

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。

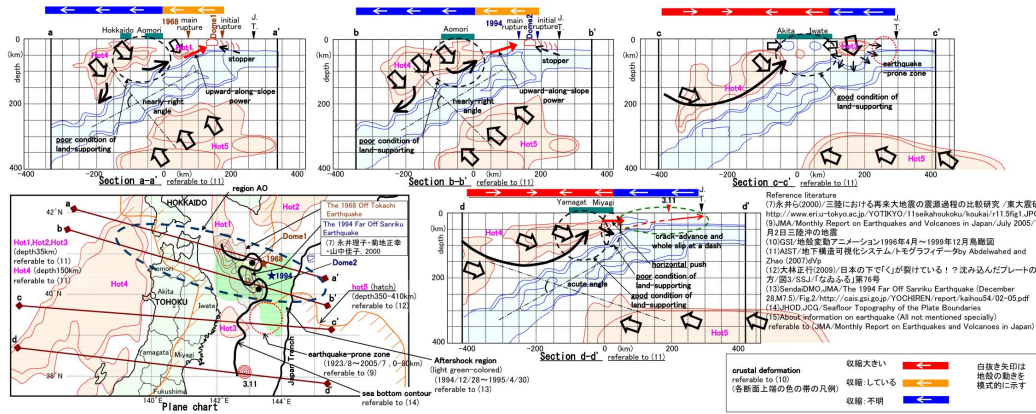
地殻変動は観測事実 (10) で示されるものを構造理解に投入しても全域で矛盾は認められない。例えば日本海が青森では陸と共に西へ流されそれより南では逆に東進していることは調和する。今回は宮城沖以北の構造理解で地震の理解も進み青森東方沖の大地震は仕組みが宮城県沖地震でもなく 3.11 でもないことが判明した。

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ュン・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 皇史^{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

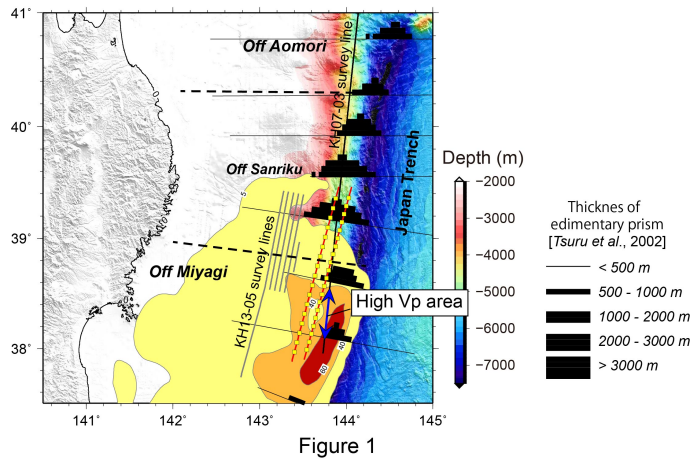


Figure 1

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越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 <a>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 の領域では含水鉱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