

九州地方の3次元比抵抗構造を基にした温度構造とメルト分布 Thermal structure and melt fraction distribution of mantle from a 3-D electrical conductivity structure beneath Kyushu

畑 真紀^{1*}; 上嶋 誠¹

HATA, Maki^{1*}; UYESHIMA, Makoto¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

The Kyushu Island in the Southwest Japan Arc has many Quaternary active volcanoes, which exist along the volcanic front of N30°E-S30°W, in relation to the subduction of the Philippine Sea Plate (PSP). The volcanoes are located in northern and southern regions of the island, and no volcano is located in the central region between the two volcanic regions of the island. We have performed three-dimensional (3-D) inversion analyses to obtain a lithospheric-scale electrical conductivity structure (model) beneath the entire Kyushu Island using the Network-Magnetotelluric (MT) data [Hata *et al.*, 2015]. One of two major findings from a distribution of conductive anomalies in the model is that the volcanoes in the northern and southern volcanic regions have two different origins bordering the non-volcanic region at deep depths. Secondly, the degrees of magmatism and the relative contributions of slab-derived fluids to the magmatism vary spatially in the one non-volcanic and two volcanic regions. Then, in this study, we try to verify whether the respective conductivity anomalies impart a different effect on temperature and melt fraction.

We use laboratory work results to determine thermal structure and melt fraction distributions derived from the electrical conductivity structure beneath the Kyushu Island. The laboratory work results are relation between electrical conductivity and temperature for four nominally anhydrous minerals (Olivine, Orthopyroxene, Clinopyroxene, and Garnet) in solid phase, relation between electrical conductivity and temperature for hydrous basaltic melt in liquid phase, and a parameterization result of isobaric hydrous mantle melting. In this presentation, we will show our approach to determine temperature and melt fraction as a function of the water contents among the four mantle minerals and the basaltic melt, which integrate laboratory-derived conductivity and field-derived conductivity. We will also show thermal structure profiles and melt fraction distribution profiles of the mantle wedge beneath the one non-volcanic region and the two volcanic regions of the Kyushu Island.

プレート沈み込み開始とマグマ形成場の時空間変化：中新世西南日本を対象として Subduction Initiation and spatial and temporal variation of magma generating condition in the Miocene SW Japan

森里 文哉^{1*}; 小澤 一仁¹

MORISATO, Fumitoshi^{1*}; OZAWA, Kazuhito¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

¹ Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, University of Tokyo

はじめに

島弧でのマグマ形成メカニズムと沈み込み帯の熱的・化学的構造の関係は二次元断面モデルで議論されてきたが (Spiegelman & McKenzie, 1987; Tatsumi, 1989 など), 東北日本弧では沈み込み帯の三次元構造を考慮する必要性が示された (Tamura et al., 2002; Ueki & Iwamori, 2007 など). さらに, 数値シミュレーションで定常的な沈み込み帯のマントルウェッジに三次元的な局所対流が生じることが示されている (Honda, 2011). 一方, 三次元構造の形成メカニズムについては, 良くわかっていない. この課題解決には, 沈み込み開始期の地質記録からの制約が不可欠であるが, 多くの場合情報は断片的である (海野・石塚, 2010 など).

中新世の西南日本弧では, 四国海盆の沈み込み開始に関連して幅広い時間 (12~18Ma)・空間 (~900km) で火成活動が起きていた (Sumii, 2000; Tatsumi et al., 2001, など). これらの火成活動の推移は二次元モデルによって議論されてきた (Kimura et al., 2005). しかし, 四国西部・四国東部・紀伊半島では約 50km 間隔で火成活動と地殻構造が島弧横断方向に伸長したクラスタ構造を形成しており, マントルの三次元構造を考慮する必要性を示している. 本研究では, Sakuyama et al., (2014) の方法により瀬戸内火山帯のマグマ形成場の時空間変化を推定し, 沈み込み開始直後の三次元的マントルの熱・物質の起源と輸送過程を描き出すことを目的とする.

瀬戸内火山帯では, 天然の安山岩を用いた複数相飽和実験 (Tatsumi & Ishizaka, 1982 など), マントルウェッジと沈み込みスラブの地球化学的特徴 (Shimoda et al., 1998 など), テクトニクス復元によって推定される当時の熱的構造 (Furukawa & Tatsumi, 1999) に基づく議論から, スラブ溶融メルトとマントルカンラン岩の反応で含水量 4wt%以上の初生安山岩質メルトが形成されたと推定されている (Tatsumi et al., 2006). 本研究では上記目的達成のため, 天然情報からの制約でマントル融解条件推定時の仮定をできる限り排除する.

今回我々は四国東部クラスタに焦点をあて, クラスタの中央部 (金山・城山・五色台地域) と西縁部 (七宝山地域) に相当する地域で XRF, LA-ICP-MS による安山岩質溶岩の全岩主成分・微量元素組成分析を行った. 東縁部 (小豆島地域) に関しては Tatsumi et al (2006) によるデータを用いた.

結果・考察

クラスタ中心の安山岩の主要元素組成バリエーションは, 水を最大 2wt%含む単一の親マグマの結晶分化 (alphaMELTS) と娘マグマ間のマグマ混合で説明できる. 噴出物の含水量 (0.48~1.7wt%: 逸見ほか, 1976) と少量の空隙を考慮すると, 結晶分化過程で大規模な脱ガスは起きていなかったと考えて良い. 噴出物中の斜方輝石の波動累帯構造に記録された初生的なメルト組成から, メルト分離時のマントル組成に制約を課した. 初生マグマ組成を, $\text{SiO}_2=56.8\sim57.1\text{wt}\%$, $\text{MgO}=13.2\sim11.7\text{wt}\%$, $\text{H}_2\text{O}=0.9\sim1.5\text{wt}\%$ と推定した. このマグマは, 深さ約 30km(alphaMELTS), 温度 1240~1200 °C (Sugawara, 2000; Medard & Grove, 2008) でカンラン石および斜方輝石と平衡共存する.

分化指標である SiO_2 含有量に対する微量元素濃度トレンドから, マグマ形成初期はクラスタの全域に共通の島弧的なソース物質が溶融に関与していたが, 後期には HFS 元素や重希土類元素に富む, より肥沃なソース物質がクラスタ中央部での溶融に関与したことが, また, クラスタ中央部と東縁部のソース物質は後期に LIL 元素に富むスラブ由来流体の影響を強く受けたことが明らかになった. ソースマントルを肥沃なレーンズライトとし, 単斜輝石が消失するために 25%程度の部分溶融度を仮定した場合, ポテンシャル温度は 1300~1250 °C, 融解開始深さは 75km と見積もられる.

これらの結果から, 沈み込み開始に伴うマントルの強制対流によって上昇流の局在化が起きることで火成活動のクラスタリングが形成されるモデルを考案した. ソース物質の特徴の時間変化は, スラブの進行に伴ってより深所のマントルが上昇することに加え, スラブ起源物質が上昇流に取り込まれてマグマ形成に関与することで説明できる. 定常的な沈み込み帯の三次元熱構造の起源は, 沈み込み開始初期まで遡る可能性がある.

キーワード: プレート沈み込み開始, 初生マグマ, 西南日本, 瀬戸内火山岩帯, マントルダイナミクス

Keywords: Subduction initiation, Primary magma, Southwest Japan, Setouchi Volcanic Belt, Mantle dynamics

プレート境界上の低粘性層による沈み込み帯3次元温度構造の発達
Development of a 3D thermal structure in the subduction zone due to a low viscosity layer at the plate interface

森重 学^{1*}

MORISHIGE, Manabu^{1*}

¹ 京都大学地球熱学研究施設

¹ IGS, Kyoto University

It is essential to understand the detailed 3D thermal structure in the subduction zone to better constrain the transport of fluid and melt there. In this presentation, I will propose a simple and new mechanism to produce the along-arc variation in the thermal structure. In the northeast Japan, the earthquakes at the plate interface may occur down to 50 km depth. On the other hand, the slab and mantle may need to decouple down to 80 km depth in this region to explain the observed low surface heatflow in the forearc. These observations may show that the slab and mantle are decoupled by non-brittle deformation from 50 down to 80 km depth. Based on this idea, I set a thin low viscosity layer (LVL) just above the subducting slab within the depth range.

3D finite element models are used to investigate the effects of LVL on the thermal structure. The model domain is divided into four parts: the crust, a small portion of the mantle wedge tip which is rigid, the viscous mantle wedge, and the subducting slab. The model is exactly the same in the along-arc direction. The flow is computed only in the viscous mantle wedge, whereas temperature is computed for the whole model domain. When the viscosity in LVL is relatively high, the slab and mantle are effectively decoupled but there is no along-arc variation in the flow and thermal structure. I find, however, that when the viscosity in LVL is sufficiently low the corner flow starts to show 3D features and it leads to the along-arc temperature variation. It is well known that the distribution of Quaternary volcanoes in the northeast Japan forms clusters whose characteristic wavelength is around 80 km. The model proposed here successfully explains the observed wavelength based on an assumption which is simpler and better constrained by observations compared to previous models.

A previous study has proposed that slab and mantle are decoupled down to a common depth (70-80 km) for most subduction zones. It means that the LVL considered in this study could exist for other subduction zones as well. Therefore, the new model proposed here can be applied to a wide range of regions.

Keywords: subduction zone, plate interface, low viscosity layer, distribution of volcanoes, slab-mantle coupling

S波伝搬経路解析が制約する含水ウェッジマンントルの分布とダイナミクス S-wave ray path analysis constrains the distribution and dynamics of the hydrated mantle wedge

永治 方敬^{1*}; ウォリス サイモン¹; ワーカー アンドリュウ³; ウーキー ジェームズ²;
ケンダル マイケル²

NAGAYA, Takayoshi^{1*}; WALLIS, Simon¹; WALKER, Andrew³; WOOKEY, James²; KENDALL, Michael²

¹ 名古屋大学 環境学研究科 地球環境科学専攻, ² ブリストル大学 理学部 地球科学科, ³ リーズ大学 環境学部 地球環境学科
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University, ²School of Earth Sciences, University of Bristol, ³School of Earth and Environment, University of Leeds

H₂Oを含む沈み込み流体はプレート収束域におけるダイナミクスと地球表層から深部への物質循環を理解する上で重要である。マンントルウェッジの水に富む流体は主にプレート運動によって沈み込んだアンチゴライト由来である。アンチゴライトは沈み込むスラブの脱水が予想される、比較的暖かい沈み込み帯に分布すると一般的に考えられている。地震波観測はアンチゴライトが多い領域やその含有量を決定するのによく用いられる(アンチゴライト単結晶では、低 V_p = ~ 6.5 – 6.7 km/s, 低 V_s = ~ 3.4 – 3.7 km/s かつ高 V_p/V_s = ~ 1.8 – 1.9)。

しかしながら、アンチゴライトは強い地震波異方性 ($\Delta V_p \leq 46\%$ と $\Delta V_s \leq 66\%$) を示すため、アンチゴライトの地震波速度や V_p/V_s 比が、地震波の伝搬経路によっては非常に高いバラツキを示す可能性がある (V_p = 5.6 – 8.9 km/s, V_s = 2.5 – 5.1 km/s そして V_p/V_s = 1.2 – 3.4)。これは観測した地震波速度の平均値を用いた解析では必ずしも含アンチゴライト蛇紋岩とかんらん石に富む dry マンントルを区別できないことを意味する。そのためアンチゴライト、つまり水の分布と含有量の決定は極めて難しいと考えられる。

本研究では、長い delay time (~ 1 s) を伴う海溝に平行な S 波異方性が観測されている琉球弧をモデル地域とし、観測された地震波経路を用いてウェッジマンントル内で生じることが予想される S 波スプリッティングの理論計算を行った。地震波観測地点に対して前弧側から入射する地震波と背弧側から入射する地震波の双方の S 波スプリッティングの観測結果を説明するためには、ウェッジマンントル内の最深部でスラブに平行に配列するアンチゴライトがその上方のウェッジマンントル中深部では鉛直方向に配列しなければならない、またそれらの領域のアンチゴライトの含有率は 65% 以上であることが明らかになった。地震波伝搬経路と変形したアンチゴライトを含むマンントルの地震波異方性を考慮した、この解析方法はアンチゴライトの分布、含有率、そして配列方向を制約することができる。琉球弧におけるアンチゴライトの配列方向の変化は、10¹⁹ Pa s 以下の長期体積粘性率の含水前弧マンントルにおける対流の存在が考えられる。

他地域の S 波スプリッティングの観測結果を解析した結果、琉球弧の例と同様ウェッジマンントル内に、長い delay time を伴う海溝に平行な S 波異方性が、スラブの年代に関係なく、冷たい沈み込み帯からも観測されていることが明らかになった (e.g. 伊豆-ボニンとトンガ-カーマディック沈み込み帯)。この結果は、スラブの脱水に関係した、大規模な蛇紋岩化と含水マンントル流動がこれまでの想定より広く起こっている可能性を示唆しており、冷たい沈み込み帯の前弧マンントルは dry であるという一般に受け入れられている認識を見直す必要があるかもしれない。

しかしながら、ウェッジマンントル内での delay time が短い沈み込み帯もまたウェッジマンントルの温度構造に関係なく報告されている。強い S 波スプリッティングを示さない、いくつかの沈み込み帯とその温度構造の不整合には、ウェッジマンントル底部の含水層の構造浸食と関係があるかもしれない。もう一つの要因としてはスラブの沈み込み角度が関係しているかもしれない。長い delay time を伴う沈み込み帯では比較的、高角の沈み込み角度 (~ 40 – 60°) を持っており (琉球, アリューシャン, 伊豆-ボニンそしてトンガ-カーマディック沈み込み帯)、低角の沈み込み角度を持つ沈み込み帯では、強い S 波異方性は観測されていない。高角の沈み込み帯は、対流に必要なウェッジマンントル内でのスラブに平行な面構造とほぼ鉛直な面構造の両領域を発達させる空間を提供している、重要な幾何学的形状かもしれない。

キーワード: S 波スプリッティング, アンチゴライト, 含水ウェッジマンントル, 地震波異方性, 地震波伝播経路, マンントル対流
Keywords: Shear waves splitting, Antigorite, Hydrated mantle wedge, Seismic anisotropy, Seismic ray path, Mantle convection

S波の偏向異方性解析から求められた1891年濃尾地震断層域におけるマンツルの異方性 The mantle anisotropy obtained from shear-wave splitting in the region of 1891 Nobi earthquake

飯高 隆^{1*}; 平松 良浩²; 濃尾地震断層域 合同地震観測グループ¹
IIDAKA, Takashi^{1*}; HIRAMATSU, Yoshihiro²;
THE RESEARCH GROUP FOR THE JOINT SEISMIC, Observations at the nobi area¹

¹ 東京大学・地震研究所, ² 金沢大学

¹Earthquake. Res. Inst., University of Tokyo, ²Kanazawa University

1) はじめに

内陸地震の発生は、日本列島域周囲の海洋プレートの沈み込みなど、プレート運動に伴って生ずる歪が島弧地殻内部に蓄積し、それに伴い特定の断層への応力集中がおこり破壊に至るといふ、一連のプロセスから成ると考えられる。その物理メカニズムを理解するためには、島弧地殻内の不均質構造を解明するとともに、プレート境界から加わる歪・応力がその不均質構造や内部変形によって局在化していく過程を明らかにしなければならない。2009年から5ヶ年計画で実施された“地震及び火山噴火予知のための観測研究計画”においては、全国の大学・関係機関と共同で、1891年に発生した国内最大規模の内陸地震である濃尾地震の断層域を研究対象とした、地震観測、地球電磁気観測、GPS観測等による地球物理的総合観測が実施された。この断層は、新潟-神戸歪集中帯の中に位置しており、断層への歪・応力集中の様子を調べるのに適した断層である。

これまでにおこなってきた跡津川断層などにおける合同観測の研究から、内陸地震の発生に関しては地表近傍の構造だけでなく、下部地殻の構造や地殻の下に沈み込んでいる海洋プレートから供給される流体の影響が大きいことがわかってきた。濃尾断層域でおこなっている総合観測の一環である自然地震のテレメータ観測のデータを用いた広域トモグラフィ解析によっても、濃尾断層域下のフィリピン海プレートから上部地殻へとつながる低速度域が検出された。そのため、地殻構造のみならず、マンツルの構造に関しても理解する必要があるものと思われる。そこで本研究では、この領域においてS波偏向異方性解析をおこなった。

2) データ

震源は、2009年から2014年までの深さ200km以深の稍深発地震・深発地震を用いた。観測点は、本計画で設置した臨時観測網のデータに加え、防災科研のHi-netのデータを使用させていただいた。

3) 結果

濃尾地震断層域でのS波偏向異方性の解析結果は、偏向方向の空間分布において、特徴的な結果が得られた。濃尾地震断層域の北東側では、NE-SW方向の偏向異方性が観測された。また、今回の観測領域の東側の観測点では、E-W方向の偏向異方性が観測された。しかしながら、濃尾地震断層域においては、NW-SE方向の偏向異方性が観測され、周囲の偏向方向と大きく異なることがわかった。マンツルの異方性の原因を考える上で2つの原因が考えられる。ひとつは、マンツルの対流によるオリビンの選択的配向であり、もう一つは流体やマグマなどの存在による不均質構造によるものである。

これまでのS波偏向異方性の研究でも、今回の観測領域の東側の観測点では、E-W方向の偏向方向が観測されている(e.g., Ando et al., 1983)。この結果は、沈み込む太平洋プレートによるマンツルウェッジのマンツル対流の方向と一致し、対流によるオリビンの選択的配向と考えると説明がつく。また、観測領域の北東側の観測点においては、フィリピン海プレートが北東方向に沈み込んでおり、沈み込むフィリピン海プレートの対流によるマンツル内のオリビンの選択的配向と考えられる。このことは、Iidaka et al. (2009)によって示されている。しかしながら、濃尾地震断層域の北西-南東の偏向方向はこれまでに示されてきた結果と大きく異なる。

この地域は、沈み込むフィリピン海プレートから濃尾地震震源域に向かって、低速度や低比抵抗域が存在しマンツル内の流体の存在を示唆する結果も得られている。これらのことをもとに、この領域での異方性の原因を明らかにしていく。

キーワード: マンツル, 偏向異方性, 濃尾地震

Keywords: mantle, Splitting, Nobi earthquake

浅部ウェッジマンントルの蛇紋岩の再考ーブルース石の重要性ー Reconsideration of serpentinite in the shallow wedge mantle -Importance of brucite-

河原 弘和^{1*}; 遠藤 俊祐²; ウォリス サイモン¹; 永治 方敬¹; 森 宏²; 山本 鋼志¹; 浅原 良浩¹
KAWAHARA, Hirokazu^{1*}; ENDO, Shunsuke²; WALLIS, Simon¹; NAGAYA, Takayoshi¹; MORI, Hiroshi²;
YAMAMOTO, Koshi¹; ASAHARA, Yoshihiro¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 産業技術総合研究所

¹Earth & Planetary Sciences, Nagoya University, ²National Institution of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

ウェッジマンントル内の加水・脱水反応に伴う流体の挙動は、沈み込み帯の様々な現象において重要な役割を果たしている。かんらん岩 + H₂O 系における、重要な加水・脱水反応として、次のものが上げられる。

antigorite (Atg) = olivine (Ol) + orthopyroxene (Opx) + H₂O (1)

Atg + brucite (Brc) = Ol + H₂O (2)

Atg の単独脱水分解反応プロセス (反応 1) の天然の例は詳しく研究されている (e.g. Padron-Navarta et al., 2011) が、Atg + Brc の脱水反応プロセス (反応 2) に着目した先行研究は非常に少ない。より低温で起こる Brc の形成・分解反応 (反応 2) は、浅部ウェッジマンントル内での H₂O 収支を考える上で重要である。また、Ol が H₂O 流体と反応し分解するとき、流体の SiO₂ activity が高いと Brc は生成されず、次の反応により Atg のみが形成される。

Ol + SiO₂ aq + H₂O = Atg (3)

つまり Brc は、岩体中に SiO₂ に富む流体がどの程度浸透したかを推定するための指標となり得る。加えて、Brc は Atg や Ol と比べて変形しやすい性質があるので、剪断帯を発達させるなどウェッジマンントルの物性にも影響を与えることが予想される。したがって、ウェッジマンントル内で起きる様々な現象を検討する上で、蛇紋岩に含まれる Brc の存在量、組織などの情報は不可欠である。しかし、SiO₂ に富むスラブ流体や初生的な Opx 周囲の high SiO₂ activity によって Brc の生成が阻害されていると考えられてきた (e.g. O'Hanley, 1996) ため、浅部ウェッジマンントルにおける Brc の重要性はこれまで十分認識されていなかった。

沈み込み型変成帯である三波川帯にはウェッジマンントル起源の岩体が数多く点在している (Aoya et al., 2013)。本研究ではそれらのうち、低変成度部 (深度 30 km 相当) に位置する数 km スケールの白髪岩体に注目した。同岩体はダナイト起源の変成蛇紋岩体で、反応 2 で形成された変成 Ol を含む (Kunugiza, 1980)。本研究では、同岩体の野外調査による地質図作成と計 111 試料の薄片観察を行った。その結果、岩体広範に Brc が分布することがわかった。ただし、岩体東部境界から約 100 m の幅を持つ領域は Atg のみからなる蛇紋岩が分布している。また、Brc は組織観察および組成累帯構造により、変成ピーク (Ol + Atg または Ol + Brc 安定領域) 以前から存在するもの (Brc I) と、後退変成時のもの (Brc II) に識別できる。Brc I は変成 Ol の包有物または粗粒結晶からなる脈として産し、Atg とは変成 Ol によって隔てられている。Brc II は Atg と直接接し、脈として産する。Brc I は Mgt 離溶ラメラを大量に含む褐色のコアと無色のリムからなる累帯構造を示す。離溶前の Brc 組成を復元すると、Brc I はコアからリムにかけて Mg# (= Mg / (Mg + Fe)) が上昇するのに対し、Brc II では減少する。また変成 Ol もコアからリムに向かって Mg#が増加する累帯構造を示す。Fe を含む系では反応 2 は連続反応となり、観察される Brc I と変成 Ol の組成変化は温度上昇期に、Brc II の組成変化は温度下降期に形成されたことを示す。以上の組織観察、鉱物組成変化と全岩組成分析をもとに Fe を含む系でシェードセクション解析を行い、変成ピーク以前の Brc の存在量を見積もったところ、Si metasomatism の顕著でないところでは最大 20 vol% 程度となった。このような著量の Brc が浅部ウェッジマンントルに存在するのであれば、その物性に大きな影響を与えると考えてよいだろう。

引用文献: Aoya, M. et al. (2013) *Geology*, 41, 451-454; Kunugiza, K. (1980) *J. Jpn. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol.*, 75, 14-20; O'Hanley, D. S. (1996) Oxford University Press, New York, 277pp; Padron-Navarta, J. A. et al. (2011) *J. Petrol.*, 52, 2047-2078.

キーワード: ブルース石, アンチゴライト, ウェッジマンントル, 蛇紋岩, 沈み込み帯

Keywords: brucite, antigorite, wedge mantle, serpentinite, subduction zone

沈み込み帯における蛇紋岩の脆性-延性転移：間隙水圧の役割 Brittle-ductile transition of serpentinites in subduction zones: Roles of pore fluid pressure

清水 以知子^{1*}
SHIMIZU, Ichiko^{1*}

¹ 東京大学地球惑星科学専攻

¹ Faculty of Earth and Planetary Science, University of Tokyo

地球物理学的観測から、マントルウェッジや沈み込むスラブは部分的に蛇紋岩化していると考えられている。スロー地震や微動の起きている西南日本の沈み込みプレート境界上には低速度・高 V_p/V_s 異常帯が観測されているが、東北日本の2011年東北沖地震(M9)の震源域ではそのような速度異常は見られない(Shimizu, 2014)。これらの事実はプレート境界の地震発生過程が蛇紋岩や高間隙水圧流体の存在に強く影響を受けていることを示唆している。中深発地震と蛇紋岩の脱水反応の関係についても、高温高压変形実験や沈み込み帯の温度構造についての研究にもとづいて議論されてきた。沈み込むスラブの二重震発面において脱水反応が力学的不安定性を誘起するメカニズムについてはいくつかの異なるモデルが提案されている。本講演では高温高压下の蛇紋岩のレオロジー特性や摩擦物性について概観するとともに、これまで我々の行ってきた変形実験の結果をいくつか紹介し、間隙水圧が蛇紋岩の脆性-延性遷移および沈み込み帯の地震発生過程に及ぼす影響を議論する。

引用文献

Shimizu, I., 2014, Rheological profile across the NE Japan interplate megathrust in the source region of the 2011 Mw9.0 Tohoku-oki earthquake, *Earth, Planets and Space*, 66:73, doi:10.1186/1880-5981-66-73
(<http://www.earth-planets-space.com/content/66/1/73>)

謝辞：本講演で紹介するアンチゴライト蛇紋岩についての実験・解析結果は 道林克禎、渡邊悠太、高橋美紀、上原真一、中谷正生、勝田 長貴、村上 拓馬の各氏との共同研究で得られた。

キーワード: 蛇紋岩, 間隙水圧, レオロジー, 脆性-延性転移, 地震発生過程, 高温高压変形実験

Keywords: serpentinite, pore pressure, rheology, brittle-ductile transition, seismogenic zone, high-PT deformation experiment

海洋スラブ不規則地形による条痕作用および沈み込み帯の分類 Streak process due to irregular slab topography and the classification of subduction zones

江口 孝雄^{1*}
EGUCHI, Takao^{1*}

¹ 防衛大学, 地球海洋学科

¹ Dept. Earth and Ocean Sci., N.D.A.

海山（または海山列）やトランスフォーム断層化石の断裂帯（F.Z.）等のような短波長の不規則地形を伴った海洋リソスフェアの海溝系への接近と沈み込みは、沈み込み帯での巨大地震の発生様式に影響する可能性がある（例えば、江口, 1979, 1996; Hilde, 1983; Suzan, 2010）。ここで言う「条痕」とは、プレート境界面での「摩擦抵抗」の「強化」をもたらす、海洋リソスフェア上層部の不規則地形（特に、凸地形）によるせん断変形等、および条痕作用の結果としての様々な規模の地震活動を指す。この凸地形の原因は海山や断裂帯だけでない。アウターライズ付近からの海洋リソスフェア折れ曲がりによるリソスフェア表層部の開口割れ目形成による、海溝系とほぼ平行な凹凸地形も条痕作用に関与する（例えば、Hilde, 1983）。

そのような海洋リソスフェア表層構造の短波長異常によるプレート境界面での条痕作用に着目して、「条痕テクトニクス」（streak tectonics, または abrasion tectonics）なる表現が提案されている（例えば、江口, 1996）。沈み込み帯での条痕作用と大地震の発生様式の関係については、類似研究が多い（例えば、Ranero 他, 2008）。

これらの条痕作用のため、比較的高温下では、焼き付き状態を含めた弾塑性モデルも可能かもしれないが、前弧先端付近は相対的に低温で、上盤リソスフェアの非弾性的な並進と回転を伴うブロック形成などの大規模変形が進行する。

また、海溝軸から前弧域にかけては、条痕作用により海洋リソスフェア最上部の未固結／固結堆積層と海洋地殻が沈み込み進行方向（?プレート間相対運動方向）での「後ずさり変形」が認められよう。

ところで、プレート境界面では、沈み込む側の海洋プレート上層部に含まれていた液体（水など）の一部がプレート境界面での摩擦抵抗を「弱化」する（例えば、von Huene 他, 2004）。プレート境界面とその近傍域での液体は、密度差による上下方向への移動のみならず、その通路や溜まり箇所での周辺岩石との化学反応を経た力学的強度の変化を含め、プレート境界面での摩擦抵抗を低減する場合が多いだろう。

何れにしても、プレート境界面での条痕と液体は、それぞれ摩擦抵抗の強化と弱化に関与するので、互いに相反する機能を果たす。しかしながら、少なくとも沈み込み帯での条痕と流体の作用に関する物理学の詳細は未解明である（例えば、Suzan, 2010）。

付加帯のみに着目した沈み込み帯分類（例えば、Bilek, 2010）を参考にすると、条痕作用が海溝セグメント全体で進行する沈み込み帯、つまり長波長の条痕作用のある沈み込み帯では付加帯は浸食を受ける、あるいは付加帯が存在しないような「浸食型沈み込み帯」（erosional subduction zone）、そして短波長の凸地形に関係した条痕作用があろうとも海溝セグメント全体の長波長成分としては付加帯が成長するような「付加帯成長型沈み込み帯」（accreting subduction zone）の二種類が対極となる。しかしながら、この付加帯重点主義の沈み込み帯分類モデルは、沈み込み帯の幾つかの主要な特徴を説明できるとは限らない。

今回は、2011年東北地方太平洋沖地震などの沈み込み帯巨大地震の前後におけるプレート境界面変形様式にも着目して、条痕作用を再考察する。また、付加帯の有無とは別の沈み込み帯パラメータに着目した沈み込み帯分類学も再検討する。

キーワード: 条痕, 沈み込み帯, 海洋スラブ, 凸地形

Keywords: streak, subduction zone, oceanic slab, convex topography

Split of the Philippine Sea plate and non-volcanic seismic swarm in Wakayama district, SW Japan

Split of the Philippine Sea plate and non-volcanic seismic swarm in Wakayama district, SW Japan

加藤 愛太郎^{1*}; 岩崎 貴哉²
KATO, Aitaro^{1*}; IWASAKI, Takaya²

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 東京大学地震研究所

¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

To understand the driving force of an intensive non-volcanic seismic swarm in Wakayama district of the Kii Peninsula, Japan, we used a series of dense seismic linear arrays to measure fine-scale variations of seismic structures beneath the seismic swarm area. Kato et al. (2014, EPS) revealed that a low-velocity anomaly confined to just beneath the seismic swarm area is clearly imaged, which correlates spatially with an uplifted surface area and a highly conductive and strong attenuative body, implying the presence of fluids therein. In addition, they suggested that dehydration conversion from oceanic basalt to eclogite within the subducting Philippine Sea Plate takes place at depths greater than 50 km. Fluids released from the subducting oceanic crust could cause serpentinization of the mantle wedge.

In 2013, we conducted a new seismic experiment (deployment of 40 portable seismic stations) to investigate the structure between Wakayama district and Awaji Island at the western extension of the seismic swarm area, where the Philippine Sea Plate has been proposed to split (Ide et al., 2010). From a new receiver function image with high spatial resolution, we found that the dehydrated oceanic crust (high-velocity without intra-slab seismicity) steeply gets to be shallow toward offshore from Wakayama district and close to the bottom of the overlying crust beneath Awaji Island. Interestingly, we found out a split or gap of the oceanic crust beneath the center of Awaji Island. However, the gap width appears to be significantly smaller than one proposed by Ide et al. (2010). Due to this split of the oceanic crust, hot mantle is easily leaking into the mantle wedge beneath Wakayama district, resulting to warm thermal condition. These anomalous structures of the oceanic crust and mantle wedge may locally promotes dehydration reactions of the subducting oceanic crust, leading to local increase in fluid flux to the shallow seismic swarm area.

間隙流体圧場の時間発展解析に基づく地震発生メカニズムの考察 Insight into earthquake generation from evolution of pore fluid pressures in a stimulated geothermal reservoir

寺川 寿子^{1*}; Deichmann Nicholas²
TERAKAWA, Toshiko^{1*}; DEICHMANN, Nicholas²

¹ 名古屋大学・環境学研究科, ² チューリッヒ工科大学

¹ Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ² ETH Zurich

We developed an inversion method to estimate the evolution of pore fluid pressure fields from earthquake focal mechanism solutions. The basic assumption in this approach is that seismic slip occurs in the direction of the resolved shear traction acting on pre-existing faults, controlled by the Coulomb failure criterion with a constant friction coefficient. Application of the method to induced seismicity in the Basel enhanced geothermal system (EGS) in Switzerland shows the evolution of pore fluid pressure in response to fluid injection experiments. For a few days following the initiation of the fluid injection, overpressurized fluids were concentrated around the injection well and then anisotropically propagated within the reservoir until the well was shut in and bled off. At four representative locations the pore fluid pressure increased together with the wellhead pressure for the first 375 days, and reached a ceiling by the time of shutting in. The peak pressure in the reservoir was less than the minimum principal stress at each depth, indicating that hydraulic fracturing did not occur during the stimulation. This suggests that seismic events may play an important role in promoting the development of permeable channels, particularly southeast of the borehole where the largest seismic event (Mw 2.95) occurred. The induced events were primarily controlled by a decrease in fault strength due to an increase in pore fluid pressures. However, the largest event (the mainshock) was not directly related to a drastic decrease in fault strength at the hypocenter. The precise relative location of the hypocenters indicated that substantial stress loading by the preshocks on the same fault plane promoted the dynamic rupture of the mainshock.

キーワード: 間隙流体圧, 応力, 地震, メカニズム解, インバージョン解析, 注水実験

Keywords: pore fluid pressure, stress, earthquake, focal mechanism, inversion theory, fluid injection

地震波走時トモグラフィから推定された紀伊半島下のスラブ起源流体の特徴 Characteristics of slab-derived fluids beneath Kii Peninsula inferred from seismic travel-time tomography

澁谷 拓郎^{1*}; 平原 和朗²

SHIBUTANI, Takuo^{1*}; HIRAHARA, Kazuro²

¹ 京大・防災研, ² 京大・理

¹DPRI, Kyoto Univ, ²Science, Kyoto Univ

1. はじめに

四国西部から東海中部に至る地域では、沈み込むフィリピン海プレートの深さ 30~40 km において、深部低周波イベントが帯状に分布する (Obara, 2002)。近畿中部から紀伊半島にかけての地域では、前弧側にもかかわらず、温泉ガスの ³He/⁴He 比が高く (Sano and Wakita, 1985)、炭酸ガスと塩分に富んだ有馬型温泉水が湧出している (Kazahaya et al., 2011)。これらの事象は、海洋地殻とともに沈み込んだ「水」が、深さ 30~40km で脱水し、深部低周波イベントの発生に関与するとともに、地下浅部まで移動するというプロセスを示唆している。

2. レシーバ関数解析

我々は、紀伊半島下に沈み込むフィリピン海プレートとその周辺の構造を推定するため、2004 年からアレイ地震観測を行ってきた。約 5 km 間隔で線状に配置した地震計で記録された遠地地震のレシーバ関数解析により S 波速度不連続面のイメージングを行った。フィリピン海スラブ傾斜方向の 4 測線とこれらにほぼ直交する 2 測線について作成したレシーバ関数イメージから大陸モホ面、スラブ上面および海洋モホ面を読み取り、それらの 3 次元的形状を推定した。この解析で得られた新たな知見は、大陸モホ面が沈み込むフィリピン海スラブの上をせり上がるように南東方向に傾き上がっていることである。

3. 地震波走時トモグラフィ

本研究のトモグラフィでは FMTOMO (Rawlinson et al., 2006) を改良したプログラムを用いた。波線追跡と理論走時の計算には波面法に基づく robust な手法 (de Kool et al., 2006) が使われている。速度構造モデルに、レシーバ関数解析により推定した大陸モホ面、スラブ上面および海洋モホ面の 3 次元的形状を組み込んだ。さらに、定常観測点に加えて、アレイを構成する臨時観測点の読み取り値も使用した。臨時観測点の稠密な配置により、高い分解能が得られた。

Figure 1 に東経 135.7° に沿って潮岬から若狭湾に至る南北断面での P 波速度 (Vp) と S 波速度 (Vs) およびそれらの比 (Vp/Vs) の不均質構造を示す。沈み込むスラブの深さ 30~40 km に見られる深部低周波地震 (赤丸) の発生域が 5 %程度の低速度域になっていることがわかる。上で述べたように、深部低周波地震が発生するスラブ境界面の深さ 30~40 km では、含水鉱物の脱水により「水」が放出される。この影響で低速度領域が形成されると考えられる。

さらに和歌山県北部 (北緯 34.0~34.5°) の下部地殻に 10 %を超えるような強い低速度領域が大きく広がっている。この直上の上部地殻 (深さ 5~10 km) では微小地震活動が非常に活発であることが知られている。下部地殻の低速度領域から流体が上昇し、脆性領域である上部地殻において、既存断層面での間隙水圧を上げることにより、地震が発生しやすくなるというメカニズムが考えられる。

この低速度領域では、Vp も Vs も低速度異常を示すが、Vp の方がその程度が大きいので Vp/Vs 比は 1.6 程度と小さい値となる。これに対し、深部低周波地震発生域周辺の低速度領域では、Vp/Vs 比は 1.75~1.8 程度の大きな値となっている。この 2 つの低速度領域の Vp/Vs 比に見られる違いは、流体で満たされた間隙のアスペクト比の違いで説明できるかもしれない (Takei, 2002)。あるいは、和歌山県北部の下部地殻の低速度領域の小さい Vp/Vs 比は、シリカに飽和した流体の存在を示唆するものかもしれない (Manning, 1996)。

防災科学技術研究所, 気象庁, 東京大学地震研究所, 名古屋大学, 京都大学防災研究所の定常観測点の波形データを利用した。

キーワード: トモグラフィ, レシーバ関数, フィリピン海スラブ, 紀伊半島, スラブ起源流体, 南海トラフ巨大地震

Keywords: tomography, receiver function, Philippine Sea slab, Kii Peninsula, slab-derived fluids, Nankai Trough megaquake

SCG60-11

会場:201A

時間:5月25日 15:00-15:15

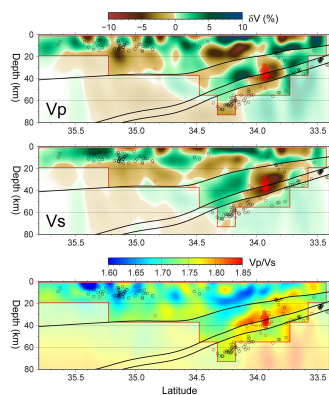


Figure 1 Resulting heterogeneous velocity field in the north-south cross-section along E135.7° for P wave velocity (Vp, uppermost), S wave velocity (Vs, middle) and Vp/Vs ratio (lowermost). The red and black circles are deep low frequency events and ordinary earthquakes, respectively. The three thick black lines are the continental Moho, the slab top and the oceanic Moho from shallow to deep.

沈み込み帯の断層における地震時の流体岩石相互作用：断層岩の化学分析からのアプローチ

Coseismic fluid-rock interactions in subduction-zone faults: Constraints from geochemical analyses of fault rocks

石川 剛志^{1*}

ISHIKAWA, Tsuyoshi^{1*}

¹ 海洋研究開発機構高知コア研究所

¹JAMSTEC Kochi

断層岩の金属微量元素・同位体分析は、地震時の断層における流体岩石相互作用の理解に有効であることが最近明らかとなっていった。原岩と流体の組成が既知であれば、断層岩の微量元素・同位体組成の変化と、固相／流体間における元素の分配係数に基づき、地震時の流体岩石相互作用の有無および温度を見積もることができる。例えば、1999年台湾集集地震で活動したチェルンブ断層や、房総付加体中の化石断層においては、断層すべり帯に明瞭な微量元素組成の変化(Li, Rb, Csの減少, Srの増加等)が認められ、地震時に350℃以上の高温流体岩石相互作用が生じたことが明らかとなっている(Ishikawa et al., 2008; Hamada et al., 2011)。また、四万十付加体久礼地域の化石断層では、地震時に摩擦溶融によるシュードタキライトの生成に先行して350℃以上の流体岩石相互作用が生じていたことが明らかとなった(Honda et al., 2011)。地震時の断層すべり帯の摩擦加熱は長くても数10秒のタイムスケールであるため、地震時の流体岩石相互作用の痕跡が断層岩に記録されるのはそれ自体驚くべきことであるが、実際に湿条件での高速摩擦実験により、300℃程度でも短時間に断層岩の微量元素組成に変化が生じることが明らかとなってきている(Tanikawa et al., submitted)。これは、地震時の断層すべり帯では動的破壊による超微細粒子形成で、流体岩石相互作用に与する非常に大きな表面積が確保され続けることによると考えられる。

このような断層岩の地球化学的解析は、熱圧化(thermal pressurization)等、断層すべりのメカニズムの理解に有効であるが、一方で沈み込み帯の断層を流れる流体の組成に制約を与えることも可能である。中央構造線安康地域の断層帯では、断層すべり帯のみに明瞭なLiの増加とSr同位体比の上昇が認められた。中央構造線沿いに湧出する高Li/Naの有馬型冷湧水の組成を用いてモデル計算を行うと、断層岩の組成的特徴は最高250℃の流体岩石相互作用でよく説明される(Ishikawa et al., 2014)。このことは、地震時の断層すべりが深部から上昇してきた高Li/Naの流体の存在下で起こったことを示している。また、かつての地震発生帯深度におけるプレート境界断層と見なされるコディアック付加体の断層帯では、すべり帯の岩石に、350℃以上の流体岩石相互作用を特徴づけるRb, Csの減少, Srの増加とともに、チェルンブ・房総(深度1~2km程度)では見られないLiの顕著な増加が認められた(Yamaguchi et al., 2014)。これも、高Liの流体の存在下での断層すべりを反映している可能性が高い。

このような地球化学的手法の展望と今後の課題についても紹介する。

キーワード: 流体岩石相互作用, 断層岩, 地震, 地球化学, 沈み込み帯

Keywords: fluid-rock interactions, fault rocks, earthquake, geochemistry, subduction zones

粘土鉱物の膨潤性が浸透率に与える影響と異常間隙水圧の発生条件 Effect of swelling clay minerals on permeability and occurrence condition of abnormal pore pressure

加来 奈文美^{1*}; 片山 郁夫¹

KAKU, Nahomi^{1*}; KATAYAMA, Ikuo¹

¹ 広島大学理学研究科地球惑星システム学専攻

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University

[はじめに]

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震が発生した。これは三陸沖を震源とする巨大地震であり、陸側の北陸プレート先端が大きく滑りあがったことがこの地震が巨大化した直接の原因であるがこれはプレート先端が大きく滑ることはないという従来の説を覆す結果であった。断層サンプルの78%に粘土鉱物のひとつであるスメクタイトが存在していること、地震発生時に局所的な異常間隙圧があったことから、スメクタイトがこの地震発生に関与していると考えられる。本研究では粘土鉱物の膨潤によって浸透率が低下することで異常間隙水圧が発生したとの仮説を立て、粘土鉱物の透水実験によってその仮説を検証し、プレート境界の地震発生に関する議論を行った。

[実験手法]

浸透率測定実験は水と窒素ガスを間隙流体として定差圧流量法により行った。定差圧流量法とは試料両端にかかる間隙圧差を一定にした状態で下流から流れる流量をもとに浸透率を求める方法である。測定は間隙流体によって使い分け、ガスのときは容器内変形透水試験機、水のときはシリンジポンプを用い、封圧10MPa、間隙圧2.5MPaの条件で行った。試料には二種類の粘土鉱物(イライト、モンモリロナイト)を用い、初めにガスで、次に水で測定を行いそれらの浸透率結果の比較を行った。

[実験結果]

測定結果として、水での浸透率はガスで測定した値よりも低く、その低下はイライトで1.5桁、モンモリロナイトで4.4桁ほどであった。

[考察]

測定結果に見られるガスから水への浸透率の低下は粘土鉱物が吸水・膨張し粒子間のすきまを押しつぶすことで流路が減少し、流量が低下したためだと考えられる。モンモリロナイトは浸透率の低下幅が大きいこと水による影響が強く、地下に局所的に存在するとき周囲よりも透水性が低いことが考えられる。また、この結果を異常間隙圧発生条件(Neuzil, 1995) ($|\Gamma_D| > 1$ のとき異常間隙水圧が発生し、 Γ は水の供給速度を表す) に適用すると、イライトは条件を満たさず異常間隙水圧は起こらないが、一方モンモリロナイトは条件を満たすため、沈み込み帯において局所的に存在するとき、異常間隙圧が発生する可能性が非常に高いと言える。

シリカ溶解・析出によるき裂閉塞と透水性変化 Fracture sealing and permeability change induced by silica dissolution and precipitation

岡本 敦^{1*}; 山田 稜¹; 田中 寛人¹; 最首 花恵²; 土屋 範芳¹
OKAMOTO, Atsushi^{1*}; YAMADA, Ryo¹; TANAKA, Hiroto¹; SAISHU, Hanae²; TSUCHIYA, Noriyoshi¹

¹ 東北大学, ² 産業技術総合研究所

¹Tohoku University, ²National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Solubility of silica significantly varies with depth within the crust; therefore, dissolution and precipitation of silica minerals control the hydrological properties of the crust (Saishu et al., 2014), and may affect earthquake cycles (Audet and Burgmann, 2014). However, permeability is usually measured as a static property of a rock, and it is unclear how porosity structure of a fracture and permeability changes during dissolution or precipitation of minerals (i.e., silica); especially the effects of saturation index and effective confining pressure. In this study we conducted two-types of the hydrothermal experiments; (1) silica precipitation in porous media and (2) dissolution of granite with a fracture. For both experiments, we used novel flow-through reactors with tube-in-tube vessel, which make possible, after the experiments, to analyze porosity structure by micro X-ray CT (revolution is 10 micron/boxel).

The silica precipitation experiments were conducted under the supercritical (420 degreeC, 30 MPa) and vapor conditions (380 degreeC, 20 MPa). The inner tube of the precipitation vessel (4 mm diameter, ~200 mm long) was filled with alumina balls (1 mm diameter). The input solution was made by dissolution of granite + quartz sands under liquid conditions, and thus, high supersaturated solutions were brought into the precipitation vessel. In both conditions, nucleation of silica minerals occurred but showed the contrasting porosity patterns. In the supercritical condition, amorphous silica was surrounded the surfaces of alumina balls and walls, and discrete quartz grains and cristobalite formed within the amorphous silica. In contrast, in the vapor condition, fine-grained quartz crystals were nucleated, and settled on the bottom. As the results, the developed porosity in the supercritical fluids was more tortuous than in the vapor. At the end of the experiments under the supercritical condition, the oscillation of upstream fluid pressure (and thus permeability) was observed; such an oscillation was probably caused by repeated sealing and break of the bottleneck of the pore network.

In the granite dissolution experiments, the granite core (Aji granite, 8 mm diameter, 45 mm long) with a tensile fracture was input into the inner SUS jacket with 0.1 mm thick. The P-T condition for the dissolution was 350 degreeC and 25 MPa, under the effective confining pressure of 0 ~ 15 MPa. The X-ray CT images revealed that (1) quartz was preferentially dissolved to form the convex surfaces, whereas that (2) mean fracture aperture decreased with time. The decrease in the mean aperture was consistent with the decrease in permeability from 10^{-13} to 10^{-15} m² during experiments. According to the solution chemistries, feldspars (Pl + Kfs) dissolution also occurred, which volume was about one-third of that of quartz. The dissolution of feldspars at the contact regions (pressure solution) is critical for the permeability decrease in the granite fracture under confining pressure.

References

- Saishu, H., Okamoto, A., Tsuchiya, N., 2014. Terra Nova, 26, 253-259.
Audet, P., Burgmann, R., 2014. Nature, 510, 389.

キーワード: シリカ, 花崗岩, 溶解・析出, 間隙構造, X線CT, 透水性

Keywords: silica, granite, dissolution/precipitation, porosity structure, X-ray CT, permeability

前弧マントルにおけるかんらん岩の加水反応速度に関する実験的研究 Experimental study on the hydration rate of peridotites at forearc mantle wedge conditions

中谷 貴之^{1*}; 中村 美千彦¹
NAKATANI, Takayuki^{1*}; NAKAMURA, Michihiko¹

¹ 東北大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, TOHOKU Univ.

Recent ground water studies in southwestern Japan suggest that slab-derived fluid upwells through the forearc mantle wedge without significant reaction with the country rocks (e.g., Kazahaya et al. 2014; Kusuda et al., 2014), which may provide a clue to understanding the hydrological budget in forearc regions. The rate of serpentinization is one of the primary parameter for constraining the flow regime of slab-derived fluid in the stagnant forearc mantle wedge. Hydration experiments for kinetic studies have been vigorously conducted previously at relatively low P-T conditions (up to ca. 350 °C and 0.3 GPa), in which olivine reacts with water to form the low T serpentine variety lizardite (or chrysotile) and brucite. However, antigorite is expected to be the dominant serpentine variety under the higher P-T condition corresponding to the forearc mantle wedge (350 to 650 °C and 1.0 to 2.0 GPa). Moreover, serpentine formation needs a silica source in addition to olivine (e.g., orthopyroxene) at the temperature above 450 to 500 °C due to the instability of phase assemblage serpentine + brucite.

In order to constrain the serpentinization rates of peridotite under the mantle wedge conditions, we conducted piston-cylinder experiments at temperature of 400 °C (brucite-present condition) and 500 to 580 °C (brucite-absent condition), and pressure of 1.3 and 1.8 GPa. Three types of starting materials were prepared from the crushed powder of a San Carlos lherzolite xenolith: 1) olivine (Ol), 2) orthopyroxene (Opx) + clinopyroxene (Cpx) and 3) Ol + Opx. Hereafter these systems are abbreviated as OL, OPX+CPX and OL+OPX respectively. The starting materials were reacted with 15 wt% distilled water for 4 to 19 days. The hydration reaction proceeded in all the experiments, except for the OL system under the brucite-absent conditions. Based on Raman spectroscopy results and crystal shapes, the synthesized serpentine minerals were identified as lizardite in most of the runs except for antigorite in the OL+OPX system at 1.8 GPa. The Al₂O₃ in the system possibly stabilized the aluminous lizardite (Caruso and Chernosky, 1979). In the OL+OPX system, the reaction progress followed a diffusion-controlled rate law in the brucite-present condition and an interface-controlled rate law in the brucite-absent conditions. The rate constants were estimated to be 1.5×10^{-16} m²/s and 8.7×10^{-12} to 1.5×10^{-11} m/s in the brucite-present and the brucite-absent condition, respectively.

We applied the experimentally-obtained hydration rates of peridotites to a reactive-transport model for the stagnant mantle wedge hydration. In the case of grain-scale pervasive flow, slab-derived fluid is completely fixed in the mantle wedge peridotite. Otherwise, aqueous fluid possibly penetrate all the way through the mantle wedge via crack-like pathways (we assumed the vertical distance of 10 km) with a spacing >0.025 to 0.80 m in the brucite-present conditions and >2.6 to 4600 m in the brucite-absent condition. This indicates that slab-derived fluid may upwell easily through a cold forearc mantle wedge like in Western Shikoku rather than a warm forearc mantle wedge like in Cascadia.

キーワード: 前弧, マントル, 流体, 蛇紋岩, アンチゴライト, 反応速度論
Keywords: forearc, mantle, fluid, serpentinite, antigorite, kinetics

水熱実験による地殻-マントル境界における交代作用 Hydrothermal experiments on the metasomatic reactions at crust-mantle boundary.

大柳 良介^{1*}; 岡本 敦¹; 土屋 範芳¹
OYANAGI, Ryosuke^{1*}; OKAMOTO, Atsushi¹; TSUCHIYA, Noriyoshi¹

¹ 東北大学大学院環境科学研究科

¹ Graduate School Of Environmental Studies, Tohoku University

Hydration and dehydration reactions play crucial roles on global circulation of H₂O in the earth's interior and serpentinization (hydration of ultramafic rocks) is representative hydration process at slow-spreading ridge, bending faults and subduction zone. It is known that silica activity has a large impact on controlling the reaction path during serpentinization [e.g., 1 and 2]. At the crust-mantle boundary, a steeper silica activity gradient is expected, and a large mass transfer including silica would cause metasomatic zoning. However, detailed mechanism to produce metasomatic reactions and its relation to the mass transfer are still poorly understood.

In present study, hydrothermal experiments (250C, Psat) were carried out in two systems: the olivine (Ol)-quartz (Qtz)-H₂O and Ol-plagioclase (Pl)-H₂O system, as analogues of crust-mantle boundary. Especially, by using unique tube-in-tube type hydrothermal experiments vessel, spatio-temporal evolution for metasomatic reactions as a function of distance from Ol-Qtz or Ol-Pl boundaries were evaluated.

In the Ol-Qtz-H₂O experiments, the mineralogy of the reaction products in the Ol-hosted region changed with increasing distance from the Ol-Qtz boundary, from smectite + serpentine (Smc zone) to serpentine + brucite + magnetite (Brc zone). Mass balance calculations revealed that olivine hydration occurred without any supply of silica in the Brc zone. In contrast, the Smc zone was formed by silica metasomatism via competitive hydration and dehydration reactions. In the Smc zone, smectite formed via the simultaneous progress of olivine hydration and serpentine dehydration, and around the boundary of the Smc and Brc zones, serpentine formation occurred by olivine hydration and brucite dehydration.

In the Ol-Pl-H₂O experiments, the mineralogy of the reaction products in the Ol-hosted region changed with increasing distance from the Ol-Pl boundary, from chlorite + serpentine (Chl zone) to serpentine + brucite + magnetite (Brc zone). Olivine hydration proceeded in both zones, but the total H₂O content in the products was greatest at the boundary than other part of the inner tube in the Ol-Pl-H₂O experiments.

Our result indicates that in Ol-Qtz-H₂O experiments, the competitive progress of serpentinization and silica metasomatic reactions would cause fluctuations in pore fluid pressure. However, in Ol-Pl-H₂O experiments, fluid pressure was not raised. This metasomatic reaction possibly affects the mechanical strengths of the crust-mantle boundary.

References

- [1] Frost, B. R., & Beard, J. S. (2007). *Journal of Petrology*, 48(7), 1351-1368.
- [2] Ogasawara, Y., Okamoto, A., Hirano, N., & Tsuchiya, N. (2013). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 119, 212-230.

キーワード: 超塩基性岩, 交代作用, 蛇紋岩化作用, 間隙水圧

Keywords: Ultramafic rocks, Metasomatism, Serpentinization, Pore fluid pressure

枕状溶岩構造を持つローソン石エクロジャイト中の藍閃石の水素、酸素同位体 Hydrogen and oxygen isotope of glaucophane in lawsonite eclogites preserving pillow structure

増山 雄也¹; 浜端 大治¹; 富安 史也²; 上野 雄一郎²; 岡本 和明^{1*}

MASUYAMA, Yuya¹; HAMABATA, Daichi¹; TOMIYASU, Fumiya²; UENO, Yuichiro²; OKAMOTO, Kazuaki^{1*}

¹ 埼玉大学, ² 東京工業大学

¹Saitama University, ²Tokyo Institute of Technology

In order to understand evolution of life, change of seawater chemistry from Hadean, Archean to present is significant. Pillow structure is well-preserved in the Archean greenstone belt (e.g. Komiya et al., 1999). Oxygen and hydrogen isotope of rims in the pillow is useful conventional tool to decipher chemistry of Paleao-seawater from Archean to Present. However, Archean greenstone belt suffered regional metamorphism from greenschist to Amphibolite facies condition. Therefore, it is necessary to testify the validity of pillow chemistry from recent (Phanerozoic) metamorphosed greenstone. We have systematically collected pillowed greenstone from blueschist and eclogites. Two eclogite exhibiting pillow structures were chosen for oxygen and hydrogen isotope analysis. One is from Corsica (lawsonite eclogite collected with Dr. Alberto Vidale Barbarone) and another is from Cazadero, Franciscan belt (collected by Dr. Tatsuki Tsujimori). The both are ascribed as MORB from major and trace bulk chemistry and Ca is rich in the core and Na is poor in the rims. The former exhibits garnet, omphacite, lawsonite, and glaucophane. Phengite is in core of the pillow and chlorite is in the rims. In the latter, besides garnet, omphacite, epidote and glaucophane, chlorite is recognized with phengite in the core. Glaucophane is richer in the rims from the both samples, therefore isotope analysis of glaucophane was done. Mineral separation was carefully done using micro-mill, heavy liquid and isodynamic separator. 20 mg specimens were used for oxygen isotope analysis and 2mg were for hydrogen analysis. $\delta^{18}\text{O}$ of the all analysis (7.7 to 8.3) is within the range of unaltered igneous oceanic crust and high temperature hydrothermal alteration although rims (8.3 for Franciscan and 8.0 for Corsica) are higher than cores (7.7 for Franciscan and Corsica). δD data is also consistent with hydrothermal alteration. It is relative higher in core from the Corsica and Franciscan (-45 and -56) than of the rims (-49 and -57, respectively), suggesting dehydration in deep subduction zone.

キーワード: lawsonite eclogite, pillow structure, glaucophane, oxygen isotope, hydrogen isotope, seawater chemistry

Keywords: lawsonite eclogite, pillow structure, glaucophane, oxygen isotope, hydrogen isotope, seawater chemistry

分子動力学シミュレーションによる石英表面の水の構造および物理化学特性の解明 Structure and physico-chemical properties of interfacial water on a quartz revealed by molecular dynamics simulation

石川 慧^{1*}; 佐久間 博²; 土屋 範芳¹

ISHIKAWA, Satoru^{1*}; SAKUMA, Hiroshi²; TSUCHIYA, Noriyoshi¹

¹ 東北大学大学院環境科学研究科, ² 独立行政法人 物質・材料研究機構

¹ Graduate School of Environmental Studies, Tohoku, ² National Institute for Materials Science

Structure of water in thin film may have different characteristics compared with that of bulk water. Thin film water can be present at mineral grain boundaries or fractures, and its structure might be influenced by mineral surface. In this study, classical molecular dynamics (MD) simulations were performed to investigate the structure and physico-chemical characteristics of thin film water on a quartz surface.

The model of the quartz surface was characterized by the termination of silanol (Si-OH) group. Water molecules were confined between these surfaces, and we simulated several thicknesses of water in the slab geometry.

Density of water oscillates to be about 1 nm from the quartz surface at 298 K. This structure became less clear with heating, and almost disappeared above 473 K. The self-diffusion coefficients of the confined water were calculated from mean square displacements. These values were lower than that of bulk water indicating that the mobility of confined water is low between quartz surfaces.

These changes in the physical properties of interfacial water on quartz might affect such as slips in the fracture surface of the Earth's crust.

キーワード: 界面水, 石英, 分子動力学, 自己拡散係数

Keywords: interfacial water, quartz, molecular dynamics, self-diffusion coefficient

東北地方下に沈み込む太平洋スラブの地震波減衰 Seismic attenuation in the Pacific slab beneath northeast Japan

椎名 高裕^{1*}; 中島 淳一¹

SHIINA, Takahiro^{1*}; NAKAJIMA, Junichi¹

¹ 東北大学大学院理学研究科地震・噴火予知研究観測センター

¹ RCPEV, Grad. Sch. of Sci., Tohoku Univ.

沈み込み帯におけるスラブ内地震活動や島弧マグマ活動には、沈み込む海洋プレート（スラブ）とともに地球内部に持ち込まれる水が密接に関係していると考えられている (e.g., Kirby et al., 1996; Nakajima et al., 2013). 含水鉱物や流体、メルトが存在すると、地震波速度が低下し、地震波の減衰は大きくなることが知られていることから、詳細な地震波の構造不均質を調べることは、沈み込み帯における水の分布を制約する上で非常に重要である。

東北地方下に沈み込む太平洋スラブ内の地震波速度構造の研究は数多くなされており、海洋性地殻は深さ 100km 程度までは低速域としてイメージされること (e.g., Shiina et al., 2013), 二重深発地震面の下面に沿って P 波が低速度になっていること (e.g., Zhang et al., 2004) などが明らかになっているが、地震波減衰構造はよくわかっていない。これは、トモグラフィなど、地球内部の不均質構造を推定する際に適用される一般的な手法では、高い分解能でスラブ内部の減衰構造をイメージすることが困難であるためである。

そこで、本研究ではスラブ内地震の観測波形に対してスペクトル比法を適用することで、地震波の減衰をより直接的に推定することを試みる。同一の観測点に対して、あるイベントとその波線近傍に分布するイベントのスペクトル比は、イベント間の平均的な減衰と 2 つのイベントの震源パラメータで表すことができる。本研究では、震源スペクトルとして ω^2 モデル (Brune, 1970) を考え、スラブ内地震の応力降下量が一定であると仮定し、解析を行った。

本解析の結果、主に前弧域の観測点で観測される波線に対して、太平洋スラブ内の地震波減衰を得ることができた。主な結果は以下の通りである。

- 1) スラブマントルは、前弧域下で比較的減衰が大きく、背弧域下では減衰が小さい。
- 2) 海洋性地殻やその近傍では、スラブマントルよりも減衰が大きい。
- 3) 2003 年宮城県沖のスラブ内地震 (M7.1) 付近では減衰が特に大きい。

これらの成果は、スラブ内の物質の変化や水の存在による減衰の変化を示している可能性があり、今後より詳しい解析を行う予定である。

キーワード: 地震波減衰, スペクトル比, 太平洋スラブ, スラブ内地震

Keywords: Seismic attenuation, spectral ratio, the Pacific slab, intra-slab earthquake

北海道地域下の3次元P波異方性速度構造 3-D P-wave anisotropy tomography of the crust and upper mantle beneath Hokkaido

鳥本 達矢^{1*}; 趙 大鵬¹; 豊国 源知¹; 北川 弘樹¹; 藤澤 萌人¹
TORIMOTO, Tatsuya^{1*}; ZHAO, Dapeng¹; TOYOKUNI, Genti¹; KITAGAWA, Hiroki¹; FUJISAWA, Moeto¹

¹ 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

¹ Department of Geophysics, Tohoku University

地震波の伝播速度には方向依存性があり、これを地震波速度異方性と呼ぶ。速度異方性は、マントル内部では主に造岩鉱物、特にマントルの動きに伴うかんらん石の結晶格子の選択配向によると考えられている。かんらん石は温度、圧力、水分の含有率に依って相転移し、相によって異方性が異なる。

従来の等方性地震波トモグラフィーでは地下の物質の動きは見られず静止画的にマントルの構造が推定されるが、異方性及びかんらん石の選択配向を考慮することにより、地下の物質の動きについて新たな知見が得られると期待される。速度の異方性を推定する方法としては、方位の速度依存性を調べる(最も早く伝播する方位のP波速度 V_f と最も遅く伝播する方位のP波速度 V_s の大小関係を調べる)方位異方性トモグラフィーと、射出角に依存する速度異方性を調べる(水平方向に伝播するP波速度 V_{ph} と鉛直方向に伝播するP波速度 V_{pv} の大小関係を調べる)鉛直異方性トモグラフィーがあるが、本研究では3次元P波鉛直異方性トモグラフィーを推定した。

我々は沈み込み帯のダイナミクスについて新たな知見を得るために、基盤地震観測網で記録された大量のP波走時データを用いて、北海道地域下の地殻及び上部マントルの3次元速度構造を推定した。本研究では東北大学及び、防災科学技術研究所 Hi-net のP波到達時刻の読み取り値を用いた。研究領域である北緯 $40^\circ \sim 46^\circ$ 、東経 $138^\circ \sim 147^\circ$ に3次元格子点を配置し、P波等方性トモグラフィー及びP波鉛直異方性トモグラフィーを行い、3次元速度構造と異方性の向き及び強さの関係を調べた。また先行研究との比較も行った。比較する先行研究の一つは東北及び九州のP波方位・鉛直異方性トモグラフィー法に関する研究(Wang & Zhao, 2013)で、北海道地域下と東北、九州地方における沈み込み帯での大規模な異方性の特徴を推定した。またもう一つは北海道下のP波方位異方性トモグラフィー法に関する研究(Liu, Zhao & Li, 2013)である。

本研究では、観測領域内の333点の観測点で観測された地震を使用した。観測された地震の内、震源の決定精度を考慮し、震源が北緯 $40^\circ \sim 46^\circ$ 、東経 $138^\circ \sim 140^\circ$ 、深さ $0 \text{ km} \sim 350 \text{ km}$ にある地震でかつ、震央が陸域または海岸から 20 km 以内にある地震のみを解析に使用し、使用した地震の総数は2030個、P波走時データの総数は約17万個となった。

3次元等方性、及び異方性速度構造の推定には、P波鉛直異方性トモグラフィーを用いたが、鉛直異方性トモグラフィーでは六方対称軸が鉛直の異方性媒質を仮定し、走時残差が小さくなるように等方性速度及び異方性パラメータの推定を行った。速度構造を推定するための格子点は等方性成分では緯度経度ともに 0.2° 間隔、異方性成分は 0.4° 間隔で配置し、深さ方向については等方性成分、異方性成分共に、深さ $8, 25, 40, 65, 90, 120, 150, 180, 200, 250, 300, 350 \text{ km}$ に配置した。初期速度構造は一次元速度構造 JB model を使用し、太平洋スラブ内の等方性速度は+4%の高速度異常を仮定した。

本研究で得られた等方性及び異方性速度構造の特徴は以下の通りである。

1. 樽前山や十勝岳、有珠山などの活火山下に顕著な低速度異常が見られ、これはスラブからの脱水に起因するメルトによるものと考えられる。
2. 活火山下の地域とマントルウェッジに顕著な低速度異常体が見られ、その中では鉛直方向のP波速度が速いことが分かった。このことは、東北地方と九州地方のP波鉛直異方性の結果(Wang & Zhao, 2013)と調和的であり、高温の島弧マグマの上昇を反映しているものと考えられる。
3. 沈み込んでいる太平洋プレートでは、水平方向のP波速度が速く、東北地方及び九州地方の異方性の結果(Wang & Zhao, 2013)と一致した。
4. 有珠山下の低速度異常体において方位異方性トモグラフィー(Liu, Zhao & Li, 2013)では速度異方性が見られなかったが、本研究では強い鉛直異方性が見られた。このことから、有珠山下のマントルウェッジに高温のマントル上昇流が存在すると推定される。

参考文献

Liu, X., D. Zhao, S. Li (2013) Seismic heterogeneity and anisotropy of the southern Kuril arc: Insight into megathrust earthquakes. *Geophys. J. Int.* 194, 1069-1090.

Japan Geoscience Union Meeting 2015

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

©2015. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SCG60-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 18:15-19:30

Wang, J., D. Zhao (2013) P-wave tomography for 3-D radial and azimuthal anisotropy of Tohoku and Kyushu subduction zones. *Geophys. J. Int.* 193, 1166-1181.

キーワード: トモグラフィー, 異方性, 北海道, 沈み込み帯, マントルウェッジ

Keywords: Tomography, Anisotropy, Hokkaido, Subduction zones, Mantle wedge

西南日本弧のP波とS波減衰トモグラフィ P and S wave attenuation tomography of the Southwest Japan arc

Liu Xin¹; 趙 大鵬^{1*}; 西園 幸久²; 稲倉 寛仁²
LIU, Xin¹; ZHAO, Dapeng^{1*}; NISHIZONO, Yukihi²; INAKURA, Hirohito²

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 西日本技術開発(株) 調査解析部

¹Tohoku University, Department of Geophysics, ²West Japan Engineering Consultants, Inc.

We determined the first high-resolution P- and S-wave attenuation (Q_p and Q_s) tomography of the crust and upper mantle under the entire Nankai subduction zone from the Nankai Trough to the Japan Sea using a large number of high-quality t^* -data measured from P- and S-wave spectra of local earthquakes. The suboceanic earthquakes used in this study were relocated precisely using sP depth phases and ocean-bottom-seismometer data. The overall pattern of the obtained Q models is similar to that of velocity models of the study region. Our present results show that high-Q (i.e. weak attenuation) anomalies in the upper crust generally correspond to plutonic rocks widely exposed in the Nankai arc. Some of the low-Q (i.e. strong attenuation) anomalies in the upper crust along the Pacific coast are associated with the Cretaceous-Cenozoic accretionary wedge. Obvious low-Q anomalies exist in the crust under the active arc volcanoes. Most of the large inland crustal earthquakes are located in or around the low-Q zones in the crust. The subducting Philippine Sea slab is imaged clearly as a landward dipping high-Q zone. Prominent low-Q anomalies are revealed in the mantle wedge under the volcanic front and back-arc area, which reflect the source zone of arc magmatism caused by slab dehydration and corner flow in the mantle wedge. Significant low-Q anomalies exist in the fore-arc mantle wedge, which reflects a highly hydrated and serpentinized fore-arc mantle wedge due to abundant fluids released from dehydration of the young and warm Philippine Sea slab.

キーワード: 西南日本, 沈み込み帯, 減衰構造, スラブ, 流体

Keywords: Southwest Japan, subduction zone, Seismic attenuation, slab, fluids

3次元電気伝導度構造から推定される東北地方上部マントル沈み込み帯の流体移送プロセス

Geofluid migration process inferred from a 3-D electrical conductivity model beneath Tohoku district.

市来 雅啓^{1*}; 小川 康雄²; 海田 俊輝¹; 出町 知嗣¹; 平原 聡¹; 本蔵 義守²; 神田 径²; 河野 俊夫¹;
小山 崇夫³; 松島 政貴²; 中山 貴史¹; 鈴木 秀市¹; 藤 浩明⁴; 上嶋 誠³
ICHIKI, Masahiro^{1*}; OGAWA, Yasuo²; KAIDA, Toshiki¹; DEMACHI, Tomotsugu¹; HIRAHARA, Satoshi¹;
HONKURA, Yoshimori²; KANDA, Wataru²; KONO, Toshio¹; KOYAMA, Takao³; MATSUSHIMA, Masaki²;
NAKAYAMA, Takashi¹; SUZUKI, Syuichi¹; TOH, Hiroaki⁴; UYESHIMA, Makoto³

¹ 東北大学大学院理学研究科, ² 東京工業大学火山流体研究センター, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 京都大学大学院理学研究科
¹Graduate School of Science, Tohoku University, ²Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ³Earthquake
Research Institute, The University of Tokyo, ⁴Graduate School of Science, Kyoto University

We carried out long-period MT observation using the state-of-the-art equipments. The MT impedance responses were inverted into 3-D electrical conductivity model using WSINV3D (Siripunvaraporn et al, 2005). The 3-D model delineates vertical continuous conductive zone from subducting Pacific plate surface to lower crust below Ou backbone range. The conductive body indicates saline fluids and/or melt pathway from the subducting slab surface to lower crust. The resistivity of the lower crust conductor is 1 Ω m or more conductive and saline fluids and/or melt volume fraction is estimated to be 7 vol. % at minimum. Other resistivity profile in the across-arc direction indicates that conductive body separated from Pacific plate surface at 80-100 km depth and assumes an overturned form towards backarc direction. The head of the conducting body attains to the lower crust just below Mt. Gassan. This suggests the backarc volcanisms are caused by saline fluids and/or melt overturn rising towards backarc direction.

沈み込みプレート境界深部における岩石-流体相互作用 Fluid-rock interaction in deep portions of subduction plate boundaries

斎藤 翼^{1*}; 氏家 恒太郎¹
SAITO, Tsubasa^{1*}; UJIIE, Kohtaro¹

¹ 筑波大学
¹University of Tsukuba

Fluid-rock interaction at deep portions of subduction plate boundaries is a key to understand roles of fluid on deformation and mass transfer during subduction and accretion. In the Upper Cretaceous Shimanto accretionary complex of eastern Kyushu, the melange composed of basaltic slices in the argillaceous matrix and the coherent clastic rock occur three times, representing the repetition of ocean plate stratigraphy associated with the duplex underplating at a depth of ~ 13 km and temperatures of 340-400 °C. One well-exposed basaltic slice consists mainly of massive basalt, pillow basalt, and dolerite in which argillaceous rocks are intercalated with the dolerite in the uppermost part of the slice. The argillaceous matrix commonly shows pressure solution cleavage in which muscovite and carbonaceous material occur as insoluble residue. The argillaceous rock less than 20 cm from the upper boundary of the basaltic slice is highly bleached in association with the modal increase in albite and consumption of muscovite and carbonaceous material, while that intercalated with the dolerite shows various degree of bleaching. Plagioclase phenocrysts in the dolerite near the upper boundary are replaced to muscovite. Mass-balance estimated from isocon method indicates that the bleached argillaceous rock and the uppermost dolerite are depleted in fluid-mobile elements such as Sr and Ba relative to surrounding rocks. Deformation is concentrated into the uppermost dolerite, which is marked by elongated phenocrysts. These results suggest that the albitization of argillaceous rock by infiltration of Na-rich fluid and the deformation accompanying with fluid-dolerite interaction occurred during the melange-forming process. Infiltration metamorphism during incorporation of basaltic slices in the argillaceous melange matrix may play an important role on mass transfer in subduction plate boundary.

キーワード: 岩石-流体相互作用, 沈み込みプレート境界, 泥質岩, ドレライト, 曹長化
Keywords: fluid-rock interaction, subduction plate boundary, argillaceous rock, dolerite, albitization

上総層群堆積盆の異常高間隙圧の発達メカニズムの検討 Mechanism of overpressure development in the Kazusa Group

丸茂 春菜¹; 金子 幸代²; 田村 幸枝³; 三橋 俊介⁴; 上原 真一^{2*}

MARUMO, Haruna¹; KANEKO, Sachiyo²; TAMURA, Yukie³; MITSUHASHI, Shunsuke⁴; UEHARA, Shin-ichi^{2*}

¹ 東邦大学大学院理学研究科, ² 東邦大学理学部, ³ (株)すかいらーく, ⁴ 筑波大学大学院生命環境科学研究科

¹Graduate School of Science, Toho University, ²Faculty of Science, Toho University, ³Skylark CO., LTD., ⁴Graduate School of Life and Environmental Sciences, Tsukuba University

異常高間隙圧(静水圧分布からの差)は、堆積層内の流体移動や断層面の摩擦強度など様々な現象において影響を与えるため、その発達メカニズムを検証することは重要である。房総半島に分布する新第三紀-第四紀堆積盆の上総層群の泥岩層には、5~20%の異常高間隙率の領域が分布することが知られている。この異常高間隙率の原因は異常高間隙圧によるものであると推定されている。しかしながら、その発達過程については、定量的に十分な検討がなされていないのが現状である。異常高間隙圧は、顕著な不透水層の存在や、深部からの流体供給・堆積盆内部での流体の生成等を考えなくても、透水係数や貯留係数の有効圧依存性や堆積速度などの条件によっては、単純な堆積-圧密過程のみでも発達しうることが知られている。本研究では、上総層群泥岩層について、単純な堆積-圧密過程のみで、どの程度の異常高間隙圧および異常高間隙率が発達しうるかについて検討した。そのためにまず、上総層群のシルト岩について、間隙率と透水係数の有効圧依存性を室内実験より求めた。その結果に基づき、堆積作用による間隙圧の増加と間隙圧の拡散を考慮した一次元数値シミュレーションを実施した。

シルト岩試料は、上総層群の梅ヶ瀬層、大田代層、黄和田層、大原層および勝浦層の露頭より採取し、それから直径約40 mm、高さ約30 mmの円柱形に整形したものを実験に使用した。間隙率および透水係数の測定には、東邦大学の容器内岩石圧縮変形透水試験機を使用した。間隙流体には蒸留水、封圧媒体には油を用いた。有効圧下の間隙率は、封圧上昇時に試料より排出される水の量を測定することで測定した。透水係数は、試料両端の圧力差を一定にし、定常状態における流量を測定することで求めた(定差圧流量法)。それぞれの測定は、有効圧が2~35 MPaの1サイクルの何点かの応力条件で行った。室内実験の結果、間隙率は約34~42%の値を示したが、大原層の間隙率は大気圧下で55%と他の試料に比べて高い値を示した。透水係数は、約 10^{-20} ~ 10^{-16} m²の範囲の値を示した。各試料の実験結果より、正規圧密の領域について、間隙圧・透水係数を有効圧の関数で近似し、数値シミュレーションで用いた。数値シミュレーションでは、海底面にシルト性堆積物・シルト岩が厚さ3000 mまで堆積することを想定し、そのときの間隙圧異常および異常間隙率の発達を計算した。堆積-圧密に伴う間隙圧の増加および鉛直方向の拡散を考慮した一次元モデルを差分法で離散化し、シミュレーションに用いた。計算領域下部(堆積盆底部を想定)は不透水境界とし、堆積物表面は間隙圧一定とした。初期条件は、堆積物の厚さは54 m、間隙圧は静水圧分布(間隙圧異常は0)とした。スケンプトン係数は0.9で一定、岩石空隙の圧縮率は間隙率と関係づけることで、有効圧の関数として与えた。堆積速度は一定とし、上総層群に関する既存の研究をもとに3種類(4.0, 9.49, 40.0×10^{-4} m/year)の値を用いた。数値シミュレーションの結果、深くなるにしたがって間隙圧差は大きくなり、堆積速度を 9.49×10^{-4} m/yearとした場合、計算に使用した間隙率、透水係数の関数によって3~12 MPaの間隙圧差が得られた。また、このときの異常高間隙率は0.5~6%となった。堆積速度が大きいほど、異常高間隙圧の値は大きくなり、堆積速度を 40.0×10^{-4} m/year(速い値)とした場合は、最大18 MPaの異常高間隙圧、最大10%の異常高間隙率が得られた。以上の結果から、上総層群のシルト岩の物性及び堆積速度などを考慮した場合、10数MPaの異常高間隙率および数%の異常高間隙率の発生が可能であることが示された。

キーワード: 上総層群, 異常高間隙圧, 透水係数, 室内透水実験, 数値シミュレーション

Keywords: the Kazusa Group, overpressurization, permeability, laboratory permeability measurement, numerical simulation

摩擦不安定性に対する脱水効果—石膏を用いたアナログ実験的研究— Dehydration effect on frictional instability: Experimental study using gypsum hemihydrate

佐々木 勇人^{1*}; 武藤 潤²; 長濱 裕幸²

SASAKI, Yuto^{1*}; MUTO, Jun²; NAGAHAMA, Hiroyuki²

¹ 東北大学理学部地圏環境科学科, ² 東北大学理学研究科地学専攻, ³ 現: 東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

¹Div. GeoEnviron. Sci., Tohoku Univ., ²Dept. Earth Sci., Tohoku Univ., ³Now at: Dept. E. P. Sci., Univ. Tokyo

沈み込み帯において、水が地震の発生様式を規定しうる、といった研究成果はこれまでに数多くある。例えば、スラブ内での稍深発地震は、沈み込んだスラブの脱水脆性化によって発生し、その震源は上面地震帯を形成する。更に、上面地震帯下限が脱水後の無水鉱物安定域で規定されている可能性がある [1, 2]。プレート境界型の浅発地震では、アスペリティの分布がスラブからの水で蛇紋岩化したマントル橄欖岩や異常間隙水で説明できる可能性がある [2, 3]。このように、沈み込み帯では含水鉱物や沈み込むスラブによって物理化学的に深部へ水が持ち込まれ、その水が地震発生に関与しているとされている。しかしながら、具体的に水がどのようにミクロスケールの素過程に関与し、マクロな地震現象に影響を及ぼすかについては、未だ解明されていない。

これまでも蛇紋岩 [4] をはじめとした様々な含水鉱物で脱水時に強度弱化などの力学的な不安定化が確認されてきたが、実験室条件下で脆性延性遷移および脱水相転移を達成しうる石膏 [5, 6] は、含水リソスフェアやスラブのアナログとして有効と考えられる。そこで、本研究では、含水鉱物の脱水化学過程が摩擦挙動やレオロジーに影響を与えうるとの仮説のもと、石膏ガウジの摩擦実験により、含水鉱物の脱水プロセスが地震発生域の摩擦特性やレオロジーに対してどのような効果を与えるのかについて明らかにすることを目的とする。

本研究では、プレカット斑レイ岩ピストンで挟んだ焼石膏ガウジ試料について、封圧 10~200 MPa、室温~180 °C 下でガス圧試験機による変形実験を行った。室温下では、高圧ほど固着すべりの周期とすべりに伴う応力降下量が増大し、これは沈み込み帯における地震の規模の深度分布を説明する。200 MPa, 70 °C では、相転移せず、固着すべりを示し、力学強度は増加したのに対し、脱水条件付近と考えられる 200 MPa, 110 °C 以上では固着すべりの挙動が衰え、歪弱化し、強度がおおよそ 0 となった。微細組織観察によれば、非脱水条件下では剪断方向に斜交する開口剪断面 (R_1) が卓越したのに対して、脱水条件下ではクラック数自体の減少とともに剪断方向と平行 (Y) もしくは直交 (X) 方向の剪断面が卓越した。ガウジ粒子の形状定向配列 (SPO) に伴って剪断方向と平行に並んだ劈開を最弱面として変形がまかなわれたと考えられる。これらの結果より、周囲の物質 (斑レイ岩ピストン) が持つ低い透水性によって脱水による異常間隙水圧が増加し、更にガウジ中の剪断面や劈開が連結することで、岩石の力学強度を著しく低下させたと考えられる。これまでの研究から、脱水後の硬石膏は脱水前の焼石膏の摩擦強度よりも強度が大きい [7]、脱水相転移後の強度の低下は、脱水により生成した物質によるものではなく異常間隙水圧によるものだと考えられる。固着すべりや力学強度を弱めるこういった脱水プロセスが非地震発生帯や安定すべり域の形成に関与している可能性がある。

引用文献: [1] Kita *et al.* (2006) *GRL*, **33**, L24310. [2] 長谷川ほか (2012) 地学雑, **121**, 128. [3] Fagereng and Ellis (2009) *EPSL*, **278**, 120. [4] Raleigh and Paterson (1965) *JGR*, **70**, 3965. [5] Brantut *et al.* (2011) *JGR*, **116**, B01404. [6] Heard and Rubey (1966) *GSAB*, **77**, 741. [7] Shimamoto and Logan (1981) *JGR*, **86**, 2902.

キーワード: 脱水弱化, 相転移, 含水鉱物, 石膏

Keywords: dehydration weakening, phase transition, hydrous mineral, gypsum

インドネシア西ジャワにおけるマグマの温度と含水量の分布：斑晶鉱物組成からの推定

Spatial variation of magmatic temperatures and water contents in western Java Island, Indonesia: estimation from mineral

高山 晃平^{1*}; 大場 司¹; Abdurrachman Mirzam²; Iwan Setiawan¹; Firmansyah Reza²

TAKAYAMA, Kohei^{1*}; OHBA, Tsukasa¹; ABDURRACHMAN, Mirzam²; IWAN, Setiawan¹; FIRMANSYAH, Reza²

¹ 秋田大学, ² バンドン工科大学

¹Akita University, ²Institut Teknologi Bandung

Across-arc variations of magmatic temperatures and water contents in West Java were investigated from whole-rock chemistry, petrography, and phenocryst mineral compositions. Volcanic rocks were collected from eight volcanoes in the region. To determine these properties, the pyroxene thermometer by Brey and Kohler (1990) and the plagioclase-melt hygrometer by Putirka (2008) were applied. Rocks in this region range from basalt to andesite with some exceptions: dacite from Guntur and latite from Dago. Silica contents range from 53-58 wt% in Papandayan, 51-63 wt% in Guntur, 50-57 wt% in Galunggung, 57-61 wt% in Cikuray, c. 57 wt% in Tangkuban Parahu, 56-57 wt% in Dago, 49-57 wt% in Tampomas, and 55-61 wt% in Ciremai, respectively. Although a majority of rocks belong to medium-K series, potassium content varies by location, increasing with the distance from the trench. Basalt and basaltic andesite from Galunggung, one of the frontal volcanoes, are classified as low-K series, and part of rocks from rear-arc volcanoes, Tampomas, Tangkuban Parahu, and Dago, are assigned to high-K series. To equalize effects of differentiation, samples with similar silica contents (c. 57 wt%) are selected to apply the geothermometer and the hydrometer. Pyroxene rims indicate a temperature range from 900-1050 °C (970-1000 °C in Papandayan; 900-1020 °C in Guntur, 970-1020 °C in Galunggung, 970-1020 °C in Cikuray, 940-1050 °C in Tangkuban Parahu, 970-980 °C in Tampomas, and 950-1020 °C in Ciremai). The temperature estimates of cores range from 900-1030 °C (970-1000 °C in Papandayan, 930-950 °C in Guntur, 950-1030 °C in Galunggung, 960-1010 °C in Cikuray, 990-1030 °C in Tangkuban Parahu, 950-1030 °C in Tampomas, and 900-940 °C in Ciremai). Water content of plagioclase rims ranges from 0.5-1.6 wt % and each volcano exhibit narrow range (1.0-1.2 wt% in Papandayan, 1.6 wt% in Guntur, 0.9-1.2 wt% in Galunggung, 1.6-1.8 wt% in Cikuray, 0.5-0.7 wt% in Tangkuban Parahu, 0.7 wt% in Dago, 1.1-1.3 wt% in Tampomas, and 1.2 wt% in Ciremai). The water contents estimated from core composition show no distinct difference from those of rims, ranging from 0.6-1.4 wt% (1.3-1.5 wt% in Papandayan, 1.1-1.4 wt% in Guntur, 0.6-1.0 wt% in Galunggung, 1.1-1.4 wt% in Cikuray, 0.8-1.1 wt% in Tangkuban Parahu, 0.6-0.8 wt% in Dago, 0.9-1.2 wt% in Tampomas, and 1.0 wt% in Ciremai). Neither temperature nor water content is correlated with the distance from the trench; lateral variations are not distinct in terms of these properties. In many samples, pyroxene crystals exhibit reverse-zoning with increasing Mg-number, and the estimated temperatures at rims are higher than those of cores, implying recharge of hot magmas into colder magma reservoirs.

Keywords: across-arc variation