、破碎作用後導入された流体による加水反応による変成再結晶の結果であると考えられる。斜長石-角閃石温度計・圧力計（Holland and Blundy, 1994; Bhadra and Bhattacharya, 2007）を用いた結果、750-800 °C, 0.8±0.2 GPa の温度圧力条件が見積もられ、これは加水作用期における温度圧力条件を示していると考えられる。破碎作用は加水作用に先行するため、これは破碎作用の温度圧力条件の下限を示している。よって、Hasvik 斑れい岩体における剪断帯は下部地殻条件における破碎作用を示しており、下部地殻岩石の強度が高かったことを示唆する。細粒斜長石と輝石の格子定向配列はランダムであり（Okudaira et al., submitted）、これらが粒径依存型クリープで変形したことを示す。以上の観察結果から、Hasvik 斑れい岩体における剪断帯は、破碎作用とその後の加水作用、加水作用期における鉱物の溶解沈殿を伴う粒径依存型クリープによる変形によって形成されたと結論される。

キーワード: 斑れい岩, 下部地殻, 脆性破壊, 粒径減少, 粒径依存型クリープ

Keywords: gabbro, lower crust, brittle fracturing, grain-size reduction, grain-size-sensitive creep

封圧下での含水花崗岩の弾性波速度と電気伝導度の同時測定 Measurements of elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated granite under confining pressures

牧村 美穂^{1*}; 渡辺 了¹
MAKIMURA, Miho^{1*}; WATANABE, Tohru¹

¹ 富山大学大学院理工学教育部

¹ Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama

Geophysical mapping of fluids is critical for understanding crustal processes. Seismic velocity and electrical resistivity structures have been revealed to study the fluid distribution. However, the fluid distribution has been still poorly constrained. Observed velocity and resistivity should be combined to make a quantitative inference on fluid distribution. The combined interpretation requires a thorough understanding of velocity and resistivity in fluid-saturated rocks. We have studied elastic wave velocities and electrical conductivity in a brine-saturated granitic rock under confining pressures.

A fine grained (100-500 μ m) biotite granite (Aji, Kagawa Pref., Japan) was selected as a rock sample for its small grain size and textural uniformity. Cylindrical samples (D=26 mm, L=30 mm) were heated to 100-600°C to increase the amount of crack (open grain boundary), and filled with 0.1 M KCl aqueous solution. A linear relationship was found between the highest temperature and the crack density parameter, which was estimated from velocities measured at atmospheric pressure. Velocity and electrical conductivity were simultaneously measured by using a 200 MPa hydrostatic pressure vessel. The pore-fluid was electrically insulated from the metal work by using plastic devices. The confining pressure was progressively increased up to 150 MPa, while the pore-fluid pressure was kept at 0.1 MPa. It took 3 days or longer for the electrical conductivity to become stationary after increasing the confining pressure.

Velocity and conductivity showed reproducibly contrasting changes with increasing confining pressure. Elastic wave velocities increased by less than 10% as the confining pressure increased from 0.1 MPa to 50 MPa, while electrical conductivity decreased by an order of magnitude. The changes were caused by the closure of cracks under pressure. The steep decrease in conductivity at low pressures suggests that there are more cracks with smaller aspect ratios. Both velocity and conductivity showed no remarkable changes at higher pressures. An empirical relationship between the normalized conductivity and crack density parameter was obtained. This relationship might be applied to a combined interpretation of seismic velocities and electrical resistivity.

キーワード: 地震波速度, 電気伝導度, 比抵抗, 流体, クラック

Keywords: seismic velocity, electrical conductivity, resistivity, fluid, crack

封圧下での含水砂岩の弾性波速度と電気伝導度の同時測定 Measurements of elastic wave velocity and conductivity in a brine-saturated sandstone under confining pressures

南部 美菜子^{1*}; 渡辺 了¹

NAMBU, Minako^{1*}; WATANABE, Tohru¹

¹ 富山大学地球科学教室

¹Department of Earth Sciences, University of Toyama

Geophysical mapping of fluids is critical for understanding crustal processes. Seismic velocity and electrical resistivity structures have been revealed to study the fluid distribution. However, the fluid distribution has been still poorly constrained. Observed velocity and resistivity should be combined to make a quantitative inference on fluid distribution. The combined interpretation requires a thorough understanding of velocity and resistivity in fluid-saturated rocks. We have studied elastic wave velocities and electrical conductivity in a brine-saturated sandstone under different confining and pore-fluid pressures.

Berea sandstone (OH, USA) was selected as a rock sample for its high porosity (~20%) and permeability (~10-13 mD). It is mainly composed of subangular quartz grains, with small amounts of feldspar grains. Microstructural examinations showed that clay minerals (e.g., kaolinite) and carbonates (e.g., calcite) fill many gaps between grains. The grain size is 100-200 micrometers. Cylindrical samples (D=26 mm, L=30 mm) were saturated with 0.1 M KCl aqueous solution. Measurements have been made using a 200 MPa hydrostatic pressure vessel, in which confining and pore-fluid pressures can be separately controlled. An aqueous pore-fluid is electrically insulated from the metal work by using a plastic devices. Elastic wave velocity was measured with the pulse transmission technique (PZT transducers, f=2 MHz), and electrical conductivity the four-electrode method (f=100 mHz - 100 kHz) to minimize the influence of polarization on electrodes.

Confining and pore-fluid pressures work in opposite ways. Increasing confining pressure closes pores, while increasing pore-fluid pressure opens them. For a given pore-fluid pressure, both compressional and shear velocities increase with increasing confining pressure, while electrical conductivity decreases. When confining pressure is fixed, velocity decreases with increasing pore-fluid pressure while conductivity increases. The closure and opening of pores can explain observed changes of velocity and conductivity. In contrast to a granitic rock, a brine-filled sandstone showed only relatively small changes in conductivity. These contrasting behaviors might reflect the difference in pore geometry between two rock samples.

キーワード: 地震波速度, 電気伝導度, 比抵抗, 砂岩, 流体

Keywords: seismic velocity, conductivity, resistivity, sandstone, fluid

焼結したディオプサイド細粒多結晶体の粒成長 Grain growth in sintered polycrystalline diopside

坪川 祐美子^{1*}; 石川 正弘¹
TSUBOKAWA, Yumiko^{1*}; ISHIKAWA, Masahiro¹

¹ 横浜国立大学大学院

¹Yokohama National University

地球内部において、結晶粒径は様々な環境下により 10~100 倍程度に変化する。結晶粒径は岩石物性を考える上で重要なパラメータの一つであり、特に拡散クリープにおいて岩石の粘性率は結晶粒径に強く依存する。本研究では、結晶粒径がサブミクロン~数 μm の小さな粒子に注目し、かんらん岩・はんれい岩の主要造岩鉱物である単斜輝石の一種、ディオプサイドのナノ粉末を出発物質とした粒成長実験を行った。

本研究には、ヘデンバージャイト ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) 成分の異なる 2 種類のディオプサイド単結晶 (単結晶 I : $\text{Ca}_{0.99}\text{Na}_{0.01}\text{Mg}_{0.97}\text{Fe}_{0.03}\text{Si}_2\text{O}_6$ 、単結晶 II : $\text{Ca}_{0.97}\text{Na}_{0.02}\text{Al}_{0.02}\text{Mg}_{0.86}\text{Fe}_{0.13}\text{Si}_2\text{O}_6$) を用いた。2 種類の単結晶は平均粒径 $1\mu\text{m}$ 以下まで粉碎し、得られた粉末を 2MPa で一軸加圧成型し、常圧または真空にて温度 1130~1280 °C、保持時間 2 時間または 6 時間で焼成した。熱処理後の各焼結体は、表面組織観察を走査型電子顕微鏡 (SEM) で行い、焼結体の同定には X 線回折分析 (XRD)、蛍光 X 線分析 (XRF)、ラマン分光分析および SEM-EDS 装置による元素マッピングを行った。

得られた焼結体の表面組織観察を行った結果、より高温または長時間の焼成を行うことで粒成長・緻密化が進行した。また、より平均粒径の小さい原料粉末を用いると焼結体の平均粒径も小さくなった。

時間の経過に伴い連続的な平均粒径の増加が認められた焼結体について、現象論的に知られている粒成長の式 (e.g. Burke, 1966) から粒成長係数 n と速度定数 k ($\mu\text{m}^n/\text{s}$) をそれぞれ求めた。下式において、 D_f (μm) は時間 t (s) 焼成後の焼結体の平均粒径、 D_0 (μm) は粉末の平均粒径である。

$$D_f^n - D_0^n = kt$$

粒成長係数 n と速度定数 k は、それぞれ単結晶 I を原料とした粉末を用いた場合に $n=2.59$, $\log_{10}K=-3.3$ 、単結晶 II を原料とした粉末を用いた場合に $n=2.64$, $\log_{10}K=-4.8$ が求められた。本実験結果から得られた n および k の値を、先行研究で行われたアノーサイトおよびかんらん石の常圧における粒成長実験結果と比較を行った。その結果、理論的に粒成長の律速過程のみに依存するとされる粒成長係数 n の値は、アノーサイト ($n=2.6$, Dresen et al., 1996) およびかんらん石 ($n=2\sim 3$, Karato, 1989) と近い値をとることがわかった。

キーワード: 粒成長, 焼結, ディオプサイド, 多結晶体

Keywords: grain growth, sintering, diopside, polycrystalline

地殻変動・地震活動からみた北部フォッサマグナ地域の地体構造 Tectonic provinces of the Northern Fossa Magna region depicted by means of the crustal movement and seismic activity

今井 雄輝^{1*}; 竹内 章²
IMAI, Yuki^{1*}; TAKEUCHI, Akira²

¹ 富山大学大学院理工学教育部, ² 富山大学大学院理工学研究部

¹Graduate School of Science and Engineering for Education, University of Toyama, ²Graduate School of Science and Engineering for Research, University of Toyama

北部フォッサマグナ地域(以下, NFM)では, 1847年に善光寺地震(M7.4)が発生したほか, 近年でも中規模地殻内地震が多く発生している. 地殻内地震の発生メカニズムを解明する上で, 地震発生場となる上部地殻の地体構造(地殻の構造・物性・運動様式などの区域性)の理解が重要である. 本研究では, NFM地域の地体構造の解明を目的とし, 地殻変動場や地震発生層深度分布などに基づいた地殻活動の区域性について検討した.

国土地理院および富山大学観測のGNSS観測データを使用し, NFM周辺における2007年10月から2011年3月までの約3年6ヶ月間の変位速度場およびひずみ速度場を求めた. また, 地震発生層深度の推定には, 2003年1月から2011年3月までの約8年間の気象庁一元化震源を用いた. この際, ノイズや深部低周波地震を取り除いたが, 震源再決定やデクラスタリング処理は行っていない. 伊藤・中村(1998)の方法を踏襲し, ある領域内において地表から積算した地震数が全体数の10%, 50%, 90%に達する深さを, 地震発生層の上限・中間・下限深度とそれぞれ定義した.

NFM周辺の地殻変動や地震活動などの地殻活動には, 顕著な地域変化が存在する. N105°E方向の変位速度プロファイルでは, 約0.15 ppm/yr以上のひずみ速度を持つひずみ集中域の存在を確認でき, このひずみ集中域はSagiya *et al.* (2000)が指摘した新潟-神戸構造帯の北部に対応する. ひずみ集中域での短縮ひずみ軸の方向は西北西-東南東方向である. 水平変位速度場における変位方向の違いから, 新潟県中越地域から長野県西部に至る北東-南西方向の測地学的地体境界の存在を推定した. この地体境界はひずみ集中域の内側に含まれる. また, 地震発生層の深度は大きな側方変化を示し, 同層の中間深度は深さ3-25 kmの範囲で変化する. 例えば越智・趙(2001)の指摘と同様に, 陸域において地震発生層の深度が浅い地域は活火山分布と良い対応を示す. NFM地域における浅発地殻内地震のメカニズム解は, 横ずれ断層型と逆断層型が混在し, 起震応力の境界として西傾斜の地体境界を推定した.

上記の結果から, NFM地域には北東-南西方向の測地学的・地震学的地体境界が存在すると考えた. 地殻変動場や地震活動の区域性から推定した地体境界は, 信越堆積盆地東縁の地質学的地体境界である新発田-小出構造線(山下, 1970)や津南-松本構造線(小坂, 1984)の西側に位置する. NFM地域の地体構造としては, 水平地殻変動場, 地震発生層深度, 地表地質の違いを持つ2つの構造区が隣接しているモデルを提案した. 測地学的・地震学的地体境界付近では, 物性の急な側方変化が存在することや, 構造区同士の動きや変形度合いの差を解消しようとして, 大規模な地殻内地震が発生しやすいと考えた. 善光寺地震が発生した長野盆地西縁断層帯から糸魚川-静岡構造線にかけてのNFM中央部の地体構造については, 稠密GNSS観測で得られた詳細な地殻変動場も考慮して議論していく必要がある.

キーワード: 地体構造, 地体境界, 北部フォッサマグナ, ひずみ集中域, 地震発生層

Keywords: tectonic province, tectonic boundary, Northern Fossa Magna, strain concentrate zone, seismogenic layer

2011年東北沖地震最大すべり域周辺での人工地震波構造調査 (序報) Seismic survey around the largest slip area of the 2011 Tohoku-oki earthquake

東 龍介^{1*}; 日野 亮太²; 太田 雄策¹; 望月 公廣³; 山田 知朗³; 村井 芳夫⁴; 伊藤 喜宏⁵; 八木原 寛⁶; 佐藤 利典⁷; 篠原 雅尚³
AZUMA, Ryosuke^{1*}; HINO, Ryota²; OHTA, Yusaku¹; MOCHIZUKI, Kimihiro³; YAMADA, Tomoaki³; MURAI, Yoshio⁴; ITO, Yoshihiro⁵; YAKIWARA, Hiroshi⁶; SATO, Toshinori⁷; SHINOHARA, Masanao³

¹ 東北大学地震・噴火予知研究観測センター, ² 東北大学災害科学国際研究所, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 北海道大学地震火山研究観測センター, ⁵ 京都大学防災研究所, ⁶ 鹿児島大学南西島弧地震火山観測所, ⁷ 千葉大学大学院理学研究科
¹RCPEVE, Tohoku Univ., ²IRIDeS, Tohoku Univ., ³ERI, Univ. of Tokyo, ⁴ISV, Hokkaido Univ., ⁵DPRI, Kyoto Univ., ⁶NTOEV, Kagoshima Univ., ⁷Graduate School of Sci., Chiba Univ.

The slip amount during the 2011 Tohoku-oki earthquake exceeded tens meters at the near-trench region off Miyagi, though few meters caused at off Sanriku (e.g., Iinuma et al., 2012). Such the spatial variation of the coseismic slip seems to reflect the variation of the physical property on the interplate fault, which can be correlated with a seismic velocity structure. In this study, to understand the mechanism of enormous coseismic slip of this megathrust event, we investigate the heterogeneity of the seismic velocity structure around the fault.

Many seismic refraction surveys were carried out at off Miyagi and Sanriku regions. Azuma et al. (2013) found the high-Vp anomaly in the overriding plate, corresponding the backstop block (Tsuru et al., 2002), at the area of 38°38.5N and 20 km from the trench axis (Figure 1). This Vp anomaly overlapped the large slip area during the 2011 earthquake, and they suggested that the heterogeneous structure in the overriding plate controlled the extent and amount of the coseismic slip near the trench based on the 2-D structure model along a seismic profile. It is expected that similar correlation between the seismic velocity and the amount of coseismic slip is broadly observed in the trench slope area, if the coseismic slip was actually controlled by the material heterogeneity, e.g. the distribution of backstop block.

To confirm broad consistency of the previously identified structural variation, we conducted a seismic survey on October 2014 in the gap area where no seismic surveys have been conducted (Figure 1). We set two survey lines, with a length of 180 km, which run slightly oblique against the Japan Trench axis. Along the profiles, 17 and 20 ocean bottom seismometers (OBSs) were deployed. The spacings of the OBSs were 10 and 8 km, along the land-ward and trench-ward profiles, respectively, taking into account the difference in depths to the plate interface. We used an airgun array composed of four guns with a total volume of 100 liters as a controlled source. During the shooting operation, we also collected near-vertical reflection data by a 48-channel hydrophone streamer with a length of 1.2 km.

The obtained wide-angle data showed clear first arrivals within the offset range of 60 km, and later phases interpreted as the wide-angle reflections from the plate interface. Further analyses of the obtained data set will provide a velocity structural model to clarify more detailed distribution of the backstop block and to reinforce the interpretation based on the spatial correlation between the high-Vp block and large coseismic slip area of the 2011 Tohoku-oki earthquake.

Figure 1. Map view of surveyed area. Red lines and yellow plots indicate survey lines and deployed OBSs' positions of this study. Black line indicates the profile of Azuma et al. (2013). Blue arrow represents the high Vp area detected by Azuma et al. (2013). Gray lines were surveyed by Ishihara et al. (2015). Black blocks shows the distribution of sedimentary prism obtained by reflection surveys (after Tsuru et al., 2002). Color-filled contour represents the coseismic slip distribution of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Iinuma et al., 2012).

キーワード: 地殻構造, 2011年東北地方太平洋沖地震
Keywords: crustal structure, 2011 Tohoku-oki earthquake

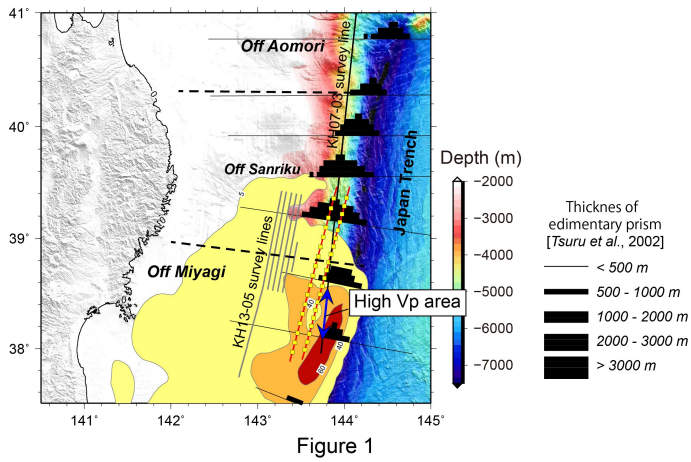


Figure 1

曹灰長石ナノ多結晶体の焼結と粒成長 Grain growth of nanocrystalline labradorite

本多 聡子^{1*}; 石川 正弘¹
HONDA, Satoko^{1*}; ISHIKAWA, Masahiro¹

¹ 横浜国立大学 環境情報研究院・学府
¹Yokohama National University

Plagioclase is a solid solution series that ranges from albite to anorthite endmembers (with respective compositions $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ to $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Plagioclase is a major constituent mineral in the Earth's crust. Its physical and chemical properties are important for establishing the overall rheology of Earth's crust. Previous experimental studies on sintering on plagioclase were mostly concentrated on the endmembers under the high-pressure conditions, thus there are few reports on sintering of plagioclase with intermediate composition.

In this study, sintering of labradorite polycrystalline were performed by using nanoscale powders of natural labradorite, and grain growth kinetics was studied in sintered polycrystalline labradorite. We prepared nanoscale mineral powders from natural crystals of labradorite (Ab38An62) by milling. Sintering experiments were carried out at a temperature of 1100-1210 °C with controlling time after milling and formed mineral powders. Starting materials were characterized by electron probe micro analysis (EPMA). The resultant materials were characterized by X-ray powder diffraction (XRD), secondary electron microscope (SEM) and X-ray fluorescence (XRF) analysis.

Grain growth occurred with increasing sintering temperature or sintering time. The experimental data can be fit the following relation, $D_f^n - D_0^n = kt$ where n is a constant, D_f and D_0 are the grain size at time $t = t$ and $t = 0$ respectively, and k is a rate constant. For sintering, a temperature of 1100-1210 °C with controlled time can provide high dense aggregates of labradorite with an average grain size of 0.5microm, porosity of 3vol% and volume reduction of 60%. In this study, we found that high dense and fine grain polycrystalline Labradorite can be made from nano-sized powders (<100nm) by atmospheric pressure sintering.

Keywords: plagioclase, sintering, grain growth

東北日本下の地震波速度異常領域による2011年東北沖地震の地殻変動への影響 Effects of seismic velocity anomaly zone below Northeast Japan on displacement of the 2011 Tohoku earthquake

橋間 昭徳^{1*}; Becker Thorsten²; Freed Andrew³; 佐藤 比呂志¹; Okaya David²; 水藤 尚⁴; 矢来 博司⁴;
松原 誠⁵; 武田 哲也⁵; 石山 達也¹; 岩崎 貴哉¹
HASHIMA, Akinori^{1*}; BECKER, Thorsten²; FREED, Andrew³; SATO, Hiroshi¹; OKAYA, David²;
SUITO, Hisashi⁴; YARAI, Hiroshi⁴; MATSUBARA, Makoto⁵; TAKEDA, Tetsuya⁵; ISHIYAMA, Tatsuya¹;
IWASAKI, Takaya¹

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

¹Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²University of Southern California, ³Purdue University, ⁴Geospatial Information Authority of Japan, ⁵National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年M9東北沖地震は震源域が南北500km、東西200kmにおよび、日本列島域の広域にわたって大きな変形をおよぼした。日本列島域には稠密なGPS観測網が備わっており、地殻変動データの空間的な解析により、東北沖地震の震源だけでなく地下の物性構造の情報を得ることも可能である。東北日本弧はユーラシアプレートに太平洋プレートが沈み込むことによって形成された島弧であり、現在の火山フロントは奥羽脊梁山脈に沿って存在する。地震波トモグラフィにより、火山フロントの直下には暖かいマグマ物質による地震波の低速度領域、太平洋岸の下部に地殻の薄化とマントル物質の上昇による高速度領域が指摘されている。そこで本研究では、日本列島域の三次元的な地殻構造を取り入れた有限要素モデルを構築しインバージョンによって得られた東北沖地震のすべり分布を用いて、東北日本下の地下不均質がどのように地殻変動に影響を与えるのかを調べた。観測データとしては、国土地理院による陸域のGPS観測データと海上保安庁と東北大学による海域のGPS音響測距によるデータを用いた。モデル領域として4500km×4900km×600kmの領域をとる。これは千島列島-マリアナ列島-琉球列島までを含む領域に対応する。プレート境界形状としては、地震活動などから求めた既存の研究を補間したものを用いた。モデル領域は5-100kmの大きさの100万個程度の四面体メッシュによって分割した。重力の影響については地震時の変形に関しては非常に小さかったので無視した。弾性構造については、鉛直方向の構造についてはPREMモデルによる弾性定数を用い、太平洋岸直下の高速度と火山フロント直下の低速度を表現するために、それぞれ厚さ80kmの速度異常領域を導入した。地殻不均質の影響を調べるために対応する成層構造媒質でも計算を行った。計算の結果、得られたすべり分布に関しては、成層構造モデルと地殻不均質構造モデルでほぼ同じすべり分布が得られた。すなわち、地殻不均質による地殻変動パターンのずれは、すべり分布のインバージョンには影響しない。一方、これを用いて計算した地表観測点での両モデルの地殻変動結果を、観測変位から計算変位を差し引いた残差ベクトルのパターンで比較した。成層構造モデルを用いた場合、東北日本のほとんどの領域で有意の東向き残差ベクトルが見られ、太平洋岸沿いに有意の西向き残差ベクトルが見られる。地殻不均質構造モデルの場合、これらの残差ベクトルは小さくなり観測データをより良く説明できる。このように、広域的な地殻変動データを用いることにより地下の弾性構造を抽出することが可能となる。また、このような地下構造を考慮することでより現実的な応力状態の計算が可能になる。

キーワード: 2011年東北沖地震, 地殻変動, 有限要素モデリング, 地震波速度構造, 東北日本弧, 活断層

Keywords: 2011 Tohoku Earthquake, Crustal deformation, Finite element modeling, Seismic velocity structure, Northeast Japan arc, Active fault

小断層群の方位分布解析による摩擦係数推定法 A method to estimate friction coefficient from orientation distribution of meso-scale faults

佐藤 活志^{1*}
SATO, Katsushi^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
¹Div. Earth Planet. Sci., Kyoto Univ.

断層の静止摩擦係数は地殻の脆性破壊強度を決定づける重要なパラメータである。しかし、地質時代に活動した断層の摩擦係数を実験的に見積もることは難しい。なぜなら、地質時代の性状を保った破碎帯物質は得られないからである。本研究は、応力逆解析手法と断層面の方位分布解析を組み合わせることで地質時代の静止摩擦係数を推定する手法を提案する。

応力逆解析法は、小断層群の姿勢と滑り方向をもとに規格化応力テンソル（3つの主応力軸方位と応力比）を算出する手法である。Angelier (1989) は、応力の絶対値をも決定する手法を提案した。この先駆的な手法は、粘着力を無視した Coulomb の剪断破壊条件を採用する。すなわち、断層面にはたらく有効法線応力と剪断応力の比が静止摩擦係数を超えたときに滑りが生じると仮定している。この仮定に従って、有効法線応力と剪断応力を表す Mohr ダイアグラムにおいて、点の分布の下限となる直線の傾きとして静止摩擦係数が決定される。しかしながら、グラフ上で直線を視認する作業は任意性を伴う。

そこで本研究は、以下の方法で直線の傾きの算出を自動化した。テクトニックな要因で決まる主応力軸方位や主応力の絶対値に比べて、流体圧は変動しやすいと考えられる。流体圧の上昇によって断層が滑る場合、粘着力を無視した Coulomb の剪断破壊条件に従うならば、Mohr 円と破壊条件を表す直線の接点付近に断層を表す点が集中するだろう。様々な流体圧値に応じて断層群が滑ると、差応力を1に規格化した Mohr 円内の点分布は摩擦係数によって規定される方向に濃淡を生じる。この議論は、流体圧だけでなく差応力が変動した場合にも適用できる。以上の性質を利用して、新手法は Mohr ダイアグラム上の点分布の濃淡の方向から摩擦係数を算出する。

本研究の摩擦係数決定法を、千葉県房総半島東部に分布する鮮新統上総層群中の小断層群に適用した。対象の地層は主に砂岩および泥岩からなる。応力逆解析 (Sato, 2006) により、西北西-東南東方向の引張応力が検出された。摩擦係数は $0.66 \pm 0.05 / -0.05$ と算出され、本手法により良い精度で妥当な結果が得られることが確認された。

References

- Angelier, J., 1989, Jour. Struct. Geol., 11, 37-50.
- Sato, K., 2006, Tectonophys., 421, 319-330.

キーワード: 応力逆解析, 小断層解析, 摩擦係数, 方位分布

Keywords: stress tensor inversion, fault-slip analysis, friction coefficient, orientation distribution

日本海東縁地域における地形発達から見積もられる活褶曲発達場の移動 Landward migration of active folding estimated from topographic developments along the eastern margin of the Japan Sea

大坪 誠^{1*}; 宮川 歩夢¹
OTSUBO, Makoto^{1*}; MIYAKAWA, Ayumu¹

¹産総研

¹Geological Survey of Japan/AIST

The Quaternary tectonics of the Japan arc is characterized by strongly crustal deformation, whose mode and rate are quite different from those of the preceding late Pliocene. The Tohoku district, on the eastern margin of the Japan Sea, lies within a strongly compressive area that has been experiencing large, contractional, crustal deformations, since the late Pliocene (Sato and Amano, 1991). Fold-and-thrust structures (Sato, 1989) and fold-topographic structures with distributed reverse faults (e.g., Okamura et al., 1995) have developed in response to this contractional deformation. Geodetic surveys in the Tohoku district have detected zones with a high rate of horizontal strain (Sagiya et al., 2000). When the contractional deformation continues to the present, the high strain rate zones at the geological and geodetic scales should be overlapped. However, the high horizontal strain-rates recognized at geological and geodetic time-scales are spatially heterogeneous. Rates are consistent in the Niigata region, in the southwestern part of the Tohoku district, but not in the Akita region in the northwestern part of the district. There is, therefore, a need to constrain the spatial differences in the horizontal strain-rate between the geological and geodetic time-scales, in order to understand regional tectonic differences across the district.

We focus here on the erosional and topographic evolution of fold structures developed since the late Pliocene in the Akita and Niigata regions. We measured the distance between the fold hinge lines and the mountain ridge lines. We targeted 44 folds that were activated since the late Pliocene, comprising 12 and 32 folds in the Akita and Niigata regions, respectively. Spatial variations in the normalized deviations are consistent with the systematic eastward migration of fold growth in the area. The topographic behavior indicates that the landward migrating of the fold growth is generally constant.

References: Ellis, M.A., Densmore, A.L., 2006. Geological Society of America Special Papers 398, 251-266; Lave, J., Avouac, J.-P., 2000. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 105 (B3) 5735-5770; Merritts, D., Ellis, M., 1994. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 99 (B6), 12135-12141; Okamura, Y., Watanabe, M., Morijiri, R., Satoh, M., 1995. Island Arc 4, 166-181; Sagiya, T., Miyazaki, S., Tada, T., 2000. Pure and Applied Geophysics 157, 2303-2322; Sato, H., 1989. Memoirs of the Geological Society of Japan 32, 257-268; Sato, H., 1994. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 99 (B11), 22261-22274; Sato, H., Amano, K., 1991. Sedimentary Geology 74, 323-343; Sibson, R.H., 2009. Tectonophysics 473, 404-416.

キーワード: 褶曲, 断層, 地形, 地震, 変形, 歪み集中帯

Keywords: fold, fault, topography, earthquake, deformation, high strain rate zone

四国四万十帯日沖メランジュにみられる粒子間すべりによってできた Block-in-matrix 構造
Block-in-matrix fabric by frictional grain-boundary sliding of the Hioki melange of Shimanto belt, Shikoku, Japan

田淵 優^{1*}; 藤内 智士¹
TABUCHI, Yu^{1*}; TONAI, Satoshi¹

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科

¹Graduate School of Integrated Arts and Science, Kochi University

We report lithology, deformation structures, and clay mineral contents of the Hioki melange, which constitutes part of the youngest (late Oligocene to early Miocene) portion of the Shimanto accretionary complex, Shikoku, Japan. The Hioki melange is comprised essentially of a dark gray shaly matrix that envelops blocks and large rafts of mainly sedimentary rock. Although it is regarded as accreted within a few kilometers below the surface (e.g., Hibbard et al., 1993; Underwood et al., 1993), the deformation process of the melange still remains unclear. The deformation mechanism of the melange is essential information to understand this problem.

The lithology and deformation structures are observed using core samples and outcrops along coastline at Muroto, Kochi, Japan. The core samples were collected at two localities (HK01 and HK02) and are about 40 m length, respectively. The whole of the samples show block-in-matrix fabrics. The ratios of the blocks change irregularly between 0 to 40 %. Furthermore, some fracture zones are observed throughout the samples. Some of these fracture zones contain clay minerals. In the field, block-in-matrix fabrics are also observed throughout the study area. The size of blocks ranges from millimeter to meter scale. There were three shapes in the blocks, which are brecciated, boudinage, and layered blocks. Some blocks are injected by shale. The matrix, which is partly folded, is composed of dark gray shale and some green tuff and dark brown shale. Microscopic observation revealed that the shear displacement of the matrix has been achieved by grain boundary sliding and some pressure solution. Attitudes of bedding plane, cleavage foliation, and major axis of boudinage blocks are parallel in many cases.

Clay mineral contents were investigated by XRD analysis on 23 samples (7 samples for HK01, 5 samples for HK02, and 11 samples for outcrops) throughout the study area. The result shows that illite is the major mineral in all samples. In addition, chlorite is contained in the samples of HK02 and the northern half of outcrop, and kaolin minerals are contained in the fracture zone.

Two possible explanation are concerned for the process of the block-in-matrix fabric of the Hioki melange. One explanation is that this fabric has formed under the condition that the contrast in competence between the sand (block) and the shale (matrix) is relatively high. In this case the sand layers have consolidated and deformed by brittle failure, although the shale layers have deformed by grain boundary sliding. In this case, blocks from same layer should form a line. It is a future problem to confirm. Another explanation is that host strata of the Hioki melange have deposited as mud layer with some boulders. In this explanation, sandstone blocks may have been transported by debris flow and/or submarine landslide. On the other hand, the fracture zones have formed in the consolidated melange, which have been uplifted to shallower part of the accretionary prism.

キーワード: ブロックインマトリックス構造, 粒子間すべり, 四万十帯, メランジュ
Keywords: block-in-matrix fabric, grain boundary sliding, Shimanto belt, melange

一軸圧縮に伴う含水花崗岩の弾性波速度と電気伝導度の変化 Changes in seismic velocity and electrical conductivity in a brine-saturated granite under uni-axial compression

森本 美咲^{1*}; 渡辺 了¹
MORIMOTO, Misaki^{1*}; WATANABE, Tohru¹

¹ 富山大学地球科学教室

¹Department of Earth Sciences, University of Toyama

Geophysical observations have shown that fluids exist pervasively within the crust. Fluids are mainly situated at intra-grain cracks and open grain boundaries. Since the opening of cracks strongly depends on the stress state, bulk properties such as seismic velocity and electrical conductivity, which are strongly affected by fluid-filled cracks, should be anisotropic under a stress state. In order to understand the anisotropy in velocity and conductivity under stress, we have been constructing an experimental system for studying the anisotropy in elastic wave velocity and electrical conductivity in a brine-saturated granitic rock under uni-axial stress.

The loading system is composed of a hand press (Maximum load: 20 kN), a load cell and stainless steel end-pieces, which contains ultrasonic transducers for velocity measurements in the axial direction. A fine grained (100-500 μ m) biotite granite (Aji, Kagawa Pref., Japan) was selected as a rock sample for its small grain size and textural uniformity. A cylindrical sample (D=26 mm, L=30 mm), to the cylindrical surface of which ultrasonic transducers are mounted for velocity measurements in the radial direction, is assembled with end-pieces, and then loaded. One compressional wave velocity and two shear wave velocities can be measured in the axial and two radial directions. Electrical impedance can also be measured in the axial and radial directions.

Preliminary runs on a dry rock sample have showed that velocities in the axial direction increased significantly with the axial compression. No significant change was observed in velocities propagating in the radial directions. These observations can be explained by the closure of cracks perpendicular or subperpendicular to the compression axis. Experiments on wet samples will also be reported in this poster.

キーワード: 地震波速度, 電気伝導度, 異方性, 流体, 圧縮, 応力

Keywords: seismic velocity, electrical conductivity, anisotropy, fluid, compression, stress

関東山地、上部白亜系跡倉層の碎屑性ジルコン年代学 Detrital zircon chronology of the Upper Cretaceous Atokura Formation in northern Kanto Mtn., Japan

中畑 浩基^{1*}; 磯崎 行雄²; 小坂 和夫³; 坂田 周平⁴; 平田 岳史⁴

NAKAHATA, Hiroki^{1*}; ISOZAKI, Yukio²; KOSAKA, Kazuo³; SAKATA, Shuhei⁴; HIRATA, Takafumi⁴

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻, ³ 日本大学文理学部地球システム科学科, ⁴ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Department of Earth Science and Astronomy, The University of Tokyo, ³Department of Geosystem Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, ⁴Graduate school of Science, Kyoto University

The Cretaceous sandstones of the Atokura nappe in the northern Kanto Mtns. in central Japan were analyzed for detrital zircon U-Pb chronology by LA-ICP-MS. The results documented two distinct age groups; i.e., 150-300 Ma (Permian to Jurassic) and 1600-2600 Ma (Neoproterozoic to Mesoproterozoic). As there are no correlative candidates for provenance in the neighborhood, the Cretaceous strata of the Atokura nappe were likely exotic. The occurrence of Jurassic granitoids is currently limited to the Hida belt in central Japan, while no Precambrian basement is exposed at all in Japan. Judging from the allochthonous mode of occurrence, the Atokura nappe was derived originally from the back-arc domain of the Cretaceous Japan.

キーワード: 白亜紀, 砂岩, 碎屑性ジルコン, U-Pb 年代, LA-ICP-MS, 日本

Keywords: Cretaceous, sandstone, detrital zircon, U-Pb age, LA-ICP-MS, Japan

丹沢山地マフィック変成岩の層状構造は転位クリープ起源? Dislocation creep induced layer structures ? in mafic rocks, Tanzawa Mountain

水野 那希^{1*}; 道林 克禎¹
MIZUNO, Tomoki^{1*}; MICHIBAYASHI, Katsuyoshi¹

¹ 静岡大学・理・地球科学

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University

Tanzawa plutonic complex is located in the northern part of Izu-Bonin-Mariana (IBM) arc. The complex has been exposed by the collision of IBM arc and Japan islands. The exposed process is related to uplifting of Tanzawa plutonic complex along the Kannawa fault. Mafic rocks near the Tanzawa plutonic complex show metamorphosed and deformed textures. The purpose of this study is to reveal microstructures of metamorphosed mafic rocks occurred near the Tanzawa plutonic complex. They are highly deformed and show well-developed layer structures. The mafic rocks consist mainly of amphibole and plagioclase. Amphibole grains are elongated. Plagioclase grains are polygonal. The mean grain sizes of amphibole are in a range between 30 and 110 micron, whereas those of plagioclase are in a range between 25 and 115 micron. Within the well layered rocks, aspect ratios become smaller, as increasing grain sizes. Crystal-preferred orientations (CPOs) of amphibole and plagioclase were measured by a scanning electron microscope (SEM) equipped with electron back-scattered diffraction (EBSD). Amphibole CPOs show (100) [001] patterns. Plagioclase CPOs show (001) [100] patterns. It suggests that their deformation mechanisms are dominantly dislocation creep. Some elongated amphibole grains have grain boundaries perpendicular to the foliations, which appear to be also an evidence of dislocation creep. Consequently, the mafic rocks could result from dislocation creep during the development of layer structures associated with uplifting of the Tanzawa plutonic complex.

Keywords: amphibolite, Tanzawa, amphibole, plagioclase, CPO

静岡県佐久間町の中央構造線鹿塩マイロナイトの延性脆性組織
Brittle and ductile textures preserved in Kashio mylonite along the Median Tectonic Line,
Sakuma-cho, Shizuoka

遠藤 弘人^{1*}; 道林 克禎¹

ENDO, Hiroto^{1*}; MICHIBAYASHI, Katsuyoshi¹

¹ 静岡大学・理・地球科学

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University

Kashio mylonite exposed along the Median Tectonic Line in the central Japan is one of the most famous fault rocks in Japan. The purpose of this study is to reveal microstructural development of Kashio mylonites in the Urakawa area, Sakuma-cho, Shizuoka Prefecture. Kashio mylonite occur along the Ohchise-gawa River and Shippei-sawa. In this study, four Kashio mylonites were classified into three types: protomylonite, mylonite, and ultramylonite. The whole rock chemical compositions show that they were derived from the igneous rocks such as tonalites. Two protomylonites have larger (~4mm) plagioclase and amphibole porphyroclasts and show composite planar structures. The plagioclase porphyroclasts were fractured but partly dynamically recrystallized into fine-grains. All quartz grains were dynamically recrystallized into fine (about 40 micron) grains. One mylonite consists of very fine-grained quartz (about 20 micron) and plagioclase bands with small amount of plagioclase porphyroclasts. One ultramylonite consists of very fine-grained matrix of quartz, plagioclase and K-feldspar (about 10 micron). Ultramylonite were fractured such as cataclastic rocks after the mylonitization. Crystal-preferred orientations (CPO) of quartz were measured in the four mylonitic samples. Quartz CPO patterns suggest that prism $\langle a \rangle$ slip system is dominant, whereas the ultramylonite have a weak cross girdle pattern of c-axis. It suggests that the ultramylonite was progressively developed during deformation under the retrogressive condition. As a result, these mylonitic rocks have undergone three stages of the deformation event. The first stage of deformation occurred in the ductile regime of plagioclase, resulting in the fine-grained plagioclase and Y-maxima CPO patterns of quartz c-axes. The second stage of deformation occurred in the brittle regime of plagioclases, resulting in fracturing within plagioclase porphyroclasts and the weak cross girdle CPO pattern of quartz c-axis in the ultramylonites. Finally, the third stage of deformation occurred in the brittle regime of both quartz and plagioclase, resulting in the development of cataclasis. The results support that the Kashio mylonites have been deformed during progressive retrogression associated with the development of Median Tectonic Line.

Keywords: Median Tectonic Line, Kashio mylonite, CPO, ductile regime, brittle regime

日本海沿岸域における地震発生層深度 Thickness of seismogenic layer within the crust on the Japan Sea side

松原 誠^{1*}
MATSUBARA, Makoto^{1*}

¹ 防災科研
¹ NIED

1. はじめに

日本海側に多数分布している津波や強震動を引き起こす活断層について、津波波源モデルや沿岸・陸域における震源断層モデルを構築することを目的として、文部科学省により「日本海地震・津波調査プロジェクト」が実施されている。防災科学技術研究所（防災科研）は同プロジェクトにおいて、日本海沿岸域における震源断層の断層面の深さを推定するため、地殻内で発生する地震の発生層深度を推定した。地震発生層深度は、震源断層における地震の発生規模の推定に結び付く。地震発生層は、地殻内部における脆性破壊の可能な範囲に対応し、そのような媒質の性質は、岩質・温度・圧力等に強く依存している。そのため、地震発生層深度は地域性を持つので、震源断層が想定されている場所毎に地震発生層深度を推定する必要がある。

微小地震の発生分布から地震発生層の下限を評価する指標として、D90がある。D90とは、その深さより浅い領域で、その地域の地殻内において発生する地震数の90%が含まれることを示す。この地殻内には、沈み込むプレート内で発生する地震は含まないものとする。一方、地震発生層の上限の指標としてはD10があり、その深さよりも浅い領域に、その地域で発生する地震数の10%が含まれることを表す。本研究では、日本海沿岸域におけるD10, D90を推定し、地震発生層の深度および厚さを求める。

2. データ・手法

防災科研の高感度地震観測網（Hi-net）では、一次元速度（1D）構造（鶴川・他，1984）を用いて震源決定が行われている。2001年1月～2013年12月に日本海沿岸において決められた地殻内で発生したマグニチュード（M）1.5以上の地震について、日本列島全域における詳細な三次元速度（3D）構造（Matsubara and Obara, 2011）を用いて、震源再決定を行った。

次に、これらの震源カタログを用いて、地震発生層深度を推定した。ある地点を中心とした0.2°四方の領域において地表から深さ50kmまでに発生した地震の個数うち、地表から10%、90%の地震が発生した深さをそれぞれD10, D90として、この間を地震発生層の厚さとする。

3. 結果

3D構造を用いて震源再決定をすることにより、地表付近の地震は約2kmほど深く、深さ15～30km付近で発生していた地震は約5km程度浅くなった。これは、観測点補正值等を考慮し、地表付近の堆積層の影響が除かれたためである。

3D構造に基づくD10は1D構造に基づく深さよりも深くなった。秋田県～青森県にかけての陸域では、深さ8～12kmと深くなっているが、その他の地域では深さ4～8kmに分布している。沿岸海域については、北海道沖では陸域と同程度の4～8kmである一方、青森県以南の沿岸域のD10は、陸域に比べて深くなり、8～16kmであった。

D90は1D構造に基づく深さよりも3D構造に基づく深さのほうが浅くなった。陸域では多くの領域が9～15kmであるが、沿岸海域では16～24kmと深くなる。北海道北部・青森県から新潟県では16～24kmと深くなる。さらに、山形県沖の飛鳥周辺や新潟県沖では深さ30km程度まで達する領域も存在する。

地震発生層の厚さは、1D構造に基づく厚さよりも3D構造に基づいた厚さのほうが薄くなった。北海道北部では陸域から沿岸海域まで北側の18kmから南側の5km程度と地域により大きな差が存在する。北海道南部では陸域では4～8km程度であるのに対し、海域では6～14kmと厚くなる。青森県から秋田県の男鹿半島付近では2～8km程度である。一方、男鹿半島以南～新潟県にかけての地域では、陸域においても8～16kmと非常に厚く、特に海域に向かって厚くなっている。富山県～鳥取県の地域では、2～7kmと薄くなっている。

4. 議論

Omuralieva et al. (2012) は、気象庁一元化震源を3D構造で再決定したうえで、D90を推定している。本研究と同様3D構造に基づくD90は気象庁一元化に基づくものよりも浅くなっている。また、北海道北部、秋田県から新潟県にかけての沿岸で深く、富山県より西で浅い点も一致する。

5. 結論

日本海沿岸における地震発生層の厚さを推定した。3D構造に基づく震源カタログを用いることにより、1D構造に基

Japan Geoscience Union Meeting 2015

(May 24th - 28th at Makuhari, Chiba, Japan)

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG57-P20

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 18:15-19:30

づく震源カタログよりも浅い地震は深く、深い地震は浅く再決定されることにより、D10は深く、D90は浅くなり、地震発生層の厚さも薄くなった。北海道北部と男鹿半島から新潟県の領域では地震発生層の厚さが厚いが、富山県～鳥取県にかけては、非常に薄くなっている。

キーワード: 地震発生深度, 地震発生層, D90, D10, 震源断層

Keywords: seismogenic layer, D90, D10, seismic fault

2011年東北地方太平洋沖地震震源域北限周辺における人工震源地震波構造調査による浅部P波速度構造 P-wave velocity structure at shallow depths around the northern limit of the 2011 Tohoku earthquake

石原 健^{1*}; 望月 公廣¹; 山田 知朗¹; 山下 裕亮¹; 篠原 雅尚¹; 東 龍介²; 日野 亮太³; 佐藤 利典⁴;
村井 芳夫⁵; 八木原 寛⁶

ISHIHARA, Ken^{1*}; MOCHIZUKI, Kimihiro¹; YAMADA, Tomoaki¹; YAMASHITA, Yusuke¹; SHINOHARA, Masanao¹;
AZUMA, Ryosuke²; HINO, Ryota³; SATO, Toshinori⁴; MURAI, Yoshio⁵; YAKIWARA, Hiroshi⁶

¹ 東京大学地震研究所, ² 東北大学地震・噴火予知研究観測センター, ³ 東北大学災害科学国際研究所, ⁴ 千葉大学大学院理学研究科, ⁵ 北海道大学大学院理学研究院, ⁶ 鹿児島大学大学院理工学研究科

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²Research Center for Prediction of Earthquake and Volcanic Eruption, Tohoku University, ³International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, ⁴Graduate School of Science, Chiba University, ⁵Faculty of Science, Hokkaido University, ⁶Faculty of Science, Kagoshima University

2011年東北地方太平洋沖地震のすべり域周辺ではこれまでにいくつかの構造探査が行われてきた。しかし2011年の地震を境にこの付近の構造に変化が生じた可能性がある。構造の時間変化を求めるためには異なる時期に同じ場所で得られた構造を比較する必要がある。そのため地震発生後の2013年の9/11~9/19に海底地震計(OBS)を用いた制御震源構造探査が1996年及び2001年に行われた調査の際に用いられた測線に重なるようにして行われた。2013年の調査では海溝軸に沿った南北約100kmの測線7本を用い、44台の海底地震計(OBS)とストリーマーケーブルで記録を行った。また制御震源としてエアガンが用いられた。これらの観測エリアは2011年東北地方太平洋沖地震のすべり域を含んでいるため1996年及び2001年の結果と比較する事で地震発生前後における構造の変化を明らかにできると考えられる。特に測線の北側が2011年東北地方太平洋沖地震のすべり域の北限と重なっているため、破壊が実際にどこまで伝わったのかについて構造の比較から示唆ができる可能性がある。

2001年と2013年の調査で得られた反射断面、及び海底地震計(OBS)の観測記録波形を比較すると、若干の変化があることが確認でき、これにより実際に構造に地震前後で変化があったことを明らかにすることができるのではと期待される。

本研究ではTau-P解析[Diebold and Stoffa,1981]を用いて海底から深さ2km程度までの1次元P波速度構造の推定を各海底地震計(OBS)に対して行った。得られた1次元P波速度構造を元に各測線で同じく海底から深さ2km程度までの2次元P波速度構造のフォーワード・モデリングを行い、浅部については観測走時を説明する地震波速度構造を構築した。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震震源域北限, 人工震源地震波構造調査, 海底地震計

Keywords: the northern limit of the 2011 Tohoku earthquake, controlled source seismic survey, ocean-bottom seismometer(OBS)

地震波干渉法による神奈川県北東部とその周辺の地震基盤構造の推定 Seismic basement structure in and around the northeastern Kanagawa Prefecture inferred from the seismic interferometry

山崎 瑞穂^{1*}; 吉本 和生¹; 中原 恒²; 酒井 慎一³; 平田 直³

MIZUHO, Yamazaki^{1*}; YOSHIMOTO, Kazuo¹; NAKAHARA, Hisashi²; SAKAI, Shin'ichi³; HIRATA, Naoshi³

¹ 横浜市立大学大学院生命ナノシステム科学研究科, ² 東北大学大学院理学研究科, ³ 東京大学地震研究所

¹Graduate School of Nanobioscience, Yokohama city University, ²Graduate School of Science, Tohoku University, ³Earthquake Research Institute, University of Tokyo

1. はじめに

関東堆積盆地の形成過程を理解するためには、新第三系以降の堆積層の下に伏在している地震基盤の構造(深度、地体構造の区分)を詳細に明らかにする必要がある。本研究では、神奈川県北東部とその周辺において、地震波干渉法を近地地震の波形記録に適用し、先新第三系の地震基盤の構造について詳しく調査した。具体的には、地震波干渉法により得られた疑似反射断面と既往の反射法地震探査、屈折法地震探査、地震波走時解析、複数のボーリング地点における調査結果などを比較して、疑似反射断面中に見られる反射面を地質学的に解釈した。

2. データと解析方法

解析には、SK-net(首都圏強震動総合ネットワーク)、K-NET(全国強震観測網)、MeSO-net(首都圏地震観測網)等の地震観測点で得られた271の近地地震の波形記録を使用した。吉本・他(2009)に従って、各観測点の加速度波形を変位波形に変換し、直達S波を含むSH波成分について自己相関関数を求めた後に、重合処理により、地盤のS波レスポンス関数を評価した。このS波レスポンス関数を特定の測線について描画し、疑似反射断面を作成した。

3. 結果

地震波干渉法によって推定された厚木-横浜測線の疑似反射断面には往復走時約2秒から6秒に東落ちの明瞭な反射面が検出された。この往復走時の変化は深度換算では約1kmから3km超への深さ変化に相当する。本研究では、この反射面を、測線の西端付近に位置する相模原温泉井の調査結果(小沢・他1999)との対比により、四万十帯の上面と解釈した。多摩川以北に位置する観測点では、四万十帯の上面と比較して有意に大きい(2倍程度)反射強度を持つ反射面が検出された。この反射面は秩父帯の伏在が確認されている江東地殻観測井(鈴木1996)及び府中地殻観測井(鈴木・高橋1985)付近まで連続していることから、本研究では秩父帯上面と解釈した。

四万十帯と秩父帯の境界は、ほぼ多摩川に沿っており、調布市付近から横浜市北東部に位置すると推定された。同境界の南側の四万十帯上面は、横浜市緑区及び神奈川区周辺においては往復走時約6秒であり、約5秒の北側の秩父帯上面に比べて1秒程度深くなっていることが推測された。この結果は、地震基盤上面が南側で1km程度深くなることを示している。さらに南側では、横浜市西部(旭区及び戸塚区周辺)で、四万十帯上面は西に向かって往復走時5秒から4秒程度に変化しており、東側に比べて0.5kmから1km程度浅くなっていることが推測された。これらの結果は地震波走時解析(横浜市2000)の結果と整合的である。秩父帯上面は、東京都調布市以東では、往復走時5秒から6秒程度のほぼ水平な構造をしているが、府中市付近より西側で急激に浅くなることも推定された。

謝辞

本研究では、首都圏地震観測網の波形記録及び首都圏強震動総合ネットワークの東京都、東京消防庁、神奈川県、千葉県、横浜市、東大地震研究所の強震計・震度計の波形記録を使用しました。また、防災科学技術研究所、気象庁の波形記録を使用させていただきました。ここに記して感謝します。

日本海地震・津波調査プロジェクト: 鳥取・福井沖地殻構造探査の成果 Seismic reflection profiling off-Tottori and Fukui, SW Japan, for seismic and tsunami hazards in the Sea of Japan

加藤 直子^{1*}; 佐藤 比呂志¹; 石山 達也¹; 白石 和也²; 阿部 進²

KATO, Naoko^{1*}; SATO, Hiroshi¹; ISHIYAMA, Tatsuya¹; SHIRAIISHI, Kazuya²; ABE, Susumu²

¹ 東京大学地震研究所, ² (株)地球科学総合研究所

¹ERI, Univ. of Tokyo, ²JGI, 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-北陸沖での地殻構造調査を実施した(佐藤ほか,2014)。2014年度には福井-鳥取沖で地殻構造探査を実施した。ここでは、この調査の結果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。

2014年7月にケーブル船と発震船からなる二船式で反射法地震探査データを取得した。ここで扱う測線は、福井沖の4測線、計190kmと鳥取沖の5測線、計280kmから構成される。探査海域は海岸から50km程度までの沿岸域である。活発な海上交通のため、二船式による反射法地震探査のデータ取得を行った。発震船のエアガン容量は3020 cu.inch、ケーブル船は2 km、168chのケーブルを曳航し、1050 cu.inchのエアガンを発震船のエアガンと交互に発震させた。二船間の最大オフセット距離は4kmとした。データ収録はサンプリング間隔2 msecとし、記録長は10sとした。

その結果は往復走時4-5 sまでのイメージングが得られた。鳥取沖では往復走時1 sより浅部に多くの不整合面が見られる。

鳥取沖の反射断面では厚さ5kmを越える新生代後期の地層が堆積している。これらの堆積は日本海拡大以降の引張性の応力場によって形成されたものである。これらの正断層は、その後、圧縮性の応力により逆断層として再活動している。一方、福井沖では鳥取沖に比べ堆積層の厚さが薄く、最大3km程度までの堆積層が分布する。

リフト充填堆積物は後期中新世の短縮変形を被り(田中・小草,1981)、変形の軽微な鮮新統に覆われる。第四紀以降の再活動は選択的であり、鮮新統より上位の地層に逆断層として成長層を形成させている。高角度で海底面に変位を与える最新の断層は、横ずれ断層と推定される。

GNSS データを用いた 2003 年十勝沖地震以降の北海道の地殻変動解析 Crustal deformation in Hokkaido after the 2003 Tokachi-oki earthquake using GNSS data

伊東 優治^{1*}; 西村 卓也²
ITO, Yuji^{1*}; NISHIMURA, Takuya²

¹ 京都大学理学研究科, ² 京都大学防災研究所

¹Graduate School of Science, Kyoto University, ²Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2003 年 9 月 26 日に発生した 2003 年十勝沖地震 (M_w 8.0, 以下十勝沖地震) は千島海溝におけるプレート境界型地震である。このような大規模なプレート境界型地震は一般に余効変動を伴うとされており, 本地震の余効変動は GNSS によって詳細に観測されている。余効変動の主な原因は余効すべりと粘弾性緩和が支配的であるとされている。余効すべりは本震発生後の震源域及び周辺域でのすべりで, 影響期間は数日~数年とされている。また, 粘弾性緩和は本震による応力場の変化による粘弾性媒質の流動によって起こる地殻変動で, 影響期間は数年~数十年とされており, 余効すべりに比べて広域に影響するとされている (例えば, Scholz, 2002)。粘弾性緩和による影響はプレート間の固着状態, 特に本震後の固着の回復過程を推定する上で系統誤差となるため, 余効変動のデータからその影響を分離することが重要である。そのために, それぞれによる影響の時定数の違いが利用できる。しかし実際には余効すべりに比べて粘弾性緩和の影響が卓越し始める具体的な時期は分かっていない。

十勝沖地震の余効変動は, Miyazaki et al. (2003) や Ozawa et al. (2004), Baba et al. (2006) 等で原因を余効すべりと仮定したインバージョン解析が行われている。また, Tanaka (2007) は余効変動に含まれる粘弾性緩和の影響が検出可能な大きさになりつつあることをフォワード計算で示している。しかし, これらの研究で解析された期間は Baba et al. (2006) で 1 年間, Tanaka (2007) で 2 年間に限られている。そこで本研究では, 本震発生から東北地方太平洋沖地震までの 7 年間の GEONET 観測点で観測された GNSS による地殻変動データの解析を行い, 十勝沖地震後の地殻変動に対する余効すべり及び粘弾性緩和の影響を調べた。それにあたり, 本予稿では GNSS データ解析の結果から得られた地震後の変動の特徴について述べる。

十勝沖地震以降の地殻変動の速度を計算する前に, 1999 年 3 月 1 日~2003 年 9 月 1 日の観測データの線形トレンドを計算し, この期間の変動速度はプレートの定常的な沈み込みによるものと考えて以降のデータより除去した。その後, 周辺域において本震後に GEONET が捉えた地震 (木村・宮原, 2013) のうち, 2006 年 11 月 15 日, 2008 年 9 月 11 日, 2009 年 6 月 5 日に発生したものの地震時の変動をオフセット補正した。以上の処理の後に折れ線近似で十勝沖地震以降の地殻変動速度を得た。水平成分に関しては 1 年毎の速度を計算した。また, 上下成分に関しては地震直後から 3 年間は 1 年毎, その後は 2 年毎に計算した。

十勝・釧路・根室地域では, 2004 年 11 月 29 日, 12 月 6 日 (十勝沖地震の約 1 年 2 ヶ月後) に釧路沖で発生した地震 ($M7.1$, $M6.9$, 以下釧路沖地震) の影響が見られた。この地震によるとみられる影響は, 震源に近い十勝西部・釧路・根室地域の観測点では 2 年程度続いている様子が見られた。また, 十勝地域の観測点のうち襟裳岬に近いところでは, 時系列データに釧路沖地震に伴う変動が 1 年程度続いている様子が見られた。地震の 3 年後以降では, 十勝・釧路地域での隆起量が襟裳岬付近の隆起量よりも大きくなったこともわかった。このことから, 3 年後以降では襟裳岬付近で粘弾性緩和の影響が相対的に大きくなっている可能性や余効すべり域が北東へと移動している可能性が考えられる。

十勝沖地震の震源の北西に位置する道央地域では, 地震の 4 年後以降の水平速度の距離減衰が, 震源より北方向や北東方向への水平速度の距離減衰に比べて非常に小さいことがわかった。

以上の解析結果から, 十勝沖地震発生から 3~7 年後のデータでは粘弾性緩和の影響が卓越すると考え, 弾性層と半無限粘弾性層の水平成層 2 層構造を仮定し, 弾性層の厚さと粘弾性層の粘性率を grid search で推定した。その結果, 弾性層の厚さ 60km, 粘弾性層の粘性率 $8.0 \times 10^{18} \text{Pa} \cdot \text{s}$ が推定され, 4~7 年後で旭川付近を中心にして北西方向と南東方向にある内陸の観測点での変動を概ね説明できた。

謝辞: 本解析では国土地理院から公開されている GEONET の日々の座標値 (F3 解) を利用させて頂きました。

キーワード: 余効変動, 粘弾性緩和, 2003 年十勝沖地震, GNSS

Keywords: postseismic crustal deformation, viscoelastic relaxation, 2003 Tokachi-oki earthquake, GNSS

レシーバ関数グリッドサーチにより推定された日本列島のモホ面深度 Moho discontinuity beneath the Japanese Islands inferred from grid search analysis of receiver functions

五十嵐 俊博^{1*}; 飯高 隆¹
IGARASHI, Toshihiro^{1*}; IIDAKA, Takashi¹

¹ 東京大学地震研究所
¹ ERI, Univ. of Tokyo

Information on seismic velocity and seismic velocity discontinuities is important to clarify the characteristics of the seismogenic zone. In particular, investigation on the crustal structure and the crustal thickness is the key to understanding the stress concentration and strain accumulation process. Recent travel time inversion analyses have elucidated 3D velocity structures in the whole areas in the Japanese Islands. However, very few studies have paid attention to velocity discontinuities due to the limitation of spatial resolution. A receiver function analysis can extract velocity discontinuities at any depth. In this study, we applied the grid search analysis of receiver functions to estimate the depths of Moho discontinuity beneath the Japanese Islands.

We first searched for the best-correlated velocity structure model between an observed receiver function at each station and synthetic ones for 10 seconds from the direct P arrival. Synthetic receiver functions were calculated from many assumed one-dimensional velocity structures that consist of a sediment layer and one or two velocity discontinuities from the ground surface to the depths of 50 km. We considered only the positive S-wave velocity steps. Observed receiver functions were stacked without considering backazimuth or epicentral distance. Telemetric seismographic network data covered on the Japanese Islands and several temporal dense seismographic stations are used. We selected events with magnitudes greater or equal to 5.0 and epicentral distances between 30 and 90 degrees based on USGS catalogue.

As a result, we clarify spatial changes of the depths of Moho discontinuity. They tend to increase in mountain regions and become shallow toward the surrounding areas with some undulations in most part of the Japanese Islands. This grid search analysis extracts the oceanic Moho of subducting plates in some areas near the Pacific coastline and beneath the south western Japan. This result suggests that velocity gaps of the subducting plates are larger than that of the overriding plate. We also show the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL) is the boundary of the velocity structure in the Japanese Islands. The uppermost mantle along the ISTL shows relatively low P-wave velocities compared to the neighborhood areas. The southwestern Japan side is covered in the relatively high velocity and low V_p/V_s in the crust. On the other hand, the northeastern Japan side has heterogeneities of velocity perturbations. Low S-wave velocity and high- V_p/V_s areas exist just beneath the Moho discontinuity. This may be the reason the depths of Moho discontinuity interpreted from depth-converted receiver functions are deeper than the estimation from tomographic imaging and travel time of the refracted seismic waves in several areas.

外房地域における応力史の再検討 Reassessment of the stress history in the eastern Boso Peninsula, central Japan

山中 克正^{1*}; 佐藤 活志¹; 山路 敦¹
YAMANAKA, Katsumasa^{1*}; SATO, Katsushi¹; YAMAJI, Atsushi¹

¹ 京大・院・理

¹ Div. Earth Planet. Sci. Kyoto Univ.

房総半島太平洋側に分布する新第三系から第四系の安房層群および上総層群には、多数の小断層がみられ、それらにもとづいてフィリピン海プレートの運動史が議論されてきた (Angelier and Huchon, 1987; Yamaji, 2000). それらから応力の変遷史を推定した衣笠ほか (1969), Angelier and Huchon (1987), Yamaji (2000) の3者の主張は互いに異なっている. 特に南北または北東-南西方向の水平圧縮応力の時期を衣笠ほか (1969) は約 1.8 Ma 前後, Angelier and Huchon (1987) は3ないし 2 Ma 以前, Yamaji (2000) は 1.2 Ma 以前と結論した. 本研究は、最新の小断層解析手法 (Hough 変換法: Yamaji et al., 2006; Sato, 2006) を用いて外房地域の応力史を再検討し、水平圧縮応力の時期の特定を試みた.

本研究は外房地域の東海岸沿いを精査し、約 1400 条の小断層を解析して以下の結果を得た. 約 2 から 0.8 Ma に堆積した上総層群勝浦層上部から同層群梅ヶ瀬層までの地層から、鉛直軸性圧縮応力、南北引張応力、北西-南東引張応力の3つの応力を検出した. また、安房層群と上総層群を境する約 3 Ma の黒滝不整合から、約 2 Ma までに堆積した勝浦層下部までの地層から、上記の3つの応力に加えて北東-南西圧縮応力を検出した. さらに、不整合や断層の切断関係を観察することで、約 12 Ma から約 4.2 Ma に堆積した安房層群天津層と同層群清澄層から、上記4つの応力に加えて、方向性不明の水平引張応力を検出した. 検出された応力と地層の堆積年代から明らかになった応力史は以下のとおりである. 外房地域は、黒滝不整合形成以前 (3 Ma 以前) に方向性不明の水平引張応力を、黒滝不整合形成後から下部勝浦層堆積期 (3 から 2 Ma) に北東-南西圧縮応力をこうむり、勝浦層上部から梅ヶ瀬層堆積期 (2 から 0.8 Ma) に東部で北西-南東方向の引張応力、西部で東-西方向の引張応力、その後に南北引張応力、そしておそらくもっとも現在に近い時期に鉛直軸性圧縮応力をこうむった.

前述のいずれの先行研究とも異なり、外房地域は基本的に引張応力をこうむっており、3 から 2 Ma の短期間のみには北東-南西方向の水平の圧縮応力をこうむったことが分かった. 本発表では、この応力史から推察される過去の海溝三重点の位置について議論する.

参考文献:

- Angelier, J. and Huchon, P., 1987, *Earth and Planetary Science Letters*, 81, 397-408.
衣笠ほか, 1969, *地質調査所月報*, 20, 13-38.
Sato, K., 2006, *Tectonophysics*, 421, 319-330.
Yamaji, A., 2000, *Journal of Structural Geology*, 22, 429-440.
Yamaji, A. et al., 2006, *Journal of Structural Geology*, 28, 980-990.

キーワード: 房総半島, 古応力, 小断層解析

Keywords: Boso Peninsula, stress history, fault striation analysis

三重県松阪市飯高町月出における中央構造線に沿う断層岩の解析 Analysis of fault rocks along Median Tectonic Line in Tsukide, Itaka town, Matsusaka city, Mie prefecture

荒井 駿^{1*}; 竹下 徹¹
ARAI, Shun^{1*}; TAKESHITA, Toru¹

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

西南日本において東西方向に 800km 以上延長される中央構造線は、西南日本外帯の三波川帯と内帯の領家帯の境界を限る日本で最大規模の断層である。地下の地層や岩盤に応力が加わり、蓄積された歪が岩石の強度を超えると裂け目ができ、その裂け目に沿って地層がずれることを断層運動と呼び、地震の原因となると考えられる。しかし、現在活動している地下の断層の動きにより岩石が破壊していく様子を直接確認するのは困難である。そのために過去に活動していた断層の露頭を観察することは、断層に沿う破壊の進展を理解する上で非常に重要である。本研究では、三重県松阪市飯高町月出に分布する中央構造線の周辺の地質図を作成し、岩石の記載を行うことで、中央構造線の断層運動による脆性破壊と断層運動に係る地質構造の発展を明らかにする。

本研究では三重県松阪市飯高町月出の中央構造線に直交する、南北方向の 5 つの沢（東西方向に約 900m 間に存在する）で 150m 程度のルートマップを、50m 巻尺を用いて正確に作成した。フィールド調査の結果、この地域の中央構造線は北に急傾斜しており、周辺の岩石は構造的な下位から三波川変成岩類のチャートを含まない泥質片岩（50m+）と三波川変成岩類に属するチャートラミナイトを起源とする泥質片岩（90m）、領家花崗岩類起源のカタクレーサイト（80m）と領家花崗岩類起源のプロトマイロナイト（15m+）の 4 種類の岩石が重なっていることが明らかとなった。カタクレーサイトおよびプロトマイロナイトの薄片を作成し、鏡下観察を行ったところ、脆性破壊に伴う流体の流入による段階的な斜長石の白雲母化や割れ目への緑泥石の沈殿が観察できた。また、カタクレーサイト化の程度を調べるために割れ目密度（本/cm）に基づいて、試料を未破碎、弱破碎、中破碎、強破碎に分類した。調査地域での三波川変成岩類の片理は東西走向であり、また、三波川変成岩類と領家花崗岩類起源のカタクレーサイトの境界も東西方向に追跡される。したがって、三波川変成岩類および中央構造線はともに東西方向の一般走向を持つことが明らかとなった。三波川変成岩類の小断層は北東方向で北に中程度傾斜しているが、これは中央構造線の東西方向への大規模左横ずれの剪断に伴って形成されたリーデルシェアと解釈される。一方、本地域においてルートマップのデータに地質図学を適用し、中央構造線の走向、位置が正確に決定することができたが、本地域中央部において中央構造線が約 70m 南北・水平方向に隔離していることが明らかになった。ここには断層ジョグ（ステップ）が存在すると推測される。断層は屈曲、雁行、分岐、などの非単調な構造（断層ジョグ）を伴い、破壊の終息域や一時停止域となる断層ジョグの手前にほかよりも大きくすべる領域、即ちアスペリティが存在する可能性があるという（杉山ほか、2003）。今後の研究で、本地域における断層ジョグの構造についてさらに詳しく調査する必要がある。また、割れ目密度測定によって、中央構造線に近いほど岩石の破碎が強く、遠い所では破碎が弱くなっていることが明らかとなった。斜長石の変質の程度もこれに対応している。これらのことから、中央構造線の断層運動による破碎作用が中央構造線に沿った岩石からより離れた岩石へと伝播し、時間の経過とともにカタクレーサイト帯の幅が広がっていったのではないかと考えられる。

キーワード: 中央構造線, 断層岩, カタクレーサイト
Keywords: Median Tectonic Line, fault rock, cataclasite

プレートの定常沈み込みに伴う島弧の変形とその特徴 Characteristics of island arc deformation due to steady plate subduction

深畑 幸俊^{1*}; 松浦 充宏²

FUKAHATA, Yukitoshi^{1*}; MATSU'URA, Mitsuhiro²

¹ 京都大学防災研究所, ² 統計数理研究所

¹Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, ²Institute of Statistical Mathematics

Steady plate subduction elastically brings about permanent lithospheric deformation in island arcs, though this effect has been neglected in most studies based on dislocation theory. We investigate the characteristics of the permanent lithospheric deformation using a kinematic model, in which steady slip motion is given along a plate interface in the elastic lithosphere overlying the viscoelastic asthenosphere under gravity. As a rule of thumb, long-term lithospheric deformation can be understood as a bending of an elastic plate floating on non-viscous fluid, because the asthenosphere behaves like water in a long term. The steady slip below the lithosphere-asthenosphere boundary does not contribute to long-term lithospheric deformation. Hence, the key parameters that control the lithospheric deformation are only the thickness of the lithosphere and the geometry of the plate interface. Slip on a plate interface generally causes substantial vertical displacement, and the gravity always tries to retrieve the original gravitational equilibrium. For a curved plate interface gravity causes upward bending of the island arc lithosphere, while for a planar plate interface gravity causes downward bending. Larger curvature and thicker lithosphere generally causes larger deformation. When the curvature changes along the plate interface, internal deformation is also involved intrinsically, which modifies the deformation field due to gravity. Because the plate interface generally has some curvature, at least near the trench, upward bending of the island arc lithosphere, which involves uplift of island arc and subsidence around the trench, is always realized. On the other hand, the deformation field of the island arc lithosphere sensitively depends on lithospheric thickness and plate interface geometry. These characteristics obtained by the numerical simulation are well consistent with observed topography and free-air gravity anomalies in subduction zones, where a pair of topography and gravity anomaly, high in the arc and low around the trench, exists without exceptions all over the world, while there are large variety in the amplitude and horizontal scale.

キーワード: 島弧, 地殻変動, 粘弾性, 重力異常

Keywords: island arc, crustal deformation, viscoelasticity, gravity anomaly

稠密アレイ自然地震観測による南アルプス南端部地域のフィリピン海プレートの構造 Structure of the PHS in the southernmost area of the Southern Japanese Alps using dense seismic array records

川崎 悠介^{1*}; 渡辺 俊樹²; 加藤 愛太郎¹; 狩野 謙一³; 伊藤 谷生⁴; 阿部 進⁵; 野田 克也⁶;
河内 善徳⁶; 山岡 耕春¹
KAWASAKI, Yusuke^{1*}; WATANABE, Toshiki²; KATO, Aitaro¹; KANO, Ken-ichi³; ITO, Tanio⁴;
ABE, Susumu⁵; NODA, Katsuya⁶; KOUCHI, Yoshinori⁶; YAMAOKA, Koshun¹

¹名古屋大学, ²東京大学, ³静岡大学, ⁴帝京平成大学, ⁵(株)地球科学総合研究所, ⁶(株)ジオシス
¹Nagoya University, ²University of Tokyo, ³Shizuoka University, ⁴Teikyo Heisei University, ⁵JGI, Inc., ⁶Geosys, Inc.

南アルプス南端部は、フィリピン海プレート (PHS) の沈み込みによる東海地震の想定震源域、及び伊豆弧の衝突帯の西縁に位置している。この地域のテクトニクスを理解するためには PHS の形状・物性の把握が必要であるが、この地域に特化した詳細な研究はほとんど行われていない。そこで、南アルプス南端部において 34 点の地震計を設置し、稠密アレイ自然地震観測を行った。測線は静岡県静岡市葵区梅ヶ島から浜松市天竜区春野町に至る北東-南西方向に約 50km である。本研究では、レシーバ関数解析、及び地震波トモグラフィを用いてフィリピン海プレートの詳細な構造を推定した。

本研究では、以下のように解析を行った。

1. アレイ観測点及び、近傍の Hi-net 観測点 5 点に記録された遠地地震記録 (震央距離: $30^\circ \sim 90^\circ$) にレシーバ関数解析を適用し、測線下の速度不連続面分布を推定した。

2. アレイ観測点と近傍の定常観測点 45 点に記録された近地震 354 個の P 波、S 波初動走時を読み取り、Double-Difference Tomography (Zhang and Thurber, 2003) を用いて速度構造を推定した。

3. 地震波トモグラフィで得られた速度構造を用いて、Double-Difference Relocation (Waldhauser and Ellsworth, 2000) により 2004 年 1 月から 2014 年 10 月に発生した地震の震源再決定を行った。

レシーバ関数深度断面から測線下の PHS の形状を推定したところ、全体的に北東に向かって浅くなる傾向を示した。測線東端と西端で先行研究によって推定された PHS 上面の位置 (Matsu'ura et al., 1991; Kato et al., 2010; 伊藤ほか, 2013) とほぼ一致した。今回の測線下ではこれまで、PHS はほぼ同じ深さで滑らかな形状をなしていると考えられていた (例えば、Hirose et al., 2008)。しかし、今回推定された PHS の形状では凸状になった部分が見られ、先行研究と比較して複雑な形状である。この形状は、スラブ内地震の分布と調和的である。今回の解析からこの凸形状の理由を明らかにすることは難しいが、伊豆弧の衝突・沈み込みによって PHS が東西に圧縮するような変形を受けたことや海山の沈み込み (例えば、Kodaira et al., 2004) が可能性として挙げられる。

トモグラフィ解析の結果から、測線南西部~中部において海洋地殻は比較的低 V_s ・高 V_p/V_s の領域であり、非地震域である。一方、測線中部~北東部では比較的低 V_p/V_s であり、地震活動が活発である。この低 V_p/V_s の領域では含水鉍物をあまり含まない海洋性島弧地殻が沈み込んでいると解釈することができる。この解釈により、今回観測された海洋地殻が沈み込んだ先で発生している深部低周波地震の活動度の空間変化を説明できると考えられる。

キーワード: 南アルプス南端部, フィリピン海プレート, レシーバ関数, 地震波トモグラフィ, 海洋性島弧地殻, 深部低周波地震

Keywords: southernmost area of the southern Japanese Alps, Philippine Sea Plate, receiver function, seismic tomography, intra-oceanic island arc crust, deep low-frequency earthquakes

北部三陸海岸の完新世垂直変動史—巨大地震サイクルに関連して— Holocene vertical movement history in northern Sanriku coast, NE Japan, related to megaquake cycle

菊池 諒¹; 宮内 崇裕^{2*}

KIKUCHI, Ryoichi¹; MIYAUCHI, Takahiro^{2*}

¹ 千葉大学理学部地球科学科, ² 千葉大学大学院理学研究科地球科学コース

¹Dept.Earth Sci., Fac. of Sci., Chiba University, ²Dept.Earth Sci., Grad. School of Sci., Chiba University

2011年東北地方太平洋沖地震時には、震源域の下限(深さ約50km)のほぼ直上に位置する海岸線(南部三陸海岸～銚子)は、地震前のプレート固着に伴う広い範囲の沈降に加えてさらに大きく沈降した(Ozawa et al., 2011)。とくに大きく沈降した南部三陸海岸はその後余効変動によって隆起に転じ、地震時沈降の約4分の1が戻りつつある(国土地理院, 2014)。このペースで余効変動(深部のすべりや粘性緩和による地殻変動)が継続すれば、比較的短時間で地震時沈降は回復するとともに、次の巨大地震へ向けてプレートの固着が増強し、海岸部の沈降が始まると推定されている(Ikeda, 2014)。このようなプレート間巨大地震サイクルシナリオに従えば、2011年の震源域ではなかった北部三陸海岸においても、同様の巨大地震サイクルによって海岸の垂直変動が支配されている可能性がある。このような考え方を検証するために、本研究では、北部三陸海岸において完新世の離水海岸地形の高度分布と離水年代に基づいて垂直変動史を明らかにし、測地的変動速度を考慮した北部三陸海岸沖の巨大地震サイクルについて検討した。

火山灰編年学的に年代決定のなされた MIS5e 期海成段丘の旧汀線は高度 30m ほどにあることから、10 万年スケールでの平均隆起速度は 0.2mm/yr を示す。完新世における離水現象の情報は 3 地点(北から川尻, 戸類家, 有家)から得られ、どの地点でも最高位の離水海岸地形(いずれも形成層準は当時の潮間帯付近で 0 m)の高度は 4~5m にあるが、離水年代が大きく異なり、川尻では約 1,000 年前(10 世紀前半の B-Tm 火山灰降灰直前)、戸類家では 3,300 年前(C14 年代)以前、有家では 4,800 年前(C14 年代)以前である。それらより低位の離水地形は不明である。気象庁設置の八戸験潮記録によれば、過去 60 年間の平均沈降速度は 2mm/yr である。これらを統一的に説明できる海岸部の垂直変動ダイアグラムを作成した。

海岸地形の離水現象は大きな隆起イベントによるもの(古いものから E1, E2, E3 とする)、イベント間ではプレート間固着による引きずり沈降(地震間沈降)が 2mm/yr で継続していたとすると、1,000 年前の隆起イベント E3 直後には離水海岸地形は 6~7 m に存在し、同時にその値が E3 イベント時の隆起量を示すことになる。各イベント直後の到達高度を連ねた直線の傾きが、10 万年スケールの平均隆起速度 0.2mm/yr を満たすようにすると、E2 は約 3,800 年前に 5~6 m の隆起、E1 は約 6,200 年前ごろに 4~5m の隆起を伴ったと推定される。短時間に起こったこのような大きな隆起は沖合いの海底活断層運動による可能性(宮内, 2012)もあるが、現時点では断層情報に乏しい。そのような隆起が南部三陸海岸で現在進行中である余効変動と同質なものであったとすると、各隆起イベントの直前に顕著な海岸沈降を伴うプレート境界型の巨大地震が北部三陸沖の日本海溝から千島海溝において発生した可能性がある。その頻度は完新世に少なくとも 3 回である。

キーワード: 完新世, 離水海岸地形, 垂直変動史, 余効変動, 北部三陸海岸, 巨大地震

Keywords: Holocene, Emerged coastal topography, Vertical movement history, After-slip movement, northern Sanriku coast, megaquake

New Madrid 地震帯の地殻と上部マントル構造 Crust and upper mantle structure of the New Madrid Seismic Zone: Insight into intraplate earthquakes

Chen Chuanxu¹; 趙 大鵬^{1*}; Wu Shiguo¹
CHEN, Chuanxu¹; ZHAO, Dapeng^{1*}; WU, Shiguo¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹Tohoku University, Department of Geophysics

The New Madrid Seismic Zone (NMSZ) is seismically the most active region in the Central and Eastern United States and an ideal area to study intraplate earthquakes. A sequence of at least three large earthquakes ($M > 7.0$) occurred here in 1811-1812, and palaeo-seismic records show evidence of large earthquakes about 500 years apart in the past 2000 years. The distribution of local earthquakes recorded since 1974 delineates three linear faults in the NMSZ: (1) the NE-trending Cottonwood Grove-Blytheville Arch fault along the central Reelfoot rift, (2) the NW-trending Reelfoot Fault, and (3) the NNE-trending New Madrid North Fault. The activation of these mid-continent faults and their controls on duration of the seismic activity remain poorly understood. One of the fundamental questions is: what makes the NMSZ different from the surrounding intraplate areas in North America, especially the areas within the same geologic settings?

We determined a 3-D P-wave velocity model of the crust and upper mantle down to 400 km depth to investigate structural heterogeneity and its influences on the generation of intraplate earthquakes in the NMSZ. We used 4871 high-quality arrival times from 187 local earthquakes and 30,846 precise travel-time residuals from 1041 teleseismic events recorded by the EarthScope/USArray Transportable Array. Our results show that, beneath the Reelfoot rift, a significant low-velocity (low-V) zone exists in the upper mantle down to 200 km depth, with a large volume of 200 km x 200 km x 150 km. The origin of the low-V zone may be related to the passage of the Bermuda hotspot and the stalled ancient Farallon slab materials foundering in the mantle transition zone. This low-V zone may have relatively low shear strength and act as a viscously weak zone embedded in the lithosphere, being apt to concentrate tectonic stress and transfer stress to the seismogenic faults in the upper crust, leading to the large intraplate earthquakes in the New Madrid Seismic Zone.

キーワード: New Madrid, 地震, 地殻, マントル, 速度構造

Keywords: New Madrid, earthquake, crust, mantle, velocity structure

塩ノ平断層の破碎部性状と断層活動性 The property of fault zone and fault activity of the Shionohira Fault, Fukushima Prefecture, Japan

亀高 正男^{1*}; 酒井 亨¹; 稲田 徳之¹; 田中 由美子¹; 岡崎 和彦¹; 鈴木 悠爾¹; 青木 和弘²;
田中 義浩²; 瀬下 和芳²; 中山 一彦²
KAMETAKA, Masao^{1*}; SAKAI, Toru¹; INADA, Noriyuki¹; TANAKA, Yumiko¹; OKAZAKI, Kazuhiko¹;
SUZUKI, Yuji¹; AOKI, Kazuhiro²; TANAKA, Yoshihiro²; SESHIMO, Kazuyoshi²; NAKAYAMA, Kazuhiko²

¹ ダイヤコンサルタント, ² 日本原子力研究開発機構

¹Dia Consultants, ²Japan Atomic Energy Agency

2011年4月11日に発生した福島県浜通りの地震(以下4.11地震と呼ぶ)によって、いわき市田人町旅人滑石から石住綱木北西に至る約14kmの区間に、北北西から南南東へ延びる地表地震断層が出現した。断層活動は西落ちの正断層センスで特徴付けられ、地表での最大変位量は約2mであった(例えば、黒澤ほか, 2012)。この地表地震断層は石山ほか(2011)によって塩ノ平断層と命名された。

4.11地震以前の研究として、「日本の活断層」(活断層研究会編, 1991)などにより、この付近に南北方向に延びる数条の断層が判読され、一括して井戸沢断層と呼ばれていた。4.11地震による地表地震断層は、井戸沢断層の一部(堤・遠田, 2012の井戸沢断層西側トレース)にあたる。地表変位が現れた区間のうち、御齊所街道以北には変動地形が見出されていない。一方で、旅人滑石より南方は茨城県との県境付近まで同方向のリニアメントが識別されているが、この区間には地表変位は現れなかった。著者らは4.11地震による活動区間と非活動区間の違いに着目した調査・研究を進めており、今回の発表では塩ノ平断層の露頭調査結果を中心に報告する。

4.11地震の地表地震断層に沿って新たな断層露頭が多数出現したが、そのうちの大部分は下盤側(東側)の断層面に沿った破碎帯が露出したもので、上盤側の基盤岩類の構造は観察できない場合が多い。しかし、上盤側と下盤側の基盤岩類が断層で接している露頭も数地点で見つかっている。今回の調査では、これらの露頭のうち活動区間の3地点(清道川、塩ノ平、別当)、及び地表地震断層の南端から約300m南方に位置する断層露頭1ヶ所(滑石南)において、露頭の観察・記載、研磨片・薄片観察、X線回折分析等を行った。

その結果、清道川と別当では結晶片岩中に幅数十cmの厚い断層ガウジを伴う破碎帯が発達し、4.11地震の断層面はこれらのガウジを切っていることが観察された。塩ノ平では結晶片岩起源の破碎帯が新第三系とみられる砂岩と断層で接する露頭がみられる。ここでは4.11地震で形成された断層面に沿って、幅数cmの薄い断層ガウジが認められた。滑石南では結晶片岩中の断層露頭が観察されたが、破碎帯の規模は他地点よりも小さく、断層ガウジの幅も数cm程度と薄かった。X線回折分析の結果からは、清道川、塩ノ平及び別当の断層ガウジにはスメクタイトがある程度含まれているのに対して、滑石南の断層ガウジにはスメクタイトが含まれていないことが判明した。

引用文献

- 石山達也ほか, 2011, 日本地震学会ニュースレター, vol.23, no.5, 36-38.
活断層研究会 編集, 1991, 新編 日本の活断層 一分布図と資料. 東京大学出版会, 437p.
黒澤英樹ほか, 2012, 活断層研究, no.36, 23-30.
堤 浩之・遠田晋次, 2012, 地質学雑誌, vol.118, no.9, 559-570.

キーワード: 塩ノ平断層, 活断層, 断層ガウジ, 破碎部性状, X線回折分析, 福島県浜通りの地震

Keywords: Shionohira Fault, active fault, fault gouge, property of fault zone, X-ray diffraction, Fukushima-ken Hamadori Earthquake

室戸岬での野外調査にもとづく中新統岬アセンブリの形成過程の考察 Deformation process of the Miocene Misaki assemblage at Cape Muroto, Shikoku, Japan

藤内 智士^{1*}; 毛利 圭志¹
TONAI, Satoshi^{1*}; MOURI, Keiji¹

¹ 高知大学理学部
¹ Faculty of Science, Kochi University

高知県室戸岬に露出する付加体とされる上部漸新統?中新統菜生(なばえ)コンプレックスの構造・形成過程を理解するために、その一部である岬アセンブリの地質構造を調べた。付加体ができる過程には多様性があり、その意味で現在形成中の南海付加体と四国に露出する最も若い付加体である菜生コンプレックスとの形成過程を比べるのは興味深い。そこで、高知県室戸岬先端部から北東へ約2200mの範囲の海岸で野外地質調査を行い、肉眼と顕微鏡観察にもとづき、調査地域で見られる岩石を10の岩相(石灰質泥岩層・石灰質砂岩層・頁岩層・砂岩層・砂岩優勢砂岩頁岩互層・変形砂岩頁岩互層・等量砂岩頁岩互層・礫岩層・火成岩脈・粗粒玄武岩)にわけた。さらに作った岩相分布図をもとに、調査範囲の地質断面図を描いた。

調査範囲は、室戸岬先端部に露出している斑れい岩の貫入岩体の北西側と南東側とで岩相が異なる。北西側は半遠洋性の堆積物や強い変形を受けたタービダイト層を主体とする。一方で南東側は、砂岩優勢なタービダイト層と礫岩層からなり一部で褶曲している。これらの地層は南北から北北西?南南東走向で、高角度で西に傾いている。そして、調査範囲は大局的に西側ほど若い地層が出ている。また、調査地域全体に小規模な断層がみられ、貫入岩体を切っているものがあることや、層平行短縮を示すものが層平行伸張を示すものに切られているという関係が見られた。

これらの結果をまとめて、岬アセンブリの形成過程を次のように考察した。前期中新世に海洋プレート上に堆積した岬アセンブリは、その後剥ぎ取り作用によって陸側のプレートに付加された。その際、陸側に傾斜した前縁衝上断層の活動により、陸側の地層がのし上がった。そして斑れい岩体の貫入がその断層に沿うように入り込み、その後の傾動で現在の地層構造が出来上がった。菜生コンプレックスに発達する衝上断層帯は、海側傾斜が卓越すると考える説と陸側傾斜が卓越すると考える説とがあり、今回の結果は後者を支持する。

キーワード: 付加体, 四万十帯, 室戸, 断層
Keywords: accretionary complex, Shimanto belt, Muroto, fault

北海道日高変成帯・東南極ナピア岩体の上部・下部地殻岩石における化石震源域の
シュードタキライトと間震期の塑性変形
Interseismic plastic deformations at ancient crustal seismogenic zones in the Hidaka meta-
morphorphic belt and Napier Complex

豊島 剛志^{1*}
TOYOSHIMA, Tsuyoshi^{1*}

¹新潟大学
¹Niigata University

Pressure solution-precipitation structures are characteristically abundant in pseudotachylyte-producing fault zones in the Hidaka metamorphic belt, Hokkaido, northern Japan (Toyoshima et al., 2004; Wada et al., 2005). The zones occurred at the lowermost part of upper continental Hidaka crust. Pseudotachylytes formed under granulite-facies conditions (lower continental crustal conditions) occur at Tonagh Island in the Napier Complex, Eastern Antarctica (Toyoshima et al., 1999). Seismic faulting (pseudotachylytes-producing faulting) and plastic deformation (formation of ultramylonite) alternated under lower continental crustal conditions in Tonagh Island (Toyoshima et al., 1999). I illustrate interseismic deformations related to the Hidaka and Tonagh pseudotachylytes as examples of ancient seismogenic zones in upper and lower crust, respectively.

Modes of occurrence of the Hidaka pseudotachylytes indicate that seismic slip with pseudotachylyte generation and slow plastic deformation (pressure solution with precipitation) occurred alternatively and repeatedly in the same fault zones and fault surfaces (Wada and Toyoshima, 2006, 2007). Pressure solution-precipitation is likely one of the principal deformation mechanisms for interseismic plastic deformation and time-dependent strength recovery of fault zones (Wada and Toyoshima, 2006, 2007). The pressure solution-precipitation processes lead to increase in number of grain-to-grain contact and in real contact areas of the fault surfaces, resulting in healing of the fault zones (Wada and Toyoshima, 2007). Very thin and sharp shear zones filled with very fine-grained materials cut the pressure solution-precipitation structures and are cut by pseudotachylytes-producing faults. The shear zones are deformation structures formed immediately before seismic faulting in the upper Hidaka crust.

Granulite-facies ultramylonites are characteristically abundant in and along the Tonagh pseudotachylyte-producing fault zones. There are two different types of the granulite-facies ultramylonites in microstructures of recrystallized plagioclase grains: type 1 and 2. Type 1 ultramylonites have polygonal medium grains of plagioclase with smooth grain boundaries and very weakly undulose extinction. Type 2 ultramylonites include very fine grains and elongated fine grains of plagioclase with strongly undulose extinction and irregular grain boundaries. Type 2 ultramylonites occur along granulite-facies pseudotachylytes-generating fault surfaces and have been cut by fault veins of pseudotachylyte. Some of the granulite-facies pseudotachylytes became type 1 and 2 ultramylonites, which have also been cut by other granulite-facies pseudotachylytes. These may also be conspicuous difference between dynamic recrystallization mechanisms of plagioclase immediately before and after seismic faulting.

キーワード: シュードタキライト, 圧力溶解, ウルトラマイロナイト, 塑性変形, 間震期, 強度回復

Keywords: pseudotachylyte, pressure solution, ultramylonite, plastic deformation, interseismic deformation, time-dependent strength recovery

別府一万年山断層帯下の不均質構造に関する研究 Study on heterogeneous structure beneath the Beppu-Haneyama fault zone

神菌 めぐみ^{1*}; 松本 聡²; 中元 真美²; 宮崎 真大¹

KAMIZONO, Megumi^{1*}; MATSUMOTO, Satoshi²; NAKAMOTO, Manami²; MIYAZAKI, Masahiro¹

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

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

別府一万年山断層帯は大分県東部の別府湾の海底から大分県西部にかけて分布する活断層帯である。別府島原地域で地震のSW-N-E断面をとると、別府周辺では地震発生層の厚さが薄くなっている(約10km以下)ことがわかっている。この地震発生層の厚さにはその下部の構造が影響していると考えられるので、地下構造を知ることは重要である。本研究では、観測された反射波から反射体を見つけることで断層帯下の不均質構造を推定することを目的とする。

データは定常観測点に加え、九州大学の臨時観測点において得られたものを使用した。簡単のため反射点までは均質半無限速度構造を仮定し、観測された波形にNMO処理を行い反射波の検出を試みた。別府一万年山断層帯に直交するように観測点を選び、NMO処理した波形を並べ深度断面を作成した。波形を並べてみると約25km程度の深さに反射点が連続して見られモホ面に対応すると考えられる。また、地震発生層下には反射波が多数検出された。ここでは、これらと地震発生層との関連について議論する。

キーワード: 別府一万年山断層帯, 不均質構造, 反射体

Keywords: Beppu-Haneyama fault zone, heterogeneous structure, reflector

Anomalous seismic wave intensity distribution in the Tokyo Metropolitan area. Anomalous seismic wave intensity distribution in the Tokyo Metropolitan area.

パナヨトプロス ヤニス^{1*}; Hirata Naoshi¹; 酒井 慎一¹; 中川 茂樹¹; 笠原 敬司²
PANAYOTOPOULOS, Yannis^{1*}; HIRATA, Naoshi¹; SAKAI, Shin'ichi¹; NAKAGAWA, Shigeki¹;
KASAHARA, Keiji²

¹Univ. Tokyo, ERI, ²Assoc. Develop. Earthquake Prediction

¹Univ. Tokyo, ERI, ²Assoc. Develop. Earthquake Prediction

The intensities of seismic waves observed at the dense seismic array of the Tokyo Metropolitan Seismic Observation network (MeSO-net) inside the Kanto basin, display unusual distribution patterns. In several occasions, the highest intensities are not observed in the area above an earthquakes hypocenter but appear sifted more than 20 km away. In order to understand the source of this unusual intensity distribution pattern, it is crucial to understand how the waves attenuate before they reach the surface. The attenuation of seismic waves along their path is represented by the t^* attenuation operator that can be obtained by fitting the observed seismic wave spectrum to a theoretical spectrum using an ω^2 model. In order to create a high quality dataset, only 1449 earthquakes that are recorded with intensity greater than 0 in the Japan Meteorological Agency (JMA) intensity scale are selected from the JMA unified earthquake list from April 1st 2008 to October 2nd 2013. A grid search method is applied to determine the t^* values by matching the observed and theoretical spectra. The t^* data were then inverted to estimate a 3D Q structure with grid points set at a 10 km spacing. We implemented the 3D velocity model estimated by Nakagawa et al., 2012 and in addition we set the initial Q values at 100 for the 0 km grids and to 400 for the grids below them. The obtained model suggests average Q values of 50~100 inside the Kanto basin. Furthermore, a low Q zone is observed in the area where the Philippine Sea plate meets the upper part of the Pacific sea plate. This area is located at approximately 40 km depth, beneath the north-east Tokyo and west Chiba prefectures and is represented by Q values <300. Earthquakes occurring on the Pacific plate pass through this low Q area inside the Philippine sea plate and are attenuated significantly. The estimated attenuation distribution at the MeSO-net station for these earthquakes implementing our 3D Q model greatly coincides with the observed seismic wave intensity distribution. Stations where our model predicts high attenuation display low intensity values whereas stations where our model predicts low attenuation display high intensities. The implementation of our findings could help towards a better understanding of the damage area of future earthquakes and mitigate the disaster of the affected areas.

Keywords: Attenuation, Tomography, MeSO-net