

SCG060-01

会場:302

時間:5月25日 08:30-08:45

## 地殻流体のマッピングにむけて Towards mapping of geofluids

岩森 光<sup>1\*</sup>, 渡辺 了<sup>2</sup>, 中村 美千彦<sup>3</sup>, 市来 雅啓<sup>3</sup>, 中島 淳一<sup>3</sup>

Hikaru Iwamori<sup>1\*</sup>, Tohru Watanabe<sup>2</sup>, Michihiko Nakamura<sup>3</sup>, Masahiro Ichiki<sup>3</sup>, Junichi Nakajima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 富山大学, <sup>3</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>Toyama University, <sup>3</sup>Tohoku University

There are accumulating evidences indicating that geofluids in subduction zones play important roles in various phenomena, such as seismic and magmatic activities, crustal deformation, metamorphism, evolution of continental crust, and global material differentiation. However, in situ distribution of geofluids within the crust and the mantle, or even their presence, has not been identified with sufficient resolution, hence their roles in the various phenomena mentioned above remain unclear.

Low seismic velocities and/or a high electrical conductivity have conventionally been regarded as diagnostic features for presence of geofluids (e.g., Nakajima and Hasegawa, 2003). Overlapping thermal, compositional and textural variations blur the features specific to geofluids, and the number of unknown parameters apparently exceeds the number of observed variables (e.g., Watanabe, 2005). Therefore, introducing a priori information and models (e.g., thermal and petrological structures) into the analysis (i.e., deducing phase, fraction, geometry [represented by, e.g., aspect ratio] and their spatial distribution of geofluids based on the seismic velocity and electrical conductivity) is necessary. In addition, some key variable or parameter could be sensitive enough to constrain a parameter for geofluids beyond the background variations, eliminating uncertainties introduced by a priori information and models. In this paper, we discuss both aspects, i.e., (i) integration of available information, and (ii) key variables or parameters sensitive to geofluids.

In order to quantitatively identify the spatial distribution of geofluids, we combine (1) observed seismic velocity structure, (2) observed electrical conductivity structure, (3) petrological model, and (4) thermal model, for areas with well-resolved tomography of both seismic velocity and electrical conductivity. The models of (3) and (4) correspond to the point (i) above. Concerning the point (ii), we focus on the contrast between (1) and (2): for a typical case, distribution of low velocity regions coincide well with that of highly conductive regions (e.g., those beneath the northern Miyagi Prefecture area [Mitsuhashi et al., 2001; Nakajima and Hasegawa, 2003]), associated with a few percent decrease in the seismic velocity and two to four orders of magnitude increase in the electrical conductivity. Inspection of all the plausible factors strongly suggests that the huge contrast in amplitude between the seismic velocity and the electrical conductivity may be resolved only when a variation of fluid fraction affects linearly the seismic velocity and nonlinearly the electrical conductivity.

This differential response may arise from the fact that the seismic velocity is approximately a linear function of fluid fraction (Takei, 2002) and is insensitive to the connectivity, whereas the electrical conductivity is sensitive to the connectivity. If the connectivity of fluid increases with its volume fraction, this causes a nonlinear increase of electrical conductivity with the fluid fraction. We thus think that the relationship between connectivity and fluid fraction is a key to interpret the observed seismic velocity and electrical conductivity. Deciphering this relationship, being combined with thermal and petrological models, could be a useful and robust approach to map geofluid distribution.

SCG060-02

会場:302

時間:5月25日 08:45-09:00

## スラブ流体の指標としての熱水性鉱床のPb同位体比 Pb isotopic compositions of hydrothermal deposits in the Japanese island arc as a tracer of slab-fluids

藤永 公一郎<sup>1\*</sup>, 加藤 泰浩<sup>1</sup>, 高谷 雄太郎<sup>1</sup>, 谷水 雅治<sup>2</sup>, 岩森 光<sup>3</sup>

Koichiro Fujinaga<sup>1\*</sup>, Yasuhiro Kato<sup>1</sup>, Yutaro Takaya<sup>1</sup>, Masaharu Tanimizu<sup>2</sup>, Hikaru Iwamori<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院工学系研究科, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>3</sup> 東京工業大学大学院理工学研究科

<sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>JAMSTEC, <sup>3</sup>Tokyo Institute of Technology

Quite recently, it has been pointed out that "geofluids" released from the subducting plates may be involved in various phenomena in subduction zone, such as young volcanic rocks, deep-seated hot springs and hydrothermal deposits. Systematical investigations of these various materials are needed for identifying the geochemical characteristics of the geofluids. Nakamura et al. (2008) revealed that the slab-fluids derived from two subducted plates (the Pacific plate and the Philippine Sea plate) contribute largely to the genesis of arc magmas in the Central Japan. Here we focus on hydrothermal deposits (vein-type and skarn-type) in the Japanese island arc. Hydrothermal fluids that formed sulphide mineral (galena, pyrite, chalcopyrite, sphalerite etc.) deposits are generally considered to have been derived from magmatic and/or meteoric waters based on H, C, O, and S isotopes in the deposit materials. However, ore fluids may be directly derived from deep fluids. We report Pb isotopic compositions of hydrothermal deposits in the Central Japan and discuss about the origin of ore fluids.

SCG060-03

会場:302

時間:5月25日 09:00-09:15

## 三波川変成帯のカンラン岩とエクロジヤイトに捕獲されたスラブ起源ハロゲンと希ガス

### Slab-Derived Halogens and Noble Gases Preserved in Peridotite and Eclogite from the Sanbagawa Metamorphic Belt

角野 浩史<sup>1\*</sup>, 遠藤 俊祐<sup>2</sup>, 吉田 健太<sup>3</sup>, 水上 知行<sup>4</sup>, Wallis Simon<sup>2</sup>, 平島 崇男<sup>3</sup>, Ray Burgess<sup>5</sup>, Chris Ballentine<sup>5</sup>  
Hirochika Sumino<sup>1\*</sup>, Shunsuke Endo<sup>2</sup>, Kenta Yoshida<sup>3</sup>, Tomoyuki Mizukami<sup>4</sup>, Simon Wallis<sup>2</sup>, Takao Hirajima<sup>3</sup>, Ray Burgess<sup>5</sup>,  
Chris Ballentine<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科, <sup>2</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>4</sup> 金沢大学理工学域自然科学システム学類, <sup>5</sup> マンチェスター大学

<sup>1</sup>GCRC, University of Tokyo, <sup>2</sup>Nagoya University, <sup>3</sup>Kyoto University, <sup>4</sup>Kanazawa University, <sup>5</sup>SEAES, University of Manchester

Subduction volcanism is generally considered to form a 'subduction barrier' that efficiently recycles volatile components contained in subducted slabs back to the Earth's surface (Staudacher and Allegre, 1988, *Earth Planet. Sci. Lett.* 89, 173-183). Nevertheless, subduction of sediment and seawater-dominated pore fluids to the deep mantle has been proposed to account for heavy noble gas (Ar, Kr and Xe) non-radiogenic elemental abundance and isotopic pattern of the convecting mantle (Holland and Ballentine, 2006, *Nature* 441, 186-191). To verify whether and how subduction fluids preserve a seawater signature, we have determined noble gas and halogen compositions of the Higashi-akaishi peridotite and Western Iratsu and Seba eclogite bodies in the Sanbagawa metamorphic belt, southwest Japan, in which relicts of slab-derived water are contained as hydrous mineral inclusions in wedge mantle rocks exhumed from depths in excess of 100 km (Mizukami et al., 2004, *Nature* 427, 432-436) and aqueous fluid inclusions in associated slab-derived eclogites and quartz veins/lenses (Endo et al., 2009, *J. Metamorphic Geol.* 27, 371-384; Endo, 2010, *Isl. Arc* 19, 313-335; Hirajima et al., 2010, *Geophys. Res. Abst.* 12, EGU2010-6343).

The striking similarities of the observed noble gas and halogen compositions of the Higashi-akaishi peridotite with marine pore fluids (Sumino et al., 2010, *Earth Planet. Sci. Lett.* 294, 163-172) challenge a popular concept, in which the water flux into the mantle wedge is only by hydrous minerals in altered oceanic crust and sediment (e.g., Schmidt and Poli, 1998, *Earth Planet. Sci. Lett.* 163, 361-379). The Western Iratsu eclogite also exhibits non-radiogenic noble gas and halogen elemental ratios well explained by a mixing between seawater-derived and sedimentary components. These results indicate that subduction and closed system retention of marine pore fluid occurs up to depths of at least 100 km. Two mechanisms of subduction of unfractionated pore fluid-derived noble gas and halogens are proposed: one is that a portion of pore-fluid in sediments and/or crust subducts to a depth deeper than the overlying crust and is liberated and incorporated into grain boundaries of the mantle peridotite that is dragged down by flow in the mantle along with the downgoing slab. The other is that hydrated lithospheric mantle, resulting from penetration of pore-fluid along bending-related faulting of the oceanic plate entering subduction zones, preserves unfractionated noble gases and halogens of pore-fluid origin and transports them to the deep mantle.

The subducted halogen and noble gas compositions are clearly distinct from those of arc volcanic gases. This implies that the subduction-related metamorphic rocks of the Sanbagawa belt appear to have frozen-in and preserved a previously unseen part of the deep water recycling process whereby noble gases and halogens (and probably other volatiles) are injected into the wedge mantle just above the subducting slab, requiring a reassessment of the dominant transport mechanism and source of water in subduction zones. A small proportion of marine pore fluid, preserved in the downgoing hydrous peridotite and/or eclogite, can account for the heavy noble gas composition observed in the convecting mantle.

キーワード: 希ガス, ハロゲン, 流体包有物, スラブ流体, 沈み込み帯, マントルウエッジ

Keywords: noble gas, halogen, fluid inclusion, slab fluid, subduction zone, mantle wedge

SCG060-04

会場:302

時間:5月25日 09:15-09:30

## 変成岩微量元素/同位体組成解析による変成帯上昇期の流体組成の決定 Metamorphic fluid composition determined by trace element and isotopic composition analysis of metamorphic rocks

宇野 正起<sup>1\*</sup>, 岩森 光<sup>1</sup>, 中村 仁美<sup>1</sup>, 上木 賢太<sup>1</sup>, 朴 泰皓<sup>1</sup>, 横山 哲也<sup>1</sup>, 谷水 雅治<sup>2</sup>

Masaaki Uno<sup>1\*</sup>, Hikaru Iwamori<sup>1</sup>, Hitomi Nakamura<sup>1</sup>, Kenta Ueki<sup>1</sup>, Taeho Park<sup>1</sup>, Tetsuya Yokoyama<sup>1</sup>, Masaharu Tanimizu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>2</sup>JAMSTEC

広域変成帯はプレート収束境界の流体挙動を直接的に記録するユニークな物質であり、その解析は火山岩や温泉水で得られるような地殻流体の化学組成や量の情報に留まらず、流体輸送組織の定量化から輸送メカニズムに関する知見をもたらすと期待される。しかしながら、変成作用における流体挙動に関しては組成や量、移動の時空間スケールについて従来の研究では手法により見解に大きな差異があり、決着がつかない(e.g. Ferry, 1992; Bebout, 2007)。変成岩の全岩組成は、沈み込みから上昇までの積分値であるため、従来の解析手法では各変成プロセス(海洋底熱水変質, 脱水変成作用, 吸水変成作用)における物質移動量を分離できていないことが様々な解釈を生んでいる可能性が高い。特に吸水変成作用は、他の二つの変成プロセスを上書きしているため(e.g. Okamoto&Toriumi, 2005)、これらのプロセスを分離するためには吸水変成作用における物質移動の理解が不可欠である。

本研究は、全岩微量元素/同位体組成と、岩石学的解析から得られる個々のサンプルの温度圧力経路、吸水反応進行度と含水量、各サンプルの空間的な位置関係に代表される物理的なパラメータを対比することで、変成作用中の流体挙動、特に変成作用後期の吸水変成作用における流体の組成、量、タイミングを制約することを目的とする。

調査地域は沈み込み帯起源の高圧変成帯である、三波川変成帯である。各変成分帯の塩基性片岩について微量元素/主要元素/Pb 同位体比分析が行われた。またそのうちのいくつかのサンプルについて EPMA による鉱物化学組成分析、熱力学的解析による温度圧力経路の決定がなされた。

その結果、

- (1) 塩基性片岩の微量元素組成はおよそ海洋底変質玄武岩と海洋底堆積物の間の組成を持つ。
- (2) 測定した微量元素群は次の3つに分類される。
  1. 各変成分帯により濃度の異なる元素。
  2. 同一変成分帯中で、全岩 LOI に比例する元素。
  3. 上記のどちらの傾向も示さない元素。
- (3) 一方、吸水変成作用年代で補正した塩基性片岩の Pb 同位体組成は、海洋底変質玄武岩と海洋底堆積物の混合曲線上(Nakamura et al., 2009)に乗らず、より高い  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比を示す。
- (4) 塩基性片岩の Pb 同位体組成は Iwamori et al.(2010) で示されたグローバルな火成岩同位体組成の独立成分うちの IC2 成分、すなわち沈み込み帯における流体の成分と一致することが分かった。

(2)-2. の元素に関して、吸水反応進行度との考察から、吸水反応時の流体組成が求められた。この流体組成は、およそ Rb-650ppm, Ba-4800ppm, Li-1000ppm であり、現在の太平洋プレートやフィリピン海プレートの沈み込むスラブから放出される流体組成とオーダーで似た組成をしているが、両者のより濃い方の値に近く、堆積物由来流体と海洋底熱水変質由来流体の単純な混合では説明できない。これは、流体輸送中の岩石流体反応の影響か、または、沈み込むスラブから放出される流体組成のモデリングに使われるモビリティの不確定さを反映していると考えられる。

また、(4) の Pb 同位体組成の結果から、観測された変成岩の組成のバリエーションは局所的なものではなく、沈み込み帯におけるグローバルなプロセスを反映したものであることが示唆される。

以上の結果から、少なくとも塩基性片岩の Rb, Ba, Li の全岩濃度は吸水変成作用に支配されていることが分かった。吸水変成作用における物質移動の特定には、海洋底熱水変質や温度圧力経路を比較的同程度受けていると考えられる、同一塩基性片岩岩体中のサンプルに着目する手法が有効である。変成組織、岩石組成、同位体組成を統合した更なる解析から、グローバルなマントル組成に影響を与えるような変成作用における物質輸送プロセスが明らかになると期待される。

キーワード: 変成作用, 流体, 微量元素, 同位体組成, 三波川変成帯, 地殻流体  
Keywords: metamorphism, fluid, trace element, isotope, Sanbagawa metamorphic belt, Geofluid



SCG060-05

会場:302

時間:5月25日 09:30-09:45

## マルチアンビル型高温高压発生装置を用いた蛍光 X 線分析によるマグマと水流体の間の元素分配に与える圧力と塩濃度の影響 Effects of pressure and salinity on partitioning between magma and aqueous fluids at HTHP

川本 竜彦<sup>1\*</sup>, 三部 賢治<sup>2</sup>, 黒岩 健一<sup>1</sup>, 小木曾 哲<sup>3</sup>  
Tatsuhiko Kawamoto<sup>1\*</sup>, Kenji Mibe<sup>2</sup>, Ken'iti Kuroiwa<sup>1</sup>, Tetsu Kogiso<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科地球熱学, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 京都大学人間・環境学研究科

<sup>1</sup>Inst. Geothermal Sci., Kyoto Univ., <sup>2</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>3</sup>Human & Environment Studies, Kyoto Univ.

### 背景

マグマと水流体は沈み込み帯に存在する主要な流体で、両者の微量成分元素の分配を知ることは、沈み込み帯での元素移動を理解する上で鍵になる。そのため、1970年代以降、両者の間の元素分配を決定するための急冷回収実験が行われてきた。水流体に溶け込んでいた溶質を急冷回収することが難しいため、急冷回収実験で報告されているデータは、お互い異なっている場合がほとんどで、原因として実験・分析方法が異なるためと考えられている。近年、放射光 X 線マイクロビームを用いた蛍光 X 線局所分析が可能になり、高温高压条件でのマグマと水流体の微量成分のその場分析が可能になってきた。これまで、フランスとドイツの研究者達を中心になって、ダイヤモンドアンビルセルを用いて成果を出し始めている。私たちは、外熱式ダイヤモンドアンビルセルよりも容易により高い温度・より高い圧力条件を出せるマルチアンビル型高温高压発生装置を用いて、共存するマグマと水流体の間での元素分配の実験を行っている。

### 手法

大型放射光実験設備 SPring-8 の BL04B1 に設置されている川井型マルチアンビル高温高压発生装置 SPEED1500 を使用した。入射 X 線に対し 6 度の角度で SSD 検出器を置いて蛍光 X 線を測定した。元素は入射 X 線の強度特性と検出器とのマッチングにより最適化されているエネルギー領域にある、Cs、Ba、希土類元素などを狙った。ケイ酸塩試料に元素化合物（多くは酸化物で、まれに水酸化物とケイ酸塩鉱物）を混合し、100 ないし 250 ミクロン x 100 ないし 250 ミクロン x 1.3 ないし 0.6mm (X 線の透過方向) の空間に対して分析を行った。高温高压条件では水を 50 ないし 70 重量%、二酸化炭素を 1 ないし 3% 含む。スペクトルの採取時間は 50 分で、メルトと流体部分を交互に測定する。

### 結果

実験は高 Mg 安山岩と水または塩水を用いて、1 万気圧、1.5 万気圧、2 万気圧、2.2 万気圧で行った。X 線は連続 X 線と微量成分元素の特性 X 線からなるが、その連続 X 線の強度はマグマの方が水流体よりも常に高い。しかし、圧力が 1 万気圧から 2.2 万気圧に変化する間に、その差は徐々に小さくなって行く。このことは、圧力があがるにつれて、水流体に溶け込むマグマ成分が増加していることを示している。また、塩水を用いた実験の方が、連続 X 線の強度比が 1 万気圧と 1.5 万気圧では小さく、2 万気圧、2.2 万気圧では、純水・塩水を用いた両実験に差はなくなる。低圧条件では、純水よりも塩水に、マグマ成分がより多く溶け込んでいることを示していると考えられる。

純水を用いた実験では、1 万気圧ではドーブした微量成分は、ほぼすべてマグマに分配される。1.5 万気圧で Cs が水流体に分配され始める。2 万気圧、2.2 万気圧では、Cs に加え少量の Ba が流体にすこしだけ分配される。2.2 万気圧では La が水流体にすこしだけ分配される。一方、塩水を用いた実験では、1 万気圧で、すでに Cs と Ba が水流体に分配される。2 万気圧、2.2 万気圧で La がこれに少量加わる。

### 結論

マグマと塩水流体が分離する時、アルカリ元素 (Cs) と 2 価の元素 (Ba) の一部と 3 価の元素 (La) のごく一部は塩水流体に分配され、2 価の元素の多くと 3 価の元素のほとんどはマグマに分配される。Keppler (1996, Nature) は急冷回収実験データをもとに、「スラブ流体が塩水でなければ、沈み込み帯マグマを特徴づける微量成分元素をスラブからマントルウェッジに運んで来られない」と提案した。急冷回収実験で流体組成の推定は困難と想像するのは容易である。しかし、その場観察実験を行なった結果、大まかには Keppler の実験と近い結果を得た。このことは、定性的には彼の結論を変更する必要はないことを示している。すなわち、スラブ流体は塩水であると考えた方がよい。今後、塩濃度やそのほかのケイ酸塩濃度について、より理解が進むと考える。

本実験によって、圧力と塩濃度が与えるこれらの微量成分元素のマグマと水流体の間の元素分配を理解することができつつある。これらの実験結果が沈み込み帯での元素移動やマグマの生成に与える意味を考えたい。

キーワード: 水, マグマ, 高温高圧, 元素分配, 放射光 X 線, 沈み込み帯

Keywords: water, magma, high-pressure and high-temperature, elemental partition, synchrotron X-ray, subduction zone

SCG060-06

会場:302

時間:5月25日 09:45-10:00

## 含水岩石の弾性波速度および電気伝導度に及ぼす封圧・間隙流体圧の影響 Influence of confining and pore fluid pressures on velocity and conductivity of water-saturated rock

渡辺 了<sup>1\*</sup>, 久野 亜由美<sup>1</sup>, 樋口 明良<sup>1</sup>  
Tohru Watanabe<sup>1\*</sup>, Kuno Ayumi<sup>1</sup>, Akiyoshi Higuchi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山大学

<sup>1</sup> University of Toyama

震源領域の間隙流体圧は、地震発生に大きな影響を与えられている [例えば, Sibson (2009)]。地震波速度や電気伝導度という観測量から間隙流体圧を推定することができれば、地震活動についての理解を前進させることができるだろう。このためには、地震波速度や電気伝導度が間隙流体圧をどのように反映するかを明らかにする必要がある。このような問題意識のもと、われわれは、封圧と間隙流体圧を独立に制御しながら、含水岩石の弾性波速度と電気伝導度の測定を行っている。

含水岩石の間隙流体圧を制御しながら電気伝導度を測定するために、われわれは、新たに油圧-水圧変換機構を開発した。これは、ジュラコン製のピストンを用いて、圧力容器外部から加える油圧により試料内部の流体（水溶液）の圧力を制御するものである。この変換機構を用いることによって、岩石試料内部の間隙流体と圧力容器（金属）とを電気的に絶縁することができる。圧力 0-150MPa の範囲で油圧と水圧との線形性は良好であり、ピストンの摩擦による圧力差は 2-3% である。

岩石試料としてベレア砂岩（直径：25mm，長さ：30mm）を用いて測定を行った。円柱試料は、堆積面に対して垂直な軸をもつ。粒径は 100-200 micrometer，空隙率は 19.1%，浸透率は  $3 \times 10^{-13} \text{ m}^2$  である。乾燥状態での弾性波速度は、軸に垂直な方向で  $V_p=3.2-3.3 \text{ km/s}$ ， $V_s=1.9-2.0 \text{ km/s}$ ，平行な方向で  $V_p=3.0-3.1 \text{ km/s}$ ， $V_s=1.9 \text{ km/s}$  である。堆積面に垂直な方向でわずかに遅い。水で飽和させると、 $V_p=3.5 \text{ km/s}$ ， $V_s=2.1 \text{ km/s}$  となり、 $V_p$  で有意な増加がみられる。間隙流体圧一定の条件では、封圧の増加に伴って  $V_p$ ， $V_s$  は増加する。一方、封圧一定の条件では、間隙流体圧の増加に伴って  $V_p$ ， $V_s$  の低下がみられた。有効封圧を封圧と間隙流体圧の差として定義すると、 $V_p$ ， $V_s$  の変化は有効封圧の変化と良い相関があることが分かった。また、有効封圧の増加に伴う  $V_p$ ， $V_s$  の増加は有効封圧 60MPa 付近から頭打ちになる傾向がみられた。これはベレア砂岩を用いた Christensen and Wang (1985) の結果と同様である。講演では、電気伝導度の結果についても述べる予定である。

キーワード: 弾性波速度, 電気伝導度, 封圧, 間隙流体圧, 含水岩石

Keywords: elastic wave velocity, electrical conductivity, confining pressure, pore fluid pressure, water-saturated rock



SCG060-07

会場:302

時間:5月25日 10:00-10:15

## マントルウェッジにおける流体量及び形態の空間分布に関するベイズ推定 A Bayesian approach to spatial estimation of fluid content and geometry in the mantle wedge

桑谷 立<sup>1\*</sup>, 永田賢二<sup>1</sup>, 岡田真人<sup>1</sup>, 鳥海光弘<sup>1</sup>  
Tatsu Kuwatani<sup>1\*</sup>, Kenji Nagata<sup>1</sup>, Masato Okada<sup>1</sup>, Mitsuhiro Toriumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup> Frontier Sci., Univ. of Tokyo

Recent development of seismic tomography enables us to image the detailed velocity structure in the mantle wedge beneath the Japanese islands (e.g. Nakajima et al., 2001). Nakajima et al. (2005) clarified the variations of porosity and pore geometry from the reduction degree of  $V_p$  and  $V_s$  data sets in the mantle wedge of the NE Japan by using the unified formulation of the effect of fluid phase on the seismic velocity. However, it is difficult to image the spatial distributions of porosity and pore geometry because seismic velocity data always have error. In this study, we try to image the porosity and pore geometry by using the Markov random field model, which is a type of Bayesian stochastic method that is often applied to image analysis. The spatial continuity of porosity and pore geometry is incorporated by Gaussian Markov Chains as prior probabilities in order to apply the MRF model to our problem. The most probable estimation can be obtained by maximizing the posterior probability of the fluid distribution given the observed velocity structures. In the present study, the steepest descent method was implemented in order to maximize the posterior probability using the Markov chain Monte Carlo (MCMC) algorithm. First, synthetic inversion tests are conducted in order to investigate the effectiveness and validity of the proposed model. Then, we apply the model to the natural data sets of the seismic velocity structures in the mantle wedge (Matsubara et al. 2008), by assuming the physical properties other than porosity and pore geometry (i.e. temperature and type of fluid) are given. Finally, we discuss the validity of the assumption and our model.

キーワード: 流体, マントルウェッジ, ベイズ推定

Keywords: fluid, mantle wedge, Bayesian estimation

SCG060-08

会場:302

時間:5月25日 10:15-10:30

## スラブ-マントルウェッジ-マグマの元素マスバランス Spreadsheet mass balance for exploring on element behavior between subducted slab, mantle wedge, and magma

木村 純一<sup>1\*</sup>, 川畑 博<sup>1</sup>, ブラッド・ハッカー<sup>2</sup>, ピーター・バンケケン<sup>3</sup>, ジェームス・ギル<sup>4</sup>, ロバート・スターン<sup>5</sup>  
Jun-Ichi Kimura<sup>1\*</sup>, Hiroshi Kawabata<sup>1</sup>, Bradley R. Hacke<sup>2</sup>, Peter E. van Keken<sup>3</sup>, James B. Gill<sup>4</sup>, Robert J. Stern<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> カリフォルニア大学サンタバーバラ校, <sup>3</sup> ミシガン大学, <sup>4</sup> カリフォルニア大学サンタクルツ校, <sup>5</sup> テキサス大学ダラス校

<sup>1</sup>IFREE/JAMSTEC, <sup>2</sup>University of California, Santa Barbara, <sup>3</sup>University of Michigan, <sup>4</sup>University of California Santa Cruz, <sup>5</sup>University of Texas at Dallas

We have developed the Arc Basalt Simulator version 3 (ABS3), a quantitative calculator to examine the mass balance of (1) slab-dehydration and melting, and (2) slab fluid/melt-fluxed mantle melting, and to quantitatively evaluate magma genesis beneath arcs. Calculation results from the ABS3 model suggest that element re-distribution between the subducted slab and slab-derived liquid controls distinctive trace element signatures found in arc magmas and crust. The slab liquid is derived from various mixtures of fluids and melts from sediment and altered oceanic crust, dependent on the thermal structure of the subducted slab. Slab fluids are mostly generated by slab-dehydration to form the volcanic front (VF) magmas with slab P-T conditions around 3 GPa/ 750(C), whereas slab may melt at 3-6 GPa > 830(C) contributing either to the VF or to rear arc (RA) magmas. Compositions of slab fluids and melts are controlled primarily by breakdown of amphibole and lawsonite for VF and phengite for RA slab depths in association with the residual eclogite mineral phases including garnet, clinopyroxenes, and quartz. Temperature dependent partition coefficients and different partition coefficients between melt/fluid and minerals are additional controls. Minor mineral phases such as zircon and titanite also play important roles for certain elements. The slab liquid fluxed melting of depleted mantle wedge peridotite plays additional role to element re-distribution in subduction zone. The degree of partial melting varies between 17-28 % (VF) and 3-22 % (RA), with a slab flux fraction of 2-4.5 % (e.g., VF fluid) to 1-1.5 % (e.g., RA melt), and at melting depths corresponding to 1-2.5 GPa (VF) and 2.4-2.8 GPa (RA). Addition of fluid-immobile elements from the mantle contributes 78-98 % of the magma mass and controls certain isotopes such as Nd and Hf in arc magmas. However, element addition from the slab liquid modifies the liquid mobile elements/isotopes in the arc magmas significantly. The residual peridotite composition is also altered due to modification by the slab flux addition and melt depletion. Modeled peridotite compositions are similar to some peridotites in supra-subduction zone ophiolites, suggesting that element re-distribution beneath arcs is complex.

キーワード: 地球化学, スラブ, マントルウェッジ, マグマ, マスバランス

Keywords: Geochemistry, slab, mantle wedge, magma, mass balance

SCG060-09

会場:302

時間:5月25日 10:45-11:00

## 裂か中の流体の上昇による石英の沈殿とそれによる流体圧上昇の数値解析 A numerical examination of quartz precipitations from ascending fluids and resultant increases in fluid pressures

星野 健一<sup>1\*</sup>, 藤田 一菜<sup>1</sup>

Kenichi Hoshino<sup>1\*</sup>, Kazuna Fujita<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ.

Sibson et al. (1988) や Sibson (1992) で提唱された fault-valve model の可能性を検証するために、裂か中を上昇する流体による石英の沈殿と、それにより引き起こされる流体圧の上昇の数値解析を行なった。これまで断層領域における割れ目充填の詳細な解析が多くなされているが(例えば, Gratier et al., 2003), 流体圧の上昇を引き起こす鉱物沈殿を伴う流体の裂か中の上昇に関する本質的な特徴についての解析は少ないと思われる。そこで、次の二つの単純化された例について、数値解析を行なった:

(a) 流体は、地温勾配に沿った温度を保ちながら、ゆっくり上昇する。

(b) 流体は、等エンタルピーまたは準等エンタルピー的に、素早く上昇する。

実際の流体の上昇は、上記の2つの例の間であろう。

温度/圧減少に伴う石英の溶解度の減少率は、高温・高圧ほど大きい。従って、流体がゆっくり上昇する場合には、裂かの最下部における石英の沈殿量が最も大きくなる。この沈殿に伴う裂か幅の減少は、流体圧の上昇を引き起こし、最下部における流体圧の勾配を増大させ、沈殿を益々促進させることになる。従って、この場合には、最下部が最も早く塞がれるであろう。

一方、流体が等エンタルピー的に素早く上昇する場合には、裂かの全ての深度が沸騰領域となる。従って、流体は裂かの最下部で沸騰し、蒸気のみが裂か中を上昇するであろう。この場合には、裂かの最下部のみで石英の沈殿が生じるはずである。流体が少量のエンタルピーロスに伴いながら上昇する場合にも、最下部で沸騰する。適当なエンタルピーロスの条件下では、上昇する蒸気が適当な深度で結露するが、この結露した流体から裂かの充填を引き起こすほどの石英の沈殿は生じないであろう。

流体のエンタルピーロスが適当な値の範囲では、流体は最上部付近(おそらく地表下数百メートル)で沸騰する。この場合、初期の段階では、沸騰している部分で石英の沈殿が最も多い。しかしながら、この沈殿による流体圧の上昇は、沸騰開始深度を上方にシフトさせ、また、その深度の流体圧勾配も減少させることから、結果的に沈殿量を抑制する。従って、最下部での引き続き石英の沈殿量が、やがて最上部付近のそれを超えてしまうであろう。

ここで興味深いのは、流体の沸騰が起こるのは、そのエンタルピーロスの程度により、最下部か最上部付近のどちらかであり、裂かの途中で沸騰する条件は見出されないということである。このことは、両者のエンタルピーロスの程度の間にしきい値があることを示していると思われる。

流体のエンタルピーロスが大きい場合には、流体の沸騰は生じない。従ってこの場合には、ゆっくり上昇する流体と同様の挙動を示すであろう。

以上のように、単純化された(a)と(b)の何れの場合でも、ほとんどの場合、上昇する流体から沈殿する石英の量は最下部で最も多く、従って、最下部で流体圧の上昇と裂かの閉塞が最も早く達成される。

この解析結果は、おそらくどの深度から上昇する流体でも適応されると考えられる。従って、裂か中を上昇する流体からの鉱物沈殿による流体圧の増加が、地震発生深度に対応する必然性は見られない。

キーワード: 流体, 裂か, 石英, 断層, 流体圧

Keywords: fluid, fracture, quartz, fault, fluid pressure, fault-valve

SCG060-10

会場:302

時間:5月25日 11:00-11:15

## 地殻におけるシリカ鉱物析出様式・速度に対するAlの影響

## Effects of Al on kinetics of precipitation of silica minerals from aqueous fluids under crustal conditions

最首 花恵<sup>1\*</sup>, 岡本 敦<sup>1</sup>, 土屋 範芳<sup>1</sup>

Hanae Saishu<sup>1\*</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院環境科学研究科

<sup>1</sup>Tohoku university

Silica is a dominant component in the Earth's crust. Because of high solubility of silica in aqueous fluids and its dependency on P-T conditions, dissolution and precipitation processes of silica minerals play significant roles on the spatial and temporal distributions of fluids and rock strength in the crusts. An ubiquitous occurrence of quartz veins in the vicinity of seismogenic zones implies the importance of the sealing of fractures by quartz on the earthquake cycle.

In spite of the importance of the kinetics of silica precipitation, the complete expression of the rate equation has not been determined, except for precipitation rates on surface reactions (Rimstidt & Barnes, 1980). The difficulty in the estimates of the precipitation rate is arisen from the following reasons. First, although quartz is the most stable silica minerals in the crust, cristobalite and amorphous silica occur in the geothermal areas (Alekseyev et al., 2009). Second, precipitation of silica minerals occurs not only on quartz surfaces but also via nucleation processes in fluids. Third, trace elements including  $Al^{3+}$ ,  $Na^+$  and  $K^+$  in solutions affect on the species and kinetics during silica precipitation (Okamoto et al., 2010). Feldspars are dominant constituents of the crust, and thus the effects of these minor components are crucial for considering the silica precipitation in the crust.

In this study, we conducted the hydrothermal flow-through experiments to investigate the overall precipitation rate of silica minerals and the effects of Al in the solutions under crustal conditions (430 C and 31 MPa). The experimental apparatus is similar to that in Okamoto et al. (2010). For precipitation of silica minerals, we used a blank vessel that does not include any rock/mineral substrates. The Si-supersaturated solutions (300-350 ppm,  $C/C_{eq} = 3-3.5$ ) were prepared by dissolution of quartz at 350 °C, and the concentration of Al in the input solution was controlled by dissolution of albite or granite with different temperatures. The Al and Na (and K in the case of granite) included in the input solutions from 0 to 7 ppm, and the atomic ratio of Al and Na were unity, that is same as the stoichiometry of albite.

The experiments in pure Si solution revealed that the precipitation via nucleation in fluids was approximated as the first-order reaction that is the same as the precipitation on the pre-existing quartz surfaces. Activation energy of precipitation of silica minerals from the solution was estimated to be 39 kJ/mol. In solutions in absence of Al, amorphous silica precipitated. With increasing Al and Na contents in the solutions, the dominant silica mineral systematically changes from amorphous silica, cristobalite to quartz. An important observation is that the logarithmic precipitation rate increased linearly with increasing the Al concentration. Combining these results and the surface reaction rate obtained in the previous study, we obtain the empirical full expression of the rate equation on the silica precipitation that is a function of the degree of supersaturation, temperature, pre-existing quartz surface area, water volume, and Al concentration. One of the implications of this rate equation is that dominant precipitation mechanism changes from surface growth on quartz to precipitation via nucleation, with increasing fracture aperture or decreasing quartz mode in the wall rock in the crust. This is consistent with the observations of natural quartz veins. We will discuss the spatial distribution of silica precipitation and its relationship to the fluid flow in the crusts.

References: Rimstidt, J. D. and Barnes, H. D., 1980, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 44, 1683-1699.; Alekseyev, V. A., Medvedeva, L. S. and Starshinova, N. P., 2009, *Geochem. Int.*, 47, 731-735.; Okamoto A., Saishu H., Hirano N. and Tsuchiya N., 2010, *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 74, 3692-3706.

キーワード: シリカ鉱物, アルミニウム, 反応速度, 析出, 水熱実験, 鉱物脈

Keywords: silica minerals, aluminum, kinetics, precipitation, hydrothermal experiments, vein

SCG060-11

会場:302

時間:5月25日 11:15-11:30

## マリアナ弧 NW Rota-1 火山のマグマと不均質なマンテルダイアピル Two primary basalt magmas from NW Rota-1 volcano, Mariana arc, and its heterogeneous mantle diapir

田村 芳彦<sup>1\*</sup>

Yoshihiko Tamura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

<sup>1</sup> IFREE, JAMSTEC

Primitive basalts are rarely found in arcs. The active NW Rota-1 volcano in the Mariana arc has erupted near-primitive lavas, which we have sampled with ROV Hyperdolphin (HPD). Samples from the summit (HPD480) and eastern flank (HPD488) include 17 magnesian basalts (51-52 wt % SiO<sub>2</sub>) having 7.5-9.5 wt % MgO and Mg# of 61-67, indicating little fractionation. Olivine phenocrysts are as magnesian as Fo<sub>93</sub> which contain 0.4 wt % NiO; Cr/(Cr+Al) of spinels are mostly 0.5-0.8, indicating equilibrium with depleted mantle. There are three petrographic groups, based on phenocryst populations: 1) cpx-olivine basalt (COB); 2) plagioclase-olivine basalt (POB); and 3) porphyritic basalt. Geochemical characteristics suggest that POBs formed from lower degrees of mantle melting, or that the COB mantle source was more depleted. On the other hand, they also suggest that COB has a greater subduction component than POB. The calculated primary basaltic magmas of NW Rota-1 volcano (primary POB and COB magmas) indicate segregation pressures of 1.5- 2 GPa (50-65 km deep). These magmas were formed by 15-25 % melting of mantle peridotite having Mg# ~89.5. These two basalt magmatypes are similar to those found for Sumisu and Torishima volcanoes in the Izu-Bonin arc, with COB representing wetter and POB representing drier magmas, where subduction zone-derived melt components are coupled with the water contents. Hydration and partial melting along subducting slabs can trigger Rayleigh-Taylor-like instabilities. Deep subduction components, derived from melting of subducting sediments, play an important role in the generation of NW Rota-1 magmas. Thus, the sediment melting in the underlying slab could have triggered partial melting of hydrous mantle and mantle diapir formation. Moreover, sediment melts may have mixed heterogeneously with hydrous peridotite, which resulted in a mantle diapir consisting of two parts, one poor and another rich in sediment melt.

キーワード: 初生マグマ, マンテルウエッジ, 玄武岩, 島弧マグマ

Keywords: primary magmas, mantle wedge, basalt, arc magmas

SCG060-12

会場:302

時間:5月25日 11:30-11:45

## イタリア、フィネロ金雲母かんらん岩体の岩石学的特徴 Petrological characteristics of the Finero Phlogopite-Peridotite Massif, Italy

鈴木 敬人<sup>1</sup>, 森下 知晃<sup>1\*</sup>, 田村 明弘<sup>1</sup>, 芳川 雅子<sup>2</sup>, ザネッティ アルベルト<sup>3</sup>, マズッケーリ マウリシオ<sup>4</sup>  
Takahito Suzuki<sup>1</sup>, Tomoaki Morishita<sup>1\*</sup>, Akihiro Tamura<sup>1</sup>, Masako Yoshikawa<sup>2</sup>, Alberto Zanetti<sup>3</sup>, Maurizio Mazzucchelli<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学, <sup>2</sup> 京都大学, <sup>3</sup> パビア地球科学研究所, <sup>4</sup> モデナ大学

<sup>1</sup>Kanazawa University, <sup>2</sup>Kyoto University, <sup>3</sup>CNR-Pavia, <sup>4</sup>Universita di Modena

イタリア、フィネロ金雲母かんらん岩体は、角せん石、金雲母などの含水鉱物を多産し、かつ低温での蛇紋岩化や変質プロセスの影響が少ないため、流体によるマントル交代作用を理解するための天然試料として世界的に有名である。フィネロ岩体では化学分析に基づいた研究は多くなされているが（例えば、Zanetti et al., 1999 Contrib. Mineral. Petrol. 134, 107-122; Morishita et al., 2008 Chem. Geol. 25, 99-111）、岩石学的な実体について詳細には明らかにされていないのが現状である。そこで、我々は岩石学特徴について検討を始めた。その結果、フィネロ岩体では、シリカ成分の付加、複数の流体の関与、アンチグライトータルクを形成するような条件での蛇紋岩化プロセス、シュードタキライト様岩の形成が記録されていることがわかってきた。

キーワード: 流体, かんらん岩, 交代作用, フィネロ岩体

Keywords: fluid, peridotite, metasomatism, Finero massif



SCG060-13

会場:302

時間:5月25日 11:45-12:00

## 炭素 13 ダイヤモンドの高温高圧その場ラマン観察：圧力センサーへの応用 Pressure and temperature dependence of <sup>13</sup>C diamond Raman shift determined in-situ to 1.27 GPa and 800 degree C

山下 茂<sup>1\*</sup>, Mysen Bjorn<sup>2</sup>  
Shigeru Yamashita<sup>1\*</sup>, Bjorn Mysen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 岡山大学地球物質科学研究センター, <sup>2</sup> カーネギー研究機構地球物理学研究所  
<sup>1</sup>ISEI, Okayama University, <sup>2</sup>Geophysical Laboratory, CIW

The pressure- and temperature-dependent Raman shift of synthetic <sup>13</sup>C diamond was determined in-situ at temperatures to 800 degree C and at pressures to 1.27 GPa. In-situ experiments were conducted using an Ir-gasketed, externally-heated diamond anvil cell (HDAC) fitted to confocal micro-Raman spectrometer. The pressure dependence of the Raman shift was calibrated to the equation-of-state of pure H<sub>2</sub>O (IAPWS-95, Wagner and Pruss, J. Phys. Chem. 31, 2002) with a piece of the <sup>13</sup>C diamond aggregate (99% pure) and distilled H<sub>2</sub>O loaded in the sample chamber of the HDAC. Temperature was controlled to plus-minus 1 degree C with chromel-alumel thermocouples in contact with the anvils near the sample chamber. To ensure the highest precision of the <sup>13</sup>C diamond Raman shift, the emission of the 585 nm Ne line was recorded simultaneously as reference. The in-situ experiments were repeated along four different isochore paths to cover a wide coverage of pressures at high temperatures (0.38 to 1.27 GPa at 800 degree C). No carbon-bearing species were detected in the H<sub>2</sub>O fluids, which means that the <sup>13</sup>C diamond does not react with H<sub>2</sub>O and the diamond anvils as well during these high temperature and pressure measurements.

Multiple regression analysis demonstrated that the pressure and temperature dependence of the <sup>13</sup>C diamond Raman shift can be described by a simple quadratic linear form:  $\nu(P, T) - \nu(0.1, 25) = -1.065 (\text{plus-minus } 0.044) \times 10^{-2} T - 1.769 (\text{plus-minus } 0.046) \times 10^{-5} T^2 + 2.707 (\text{plus-minus } 0.249) \times 10^{-3} P$ , where  $\nu(0.1, 25)$  is the Raman shift at ambient condition (1287 cm<sup>-1</sup>), T is temperature in degree C and P is pressure in MPa. The average error in the pressure determination with this form is estimated to be plus-minus 0.11 GPa. The pressure derivative and the temperature derivative are both consistent with those of Bassett (Mineral Spectroscopy, 1996) and Schiferl et al. (J. Appl. Phys. 82, 1997), within the uncertainties in the regression analysis. In those previous studies, the pressure dependence was measured at ambient temperature, and the temperature dependence was separately measured at ambient pressure. The present result indicates that the pressure and temperature cross derivatives might be present but are negligibly small over the pressure and temperature conditions investigated.

キーワード: ダイヤモンド, 水流体, ラマンシフト, 高温高圧その場観察  
Keywords: diamond, H<sub>2</sub>O fluid, Raman shift, in-situ observation

## 長崎県対馬の浅所貫入花崗岩体の熱水流体の組成 Chemical compositions of hydrothermal fluids derive from a shallow emplacement granite body in Tsushima, Japan.

黒澤 正紀<sup>1\*</sup>, Shin Ki-Cheol<sup>2</sup>, 石井 聡<sup>3</sup>, 笹 公和<sup>4</sup>  
Masanori Kurosawa<sup>1\*</sup>, Ki-Cheol Shin<sup>2</sup>, Satoshi Ishii<sup>3</sup>, Kimikazu Sasa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 筑波大・生命環境, <sup>2</sup> 総合地球環境学研究所, <sup>3</sup> 筑波大学・研究基盤セ, <sup>4</sup> 筑波大・数理物質

<sup>1</sup>Life Env. Sci., Univ. Tsukuba, <sup>2</sup>Res. Inst. Hum. Nat., <sup>3</sup>Res. Fac. Center, Univ. Tsukuba, <sup>4</sup>Puru Appl. Sci., Univ. Tsukuba

花崗岩体の結晶分化で生じる熱水流体は花崗岩起源流体と呼ばれ、島弧の上部地殻での重要な流体の一つである。この流体は、移動過程で温度圧力低下・鉱物析出・2相分離などにより組成が多彩に変化し、それに応じて様々な地質現象に影響を与える。特に、金属鉱床・変質帯・周辺深部地下水の形成には大きな役割を果たす。通常、移動流体の一部は、脈岩や既存鉱物中に流体包有物として捕獲されるので、流体包有物の分析を通じて流体の組成と挙動および地質現象への影響の情報を得ることができる。今回は、島弧地殻の最浅部に貫入した花崗岩体の熱水流体の化学的特徴を明らかにするため、長崎県の対馬花崗岩の流体包有物を粒子線励起X線分析法 (PIXE) で分析した。

対馬花崗岩は海底堆積物に貫入した小規模な中新世花崗岩体で、固結深度が2~6 kmと浅い。小規模な晶洞とわずかな石英脈を含み、岩体周囲に大規模な鉛-亜鉛鉱床を伴う。今回は、晶洞・岩体内部の石英脈・岩体に最近接した金属鉱床の石英脈に含まれる流体包有物を試料とした。晶洞は岩体固結時の流体成分が集合してできたガス穴で、その包有物は岩体の初生流体の情報を持つ。対馬花崗岩は、岩塩を含む多相包有物を多量に含み、他に気相・2相、少量の液相に富む低濃度2相・CO<sub>2</sub>の各包有物を含む。多量の多相包有物の存在は、流体発生の際に沸騰状態にあったことを示す。晶洞と岩体内石英脈の包有物もほぼ同様である。晶洞の多相包有物の均質化温度は約200~460、塩濃度は約28~60 wt.% NaClである。2相包有物の均質化温度もほぼ同じである。岩体内石英脈の多相包有物と2相包有物の均質化温度・塩濃度は晶洞とほぼ同じである。鉱床石英脈は多量の2相包有物を含み、多相・気相・低濃度2相・CO<sub>2</sub>の各包有物を含む。多相包有物の均質化温度は約250~450、塩濃度は約28~49 wt.%である。2相包有物の均質化温度もほぼ同じである。これらを筑波大学研究基盤センターのPIXEで分析した。

分析の結果、晶洞の多相包有物は、平均で約25 wt%のCl、約1~5 wt%のK・Fe、数百~数千 ppmのCa・Mn・Ba・Zn・Pb・Br、200~400 ppmのCuとRb、百 ppm以下のSr・Geを含む。この組成が、花崗岩固結直後の放出流体の組成に相当すると考えられる。これらの濃度は、より深い貫入深度を示す甲府花崗岩体の初生流体よりも数倍高く、斑岩銅鉱床の多相包有物の濃度に匹敵する。対馬花崗岩は貫入深度が浅いため、花崗岩固結条件が塩水の沸騰条件と重なる。そのため、沸騰による水蒸気・塩水間の元素分配で生じた高塩・高金属濃度流体から多相包有物は生じたと考えられる。岩体内部と鉱床の石英脈の多相包有物は、晶洞とほぼ同様な濃度であるが、岩体内石英脈は晶洞よりもFe・Cu・Baが高く、鉱床石英脈のものはZn・Pb・Brが高い。これは流体の移動や発生条件による組成変化を意味し、日本の熱水脈ではやや深部の鉱床に銅鉄鉱脈が、浅所に鉛亜鉛鉱脈が多いという経験則と調和的である。元素濃度の多くはCl濃度に比例し、多くの元素同士でも正の相関を示す。但し、晶洞・岩体内石英脈・鉱床石英脈の各包有物での元素相関の傾きは異なり、形成条件の違いを示唆する。

流体の起源と挙動を検討するため、2相包有物のBr/Cl比(重量比)を見ると、晶洞は約0.0014、岩体内石英脈は0.0022、鉱床石英脈は0.0027、と海水の値の0.0034より低い。一方、多相包有物の値は、晶洞で0.0015~0.0043、岩体内石英脈で0.0020~0.0108、鉱床石英脈で0.0019~0.0124、と産状により大きく異なる。このような高Br/Cl比の流体は稀で、産状によるBr/Cl比の大きな違いもこれまで数例しか報告がない。流体のBr/Cl比は、岩塩析出・塩素を優先的に取り込む鉱物の析出・岩石-水反応・マグマ-流体間のBr-Cl分配の温度圧力変化などで変化する。今回は、マグマ-流体間の元素分配と沸騰条件での2つのBr-Cl分配によって、多相包有物のBr/Cl比の検討を試みた。その結果、約1 kb・600~800

でマグマからの熱水分離・沸騰が生じると晶洞の多相包有物のBr/Cl比が説明可能で、約0.9 kb・670~600での分離・沸騰によって岩体内石英脈の値が、0.6~0.45 kb・550~450での分離・沸騰によって鉱床石英脈の値も説明可能なことが示唆された。この結果を考慮すると、今回観察された流体は、ある深度にマグマだまりが定置しつつも、その後の堆積物の削剥や日本海形成の伸張場のテクトニクスの影響で、結果的に浅所へと移動しながら冷却固化し、岩体全体の圧力と温度の低下によって発生流体の組成が変化したと解釈できる。単純には、定置した貫入岩体内部での異なる深さ・温度条件でマグマから分離して形成されたとも解釈できる。

Keywords: Fluid inclusion, trace element, X-ray analysis, granite, PIXE, ion beam

SCG060-15

会場:302

時間:5月25日 12:15-12:30

## 飽和蒸気圧下におけるかんらん石-水・斜方輝石-水系における加水反応の進行 Progress of hydration in olivine-H<sub>2</sub>O and orthopyroxene-H<sub>2</sub>O systems at Psat

小笠原 由一<sup>1\*</sup>, 岡本 敦<sup>1</sup>, 土屋 範芳<sup>1</sup>

Yuichi Ogasawara<sup>1\*</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Tohoku Univ., Japan

Hydration of ultramafic rocks (serpentinization) commonly occurs in mid-ocean ridges, and the extent and distribution of hydrated mantle plays an important role on the global circulation of H<sub>2</sub>O fluids. Although there have been several experimental studies on serpentinization (e.g., Martin and Fyfe, 1970; Seyfried et al., 2003), these studies focused only on the H<sub>2</sub>O content in the products or solution chemistries. Therefore, fundamental kinetics and mechanism of serpentinization is still poorly understood. In this study, we conducted hydrothermal experiments on serpentinization to clarify the relationship between the temporal evolution of solution chemistry, progress of hydration reaction and textural developments.

The starting materials were powders of olivine (Fo<sub>90</sub>, Fa<sub>10</sub>) or orthopyroxene (En<sub>65</sub>, Fs<sub>35</sub>) with size of <0.125mm. The powders and the distilled water were set in the batch type vessel (8.8 cm<sup>3</sup>) made of the stainless steel with water/rock ratio of 1.0. The temperatures were 250 degreeC at the liq-vap saturation curve. The duration was up to 1008 hours. After the experiments, the solid samples were dried at 90 degreeC for one day, and then were analyzed by X-ray diffractometry and Thermogravimetry. The morphology and cross sections of the products were observed by Scanning electron microscope. The solutions were analyzed by ICP-Mass Spectrometry. The pH values of the solution after the experiments were 7.6-8.5 at room temperature. In both systems, hydration reactions proceeded, but show quite different features in the products and solutions. In the Opx-H<sub>2</sub>O experiments, chlorite formed on the surfaces of opx grains. The Si concentration increased with time toward 193.8 ppm, whereas the concentration of Mg was 3.42 ppm. The total H<sub>2</sub>O content was less than <0.7 wt.% even at 1008 h. The formation of chlorite is different from the common occurrence of talc after orthopyroxene in natural peridotites. The reason is not clear, but one possibility is that higher Fe content in opx used in this study than that in the oceanic peridotites (En > 80). In the Ol-H<sub>2</sub>O experiments, the products were composed of serpentine, magnetite with or without brucite. The H<sub>2</sub>O content of the samples increased with time, and reached 3.9 wt.% in 1008h. According to the solution chemistry, the progress of serpentinization is divided into three stages. The concentrations of Si and Mg in solutions increased toward 3.66 and 20.54 ppm, respectively (stage 1), and then decreased drastically toward 0.29 ppm and 0.28 ppm at 504 hours, respectively (stage 2). After 504 h, the solution chemistry was nearly stable (stage 3). Accompanying with the change in the solution chemistry, the products varied as follows: After 336 hours (stage 2 and 3), brucite started to form at the contact with olivine within serpentine rims. Also, only lizardite occurs at stage 1 and 2, whereas chrysotile formed with lizardite. According to activity diagram in Mg-Si-O-H system, the solutions at stage 1 and 2 corresponds to the stability field of serpentine, and a drop in Si concentration indicates the shift from the serpentine stability field to serpentine+brucite stability field, that is consistent with the change of the products. These results suggest that serpentinization after olivine is not always simple as Ol+H<sub>2</sub>O=Serp+Br, but the reactions evolve with time. In common peridotites, Ol and Opx coexisted, and hydrothermal alteration occurs heterogeneously. Our experimental results indicate that olivine-H<sub>2</sub>O and opx-H<sub>2</sub>O system show a quite different fluid compositions (Si and Mg) and different rate of hydration. We will conduct further experiments with Ol+Opx+H<sub>2</sub>O systems, and discuss how hydration proceed in the oceanic seafloors.

References Janecky, D. R and Seyfried, W. E., (1986). *Geochim Cosmochim. Acta* 50,1357-1378. Martin, B and Fyfe, W. S., (1970). *Chem Geol* 6, 185-202. Allen, D. E and Seyfried, W. E, Jr., (2002). *Geochim Cosmochim. Acta* 67, 1531-1542

キーワード: 超塩基性岩, 蛇紋岩, 沈み込み帯

Keywords: ultrabasic rock, serpentine, subduction zone

SCG060-16

会場:302

時間:5月25日 12:30-12:45

## 顕微赤外高温その場分光観測による蛇紋石の脱水カインेटクス Dehydration kinetics of Antigorite by in situ high-temperature IR microspectroscopy

澤井 みち代<sup>1\*</sup>, 浜田 有紗<sup>1</sup>, 片山 郁夫<sup>1</sup>, 中嶋 悟<sup>2</sup>  
Michiyo Sawai<sup>1\*</sup>, Arisa Hamada<sup>1</sup>, Ikuo Katayama<sup>1</sup>, Satoru Nakashima<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学, <sup>2</sup> 大阪大学

<sup>1</sup>Hiroshima University, <sup>2</sup>Osaka University

沈み込むプレート(スラブ)内の地震発生機構には、蛇紋石等の含水鉱物の脱水過程が大きな役割を果たしていると考えられている。スラブ内での脱水反応により生じた流体が地震の発生に關与する可能性の他、蛇紋石の脱水分解反応に伴う体積変化や分解反応速度といったカインेटクスが地震発生の素過程に關与している可能性があることから、蛇紋石の脱水挙動の理解は重要な課題である。

従来の蛇紋石の脱水挙動は、主に X 線回折法を用いて調べられてきたが、それは水の状態を考慮せず、結晶構造の変化からとらえられてきた。一方、赤外吸収スペクトルを用いると、異なる水の状態に分離して脱水挙動を追うことが可能となる。Tokiwai and Nakashima (2010) は、顕微赤外高温その場分光観測を用いて、白雲母の脱水のカインेटクスを詳細に調べた。そこで本研究では、顕微赤外高温その場分光観測を用いて、蛇紋石の脱水カインेटクスを調べた。

試料は長崎県野母半島に産する蛇紋石(アンチゴライト)を用い、大阪大学設置の顕微赤外分光計を使用して、温度 650 - 750、大気圧下で、流量 60ml/min の Ar 気流中で、高温その場赤外分光観測を行った。

今回用いた長崎産蛇紋石の OH 伸縮振動の吸収帯には、低波数側から 3450 - 3510cm<sup>-1</sup> 付近 (peak1)、3570 - 3595cm<sup>-1</sup> 付近 (peak2)、そして 3655 - 3660cm<sup>-1</sup> 付近 (peak3) の 3 つのピークが確認された。Serna et al. (1979) は、peak1 及び peak2 は Si が Al に置換されていることによる OH に、peak3 は Mg - OH による吸収であるとしている。そこで本研究では、OH 吸収帯全面積の加熱による減少の解析に加え、OH 吸収帯を上記 3 つのピークに対応するガウス型関数による Fitting から、3 つの OH 成分に分離し、個々の成分の各温度での減少データを板状半無限の拡散方程式で近似して解析した。

その結果、各々のピークが異なる脱水速度及び活性化エネルギーをもつことが示唆された。拡散方程式による近似から得られた拡散係数は、Mg-OH による peak3 で大きく、Al に關係した OH による peak1,2 で小さい。また拡散係数の温度変化から得られる活性化エネルギーは、Mg-OH による peak3 よりも Al に關係した OH による peak1,2 の方が大きい。すなわち、Mg に伴う OH の方が Al に伴う OH よりも脱水しやすいことが示唆された。実際、同じ顕微赤外分光計を用いて行なった蛇紋石(アンチゴライト)の昇温・降温実験においても、Mg-OH による peak3 は Al に關係した OH による peak1,2 に比べて約 50 程度早く脱水した。これらの結果は、アンチゴライトに Al が含まれるか否かで安定領域が数十度変化すること、そして Al が含まれることで脱水温度が高温側にシフトすることを報告した Bromiley and Pawley (2003) と調和的である。

キーワード: 蛇紋石, 脱水カインेटクス, 拡散, 赤外分光その場観測

Keywords: serpentine, dehydration kinetics, diffusion, in situ IR microspectroscopy



SCG060-17

会場:302

時間:5月25日 14:15-14:30

## 流動ポテンシャルからみた浸透流ブルーム Thermal plume in porous media as revealed by streaming potential

Antoine Raphael<sup>1\*</sup>, 栗田 敬<sup>1</sup>, 松岡 弘明<sup>1</sup>  
Raphael Antoine<sup>1\*</sup>, Kei Kurita<sup>1</sup>, hiroaki matsuoaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学・地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Inst., The University

Fluid flow through porous media is a fundamental process to control fluid flow through the crust and the mantle. It has been extensively investigated for long time both in experimental and theoretical approaches but because of experimental limitations fluid dynamical approach has not been conducted enough in laboratory experiments. The main limitation comes from non-transparency of experimental cell, which is composed of solid framework and fluid in the pore space. Non-transparency of solid medium as well as density mismatch make optical investigation through the working cell difficult. Recently nondestructive tomographic methods such as NMR imaging are applied to derive flow field but it requires large experimental facility and lots of cost. In this presentation we report a trial in combining streaming potential and temperatures to estimate flow field in porous media.

Streaming potential, sometimes called as flow potential occurs when fluid flows through porous/granular material which has ion exchanges with flowing fluid. In the experimental cell of the size of 8x8x20 cm glass beads of homogeneous grain size (0.35 to 4 mm in diameter) are packed and NaCl aqueous solution is used as a working fluid. At the base of the cell we put a small heater (5x3x1 mm) as a localized heat source. Pt electrodes are inserted at several vertical positions above the heater along the center line to measure the induced potential by heating. Temperatures are measured by thermocouples along horizontal line 1cm above the heater and along the vertical centerline.

We measured temporal variations of potential and temperature upon heating with constant power supply to the heater. Systematic variations in the potential were obtained: after small decrease at the initiation large positive increase was observed (the potential signal is measured from the lowest electrode closed to the heater). The amplitude of the initial decrease seems not to depend on the applied power while the succeeding large increase is linearly proportional to the power.

We made numerical simulations to compare both potential and temperature in the corresponding geometry and similar situations as the experiment. We obtained similar behavior which can be interpreted as thermal plume rising above the heater in porous media. Different from laminar thermal plume formulated by Batchelor rising velocity of plume seems to depend linearly on the applied power. This confirms average field formulation of Darcy flow is effective in this permeability range.

Keywords: thermal plume, permeable flow, porous media, streaming potential



## レシーバ関数解析から推定された紀伊半島下のフィリピン海スラブ周辺の構造 Structure around Philippine Sea slab beneath Kii Peninsula inferred from receiver function analysis

澁谷 拓郎<sup>1\*</sup>, 福居 大志<sup>2</sup>, 中川 陽一朗<sup>3</sup>, 平原 和朗<sup>2</sup>, 中尾 節郎<sup>1</sup>, 西村 和浩<sup>1</sup>, 澤田麻沙代<sup>1</sup>

Takuo Shibutani<sup>1\*</sup>, Taishi Fukui<sup>2</sup>, Yoichiro Nakagawa<sup>3</sup>, Kazuro Hirahara<sup>2</sup>, Setsuro Nakao<sup>1</sup>, Kazuhiro Nishimura<sup>1</sup>, Masayo Sawada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京大・防災研, <sup>2</sup> 京大・理, <sup>3</sup> 日立製作所

<sup>1</sup>DPRI, Kyoto Univ, <sup>2</sup>Science, Kyoto Univ, <sup>3</sup>Hitachi Ltd

### 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 30~40km において、深部低周波イベントが帯状に分布する (Obara, 2002; 鎌谷・勝間田, 2004; Obara and Hirose, 2006)。地震波走時トモグラフィやレシーバ関数解析の結果から、フィリピン海プレートの海洋地殻は、低速度かつ大きな  $V_P/V_S$  比を有することが明らかになった (弘瀬・他, 2007; Ueno et al., 2008)。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  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比が高い (Sano and Wakita, 1985; Wakita and Sano, 1987)。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。

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。地震計を約 5km 間隔で線状に配置し、遠地地震を記録し、得られた波形データに対して以下で述べるレシーバ関数解析を行い、S 波速度不連続面のイメージングを行った。前回の発表 (澁谷・他, 2009) では、フィリピン海プレートの沈み込み方向に沿う北北西-南南東方向の 3 測線 (潮岬-田尻, 新宮-河内長野, 尾鷲-京丹後) の結果について紹介した。今回は、その後観測を行った 2 測線 (南伊勢-信楽: 上記 3 測線と同様の方向, 松阪-白浜: 沈み込み面に直交する方向) の結果についても合わせて紹介する。これらの測線断面におけるレシーバ関数イメージから紀伊半島下のスラブ周辺の構造について議論したい。

### 2. レシーバ関数解析

レシーバ関数とは、遠地地震の P 波部分の水平成分から上下成分をデコンボリューションすることにより、観測点下の S 波速度不連続面で生成される PS 変換波を抽出した波形である。PS 変換波の直達 P 波に対する相対走時は不連続面の深さとその上方の速度構造に依存し、相対振幅は不連続面での速度差に依存するため、レシーバ関数から観測点下の速度構造を推定することができる。本研究では、気象庁の地震波速度構造 JMA2001 (上野・他, 2002) を用いて、レシーバ関数の時間軸を深さ変換し、多数の観測点で多数の地震に対して得られたレシーバ関数の振幅を共通の変換点上で重合することにより、S 波速度不連続面のイメージを求めた。

### 3. フィリピン海スラブ周辺の構造

レシーバ関数イメージにおける沈み込み方向の 4 断面に共通する特徴として、北西下がりの青線と赤線のペアが見られるが、これらはそれぞれフィリピン海スラブ上面と海洋モホ面と解釈できる。これらに挟まれる海洋地殻は、深部低周波イベントが発生している深さ 30~40km までは顕著な低速度 (濃い青色) を示し、それ以深では低速度の程度は弱くなる。

紀伊半島中部~西部の 3 測線 (尾鷲-京丹後, 新宮-河内長野, 潮岬-田尻) では、深部低周波イベント発生域付近で分岐し、マントルウェッジへ伸びる青線も見られ、マントルウェッジが広範囲に低速度になっていることがわかる。海洋モホ面に対応する赤線も 40km 以深で不明瞭になる。海洋モホ面の上下の海洋地殻と海洋マントルの速度差が小さくなっていることを示唆する。スラブの形状も上に凸に湾曲しているように見える。

一方、紀伊半島東部の南伊勢-信楽測線では、マントルウェッジに張り出すような低速度域は見られない。海洋モホ面も南東端の深さ 30km から北西端の深さ 70km まで一様に明瞭である。スラブの形状も直線的である。

レシーバ関数イメージに見られるこれらの特徴は、海洋地殻の含水鉱物が深部低周波イベント発生域付近で脱水分解して、その結果放出された「水」がマントルウェッジに流入して、低速度域を作り出していることを示している。紀伊半島の中部~西部と東部に見られるスラブやマントルウェッジの構造や形状における違いは、脱水分解を経た 40km 以深の海洋地殻に残留する「水」の量で説明できるのではないかとと思われる。すなわち中部~西部では残留する「水」の量が少なく、海洋地殻の速度が回復し、海洋モホ面での速度差が小さくなる。スラブは重くなり、上に凸に湾曲する。東部で

は逆に残留する「水」の量が多く、海洋地殻の低速度と海洋モホ面での速度差は深さ 70km まで維持される。

キーワード: フィリピン海スラブ, マントルウェッジ, スラブ起源流体, レシーバ関数イメージ, リニアアレイ地震観測, 紀伊半島

Keywords: Philippine Sea slab, Mantle wedge, Slab-derived fluid, Receiver function image, Linear array seismic observation, Kii Peninsula

SCG060-19

会場:302

時間:5月25日 14:45-15:00

## 西南日本の地殻流体のLi同位体マップ：前弧地殻深部流体はスラブ由来か？ Li isotope map of geofluid in SW Japan: Is deep-crustal fluid in fore-arc region derived from slab?

西尾 嘉朗<sup>1\*</sup>, 風早 康平<sup>2</sup>, 尾山 洋一<sup>2</sup>  
Yoshiro Nishio<sup>1\*</sup>, Kohei Kazahaya<sup>2</sup>, Yoichi Oyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構高知コア研究所, <sup>2</sup> 産業技術総合研究所地質情報研究部門

<sup>1</sup>Kochi Institute, JAMSTEC, <sup>2</sup>Geological Survey of Japan, AIST

地殻深部流体は島弧の地震や火山の活動メカニズムへの関与が指摘されているが、スラブ起源流体との関係を含めて不明な点が多い。湧水等の地表で採取できる地下水試料を用いた地球化学的アプローチで地殻深部流体の起源に迫った研究例は極めて少なかった。これは従来の湧水研究に用いられてきた元素同位体指標が、表層水混入の影響を受けやすかったためである。最も軽いアルカリ金属元素であるリチウム(Li)は地殻深部流体には高濃度で含まれるのに関わらず、表層水には極めて乏しい。この濃度差から、Liの同位体指標が湧水等の地下水を用いた深部流体研究において優れた研究ツールとなることが期待される。これまで分析が困難であったことから、深部流体研究におけるLi同位体ツールの利用は極めて限られていた。

Li/Cl比が有意に高い地下水試料のLi同位体組成は、表層水の影響はないことが予測される(Nishio et al., 2010)。そこで、本研究では、九州を除いた西日本地域における高Li/Cl比の地下水試料のLi同位体組成の分布を明らかにする事を試みた。その結果、中央構造線付近を境に南側(海溝側)の地下水試料は、北側の試料に比べて高い $7\text{Li}/6\text{Li}$ 比を取る傾向が明らかとなった。このようなLi同位体組成とプレート位置との関係は、西南日本の前弧の地殻深部流体中のLiがスラブ起源である可能性を示唆する。一方、紀伊半島西部は他の中央構造線沿いの地域に比べて $7\text{Li}/6\text{Li}$ 比が低い傾向が見えつつある。このように水の水素・酸素同位体等の他の地球化学ツールに比べて、深部流体成分に高感度であるLi同位体指標を用いることによって、新しい地殻深部流体像が見えてきた。

謝辞：本研究に使用した試料採取に、ご協力をいただいた安原正也・佐藤努・森川徳敏・高橋浩・稲村明彦・塚本斉・芝原暁彦・田中和広の各博士には深く感謝します。

### 参考文献：

Nishio et al., 2010, EPSL 297, 567-576.

キーワード: 地殻流体, 地殻深部流体, リチウム同位体, 西南日本, スラブ起源流体, フィリピン海プレート

Keywords: geofluid, deep-crustal fluid, lithium isotope, SW Japan, slab-derived fluid, Philippine Sea plate

SCG060-20

会場:302

時間:5月25日 15:00-15:15

## 数値シミュレーションから予測される浅部低周波イベントの特徴 Characteristics of shallow low-frequency events suggested from numerical simulations

有吉 慶介<sup>1\*</sup>, 松澤 暢<sup>2</sup>, 堀 高峰<sup>1</sup>, 中田 令子<sup>1</sup>, ジャンポール アンブエロ<sup>3</sup>, 日野 亮太<sup>2</sup>, 長谷川 昭<sup>2</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>  
Keisuke Ariyoshi<sup>1\*</sup>, Toru Matsuzawa<sup>2</sup>, Takane Hori<sup>1</sup>, Ryoko Nakata<sup>1</sup>, Jean-Paul Ampuero<sup>3</sup>, Ryota Hino<sup>2</sup>, Akira Hasegawa<sup>2</sup>,  
Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究 P, <sup>2</sup> 東北大学 地震・噴火予知研究センター, <sup>3</sup> カリフォルニア工科大学  
<sup>1</sup>DONET, JAMSTEC, <sup>2</sup>RCPEV, Tohoku University, <sup>3</sup>California Institute of Technology

近年の観測網の発展によって、非火山性の低周波イベントがプレート境界付近で発生していることが世界各地で見出されるようになった。低周波イベントの特徴として、巨大地震発生域と安定すべり域との間にある遷移域に帯状に分布し、断層の走向方向に沿って伝播することが知られている。このような特徴を数値シミュレーションで再現することにより、再現可能なモデルパラメータの範囲から流体分布や摩擦特性の条件を絞ることができる。また、巨大地震震源域に隣接するため、前駆すべりに伴う応力擾乱に敏感であり、事前検知ツールとしての利用も期待されている。近年の研究により、深部で発生する低周波イベントは、巨大地震震源域の固着の剥がれの進行と共に、発生時間間隔が短くなり、伝播速度が速くなり、解放される地震モーメントの時間率が増加する傾向が数値シミュレーションから見出された。一方で、浅部でも低周波イベントが確認されているが、精度良く震源決定されたイベントに限られているため、その特徴についてはよく分かっていない。本講演では、低周波イベントがプレート境界面に分布すると想定した場合の沈み込みプレート境界モデルを構築し、深部低周波イベントとの違いについて調べ、巨大地震発生前に期待される変化について予測シナリオを描くことを試みる。

キーワード: ゆっくり地震, 移動現象, 巨大アスペリティによる応力擾乱, 沈み込みプレート, 速度/状態依存摩擦構成則, 数値シミュレーション

Keywords: slow earthquake, migration process, stress perturbation due to great asperity, subduction zone, rate- state dependent friction law, numerical simulation



## 2008年岩手・宮城内陸地震の余震中の高周波・低周波地震の震源分布 Spatial distribution of high- and low-frequency earthquakes among the aftershocks of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake

小菅 正裕<sup>1\*</sup>, 2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ<sup>2</sup>

Masahiro Kosuga<sup>1\*</sup>, The group for the aftershock observations of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 弘前大学理工学研究科, <sup>2</sup> 岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ

<sup>1</sup> Graduate School of Science & Technology, <sup>2</sup> GIMNE2008

### 1. はじめに

低周波地震には大規模地震の余震として発生するものがある。低周波振動の起源が震源にあれば応力降下量が小さいことを意味し、震源に働く応力や断層の摩擦係数が小さいことなどが考えられる。摩擦係数の低下は間隙水圧の増加によってもたらされるので、それには地殻流体が関与している可能性がある。2008年岩手・宮城内陸地震の余震中にも低周波地震が含まれていることが報告されているが、抜き取り的な調査に留まっているので、合同余震観測グループによる長期間の観測データを用いて系統的な調査を実施した。

### 2. データ・方法

解析には合同余震観測グループによる観測波形と検測値を用いた。対象期間は2008年6月15日から9月30日までである。3000個以上の地震に対して、59観測点でのP波・S波・コーダ波部分のスペクトル振幅が最大となる周波数(ピーク周波数)を用いて低周波地震の抽出を行った。ピーク周波数は震源距離と地震のマグニチュードに依存するので、まず、ピーク周波数の対数と震源距離の関係を1次関数で近似して、震源距離が0の場合の周波数を求めた。次に、その周波数の対数とマグニチュードの関係も1次関数で近似し、回帰式からの周波数偏差を実体波とコーダ波について求めた。

実体波とコーダ波の周波数偏差には明瞭な相関が見られ、実体波が低周波の地震ではコーダ波も低周波であることがわかった。そこで、横軸に実体波の周波数偏差、縦軸にコーダ波の周波数偏差をとった散布図において、第一象限の地震は高周波の地震、第三象限の地震は低周波の地震と分類した。ただし、周波数偏差の標準偏差内の地震は「標準的」と見なした。なお、数は少ないが第四象限に分布する地震もあり、これは、実体波は低周波ではないがコーダ波が低周波の地震として分類した。

### 3. 高周波及び低周波地震の空間分布

高周波地震と低周波地震の分布を比較すると、高周波地震の発生が多い地域では低周波地震の発生は少ないことがわかった。特に、本震断層の南側東部での低周波地震の発生はほとんど見られない。断面図で見ると、低周波地震は震源の深さ方向への広がりの中では相対的に浅い部分に分布する。以上のことから、高周波地震と低周波地震は明瞭に棲み分けて分布することが明らかになった。

低周波地震が最も集中的に発生しているのは、余震域の最南端の、鳴子火山の北東領域の浅部である。この領域は、鮮新世から更新世前期に活動した珪長質大規模カルデラ領域とよく対応する。同様なカルデラは栗駒山南部にも広がっており、やはり低周波地震分布域と対応する。また、火山地域である栗駒山北部及び焼石岳周辺も低周波地震発生域となっていることから、低周波地震は高温領域において発生していると見ることができる。高温領域においては流動変形が進みやすいため高応力降下量の地震は発生しにくいと考えられる。

低周波地震は余震域北端部にも広く分布する。岩手・宮城内陸地震では本震後の余効変動がGPSにより観測されており、地震時すべりを生じた断層とは別の断層(例えば出店断層)での非地震性すべりによると考えられている。低周波地震は、Iinuma et al. (2009) が推定した非地震性すべり域の西側深部に位置し、さらにその南西深部延長では高周波地震が発生している。非地震性すべりは間隙水圧の上昇によってもたらされた可能性がある。地震時すべりを生じた断層とその浅部延長にかけて、高周波地震の発生域、低周波地震の発生域、非地震性すべり域へと系統的に移り変わることは、上載圧の減少と間隙水圧の増加を反映しているように見え、地殻流体の実態解明の観点からも極めて興味深い。

### 4. まとめ

2008年岩手・宮城内陸地震の合同余震観測データを用い、高周波地震と低周波地震の空間分布の特徴を調べた。高周波の地震は主に本震の震源域の相対的に深部に分布する。低周波地震の一部は、栗駒山などの火山の周辺及びカルデラ内に分布し、高温領域で発生していると考えられる。また、余震域北端部で発生した低周波地震は非地震性すべりを生じた断層の深部に分布し、その発生に地殻流体が関与していることが示唆される。

Keywords: low-frequency earthquakes, aftershocks, Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, geofluid



SCG060-22

会場:302

時間:5月25日 15:30-15:45

## 東北日本弧における地殻流体の3次元解析のための電磁気観測 Electromagnetic measurements to image geofluid in three-dimensions under NE-Japan arc

小川 康雄<sup>1\*</sup>, 市来 雅啓<sup>2</sup>, 小山 崇夫<sup>3</sup>, 藤 浩明<sup>4</sup>, 松島 政貴<sup>5</sup>, 神田 径<sup>1</sup>, 吹野 浩美<sup>5</sup>, 本蔵 義守<sup>5</sup>, 上嶋 誠<sup>3</sup>  
Yasuo Ogawa<sup>1\*</sup>, Masahiro Ichiki<sup>2</sup>, Takao Koyama<sup>3</sup>, Hiroaki TOH<sup>4</sup>, Masaki Matsushima<sup>5</sup>, Wataru Kanda<sup>1</sup>, Hiromi Fukino<sup>5</sup>,  
Yoshimori Honkura<sup>5</sup>, Makoto Uyeshima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学火山流体研究センター, <sup>2</sup> 東北大学 理学研究科, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所, <sup>4</sup> 京都大学 理学研究科, <sup>5</sup> 東京工業大学理工学研究科

<sup>1</sup>VFRC, Tokyo Inst. tech, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>University of Tokyo, <sup>4</sup>Kyoto University, <sup>5</sup>Tokyo Institute of Technology

Fluids in the crust play an important role in volcanic processes and earthquake generation processes. Electrical resistivity is a geophysical parameter which is sensitive to the existence and connectivity of fluids. Thus, by imaging the resistivity by electrical induction method such as magnetotellurics, we can get important information on the amount, chemical composition and transport properties of fluids.

We have started magnetotelluric measurements in the NE Japan using wideband (0.01s–1000s) and long period (10s–20,000s) measurements. The wideband measurements are focused around the Onikobe caldera and the surrounding regions. In 2009, Thirty magnetotelluric soundings were carried out in and around the Onikobe caldera. We have found the lower crustal conductor with N-S strike directions and its shallower continuation to the Onikobe caldera, which has E-W directions representing the E-W tectonic compression. In 2010, we had 30 more stations to the south of the Naruko volcano, covering 20km x 20km.

In addition to the wideband measurements, we have made long period measurements to image the upper mantle structure. We have 32 long period stations with 20km grid spacing in order to image the upper mantle.

We will show some preliminary results on those on-going measurements.

キーワード: 地殻流体, マグネトテルリック, 電磁, 比抵抗

Keywords: geofluid, magnetotellurics, electromagnetic method, resistivity

SCG060-23

会場:302

時間:5月25日 15:45-16:00

## 高圧下における流体相を含む地殻岩石の電気伝導度 Electrical conductivity of fluid-bearing crustal rock under high pressure

下宿 彰<sup>1\*</sup>, 芳野 極<sup>1</sup>, 山崎 大輔<sup>1</sup>

Akira Shimojuku<sup>1\*</sup>, Takashi Yoshino<sup>1</sup>, Daisuke Yamazaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 岡山大学 地球物質科学研究センター

<sup>1</sup> Okayama University, ISEI

観測により測定されている下部地殻の電気伝導度の値は、実験により測定されている下部地殻を構成する岩石の電気伝導度の値と比較して高い値を持っていることが示されている。その理由として流体が存在し岩石の電気伝導度を増加させているという説が有力である (Shankland and Ander, 1982 など)。流体中に存在するシリケート成分は圧力が増加するに従い増加するため (Manning, 1994)、下部地殻に相当する圧力においては電気伝導度も増加するはずである。この研究では流体相を含む石英岩の電気伝導度を高温高圧下で測定し、下部地殻に存在する流体の量を考察する。

高圧実験は岡山大学地球物質科学研究センター設置の DIA 型高圧発生装置を使用した。圧力媒体にパイロフィライト、ヒーターにはグラファイトを使用した。出発物質には、予めピストンシリンダー型高圧発生装置で合成した流体を含む石英焼結体か又はチャートを用いた。電気伝導度測定にはインピーダンス測定法を用いた。電気伝導度測定中に流体が系から逃げないようにするために、石英単結晶カプセルを用い、試料を上下からモリブデン電極で挟み込むという試料部構成で電気伝導度測定を行った。圧力は 1 GPa で保持し、700-1450K の温度範囲において電気伝導度測定を行った。回収試料の組織観察を電界放射型走査型電子顕微鏡を用いて行った。また流体の量の見積もりにはフーリエ変換型赤外分光光度計を使用した。

石英岩の電気伝導度はフルイドフラクションの約 0.86 乗に比例して増加するという結果が得られた。得られた実験データから、東北地方やニュージーランドで観測されている高電気伝導度異常を説明するためには、約 10 wt. % の流体が必要であるという結果が得られた。10 wt. % は地殻に存在する流体の量として現実的ではないため、高電気伝導度異常は石英岩と流体だけでは説明することができないと考えられる。従って流体に溶け込む塩水の効果や、他のイオン種の効果を調べる必要がある。

キーワード: 電気伝導度, 流体, 地殻

Keywords: electrical conductivity, fluid, crust

SCG060-24

会場:302

時間:5月25日 16:00-16:15

## 火山岩組成から推定されるマントル温度構造

### Comprehensive geochemical model for the melting of mantle metasomatized by slab-derived fluid

中村 仁美<sup>1\*</sup>, 岩森 光<sup>1</sup>

Hitomi Nakamura<sup>1\*</sup>, Hikaru Iwamori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

The chemical composition of a relatively undifferentiated volcanic rock in arc has the integrated information of the processes occurred beneath a volcano in the mantle wedge, such as material infiltration from the subducting slab and subsequent melting of the mantle. Here, we aim to reveal how the whole rock composition including isotopic ratios and trace element abundances can be quantitatively explained by a series of the relevant processes in the mantle, based on which we constrain the geochemical cycling and thermal structure in subduction zones.

We apply a mass balance model to the Quaternary volcanic rocks of Central Japan where the two oceanic plates obliquely subducts. The compositions of slab-derived fluids can be estimated starting from subduction and dehydration of oceanic crustal materials. Then the composition of fluid-metasomatized mantle, including the amount of slab-derived fluids, is estimated based on isotopic systematics as in Nakamura et al. (2008). The composition of subsequent product (i.e., primary arc magma) is then predicted from that of the estimated metasomatized mantle as a forward model. Finally, by optimizing two important parameters involved in the melting equation (i.e., degree of melting and garnet/spinel lherzolite ratio involved in the melting), we have been successful to inverse these parameters based on the observed compositions of volcanic rocks.

As a result, the condition of magma genesis beneath the Central Japan arc is characterized by relatively high fluid fractions, low melting degrees of melting and high proportions of garnet lherzolite in the melting source region, compared to those of neighboring arcs with single subducting plates. The low melting degree and high garnet contribution may imply a low geothermal gradient and near-solidus melting over the spinel-garnet transition depths, semi-quantitatively constraining the thermal structure beneath Central Japan. The results are consistent with the independent numerical modeling of the region, suggesting a cold environment due to overlapping subduction of the Pacific and Philippine Sea plates.

In spite of the cold environment, adakitic rocks commonly occur in the investigated region. The mass balance model of this study demonstrates that the high fluid fraction, low melting degree of garnet lherzolite (plus subsequent crystal fractionation that shifts the overall abundances without modifying the characteristic patterns such as Sr/Y ratio) may explain the adakite signature in the cold environment. We suggest that the mass balance model is a promising approach to constrain the fluid and melting processes as well as the mantle thermal structure in subduction zones.

キーワード: スラブ, スラブ起源流体, 地殻流体, 沈み込み帯, 火山, マグマ

Keywords: slab, slab-derived fluid, geofluid, subduction, magma, volcano

SCG060-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 簡単なモデルによるマントルウエッジ内の熱-組成対流の理解 Understanding the dynamics of thermo-chemical mantle wedge based on a simple model

本多 了<sup>1\*</sup>, ゲリャ タラス<sup>2</sup>, ズー ゲイジー<sup>2</sup>  
Satoru Honda<sup>1\*</sup>, Taras Gerya<sup>2</sup>, Guizhi Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研究所, <sup>2</sup> チューリッヒ工科大学

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>ETH Zurich

Complex dynamical phenomena may be expected in the mantle wedge, since it will be controlled by a combination of thermal and chemical effects. Recent our studies show the possibility of the existence of small-scale convection in the mantle wedge, which may be driven by thermal/chemical buoyancies. Such a small-scale convection may explain the along-arc variation of arc volcanism. In order to understand the complex phenomena associated with thermal and chemical effects, we have constructed a simplified model of thermo-chemical convection in the mantle wedge. In this model, we assume the kinematic flow of a chemical agent, such as water, from the top of the subducting slab. This chemical agent affects both the density and the viscosity of the region where it resides and decreases the density and viscosity.

We found that major effects of this low density and viscosity anomaly is to suppress the three-dimensional characteristic of mantle flow. Chemically polluted, thus buoyant region tends to stagnate and this results in the low temperature zone in the corner of mantle wedge. This result suggests the chemical origin of non-moving mantle part in the corner of the mantle wedge (nose), which is sometimes necessary to explain the low heat flow in the fore-arc. We also constructed a hybrid model: The chemical agency close to the trench affects both density and viscosity and it in the back arc region does only the viscosity. The model shows the co-existence of the low temperature nose and the small-scale thermally driven convection in the back arc. This may explain some of the geologic character of the northern Honshu arc.

キーワード: 沈み込み帯, 小規模対流, 水, 島弧火山活動

Keywords: subduction zone, small-scale convection, water, arc volcanism

SCG060-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 沈み込み帯における地震活動の深さ分布とその類似性 Depth Dependence of Subduction Zone Seismicity and its Uniformity

久家 慶子<sup>1\*</sup>

Keiko Kuge<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科地球物理学教室

<sup>1</sup>Dept. Geophysics, Kyoto University

Arc volcanoes are typically located where the subducting slab is ~110 km deep (e.g. Tatsumi, 1986). To explain the uniformity of the arc volcano configuration, Wada and Wang (2009) proposed subduction zone thermal models with common decoupling depth, in which the interface between the slab and the mantle wedge is decoupled to a depth of 70-80 km where mantle wedge flows are not dragged by the subducting slab. If the thermal models really dominate, not only thermal structure but also earthquake activity in subduction zones can be affected because the condition of temperature controls seismogenesis at plate boundaries and within slabs. In this study, I attempt to diagnose the models of Wada and Wang (2009) by examining variation of seismic activity with depth in subduction zones.

Using earthquake hypocenter data relocated by the method of Engdahl et al. (1998), I examine dependence of earthquake frequency on depth down to 200 km. In subduction zones with thermal parameters larger than 800 km, the number of earthquakes exponentially decreases with depth below ~50 km, and the decreasing rate changes at depth of 75-100 km. The depth changing the decreasing rate seems to be uniform in the subduction zones, having no significant correlation with the thermal parameters. Depth distribution of earthquakes deeper than 75-100 km tends to depend on subduction zones. In some subduction zones the earthquake frequencies continue to be at low rates, whereas there are dominant peaks of earthquake activity at depths in some subduction zones. The similar observations are also obtained in the Global CMT catalogue.

Using the Global CMT catalog, I examine the depth distribution of earthquakes which depends on focal mechanisms. The depth of 75-100 km is close to the lower limit where thrust earthquakes occur. Low-angle thrust earthquakes, which may be plate-boundary earthquakes, occur at depths shallower than 75 km. My waveform modeling for some low-angle thrust earthquakes shows that the depths are shallower than ~50km. The depth of 75-100 km is a turning depth where focal mechanisms change. Therefore, change in earthquake frequency at depth of 75-100 km can be a manifestation of two features: Vanishing of thrust earthquakes above 75 km and no significant increase of slab earthquakes at depths of 75-100 km shallower. Taking account of the dependence of the two features on temperature, the uniformity observed for the variation of seismic activity with depth in subduction zones is consistent with the thermal models of Wada and Wang (2009).



SCG060-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## ロシア極東ウスチベラヤ・オフィオライトのかんらん岩中の鉱物の主要・微量元素組成

### Major and Trace elements mineral composition in peridotites from the Ust'-Belaya ophiolite, Far East Russia

町 澄秋<sup>1\*</sup>, 石渡 明<sup>2</sup>, 森下 知晃<sup>3</sup>, 早坂 康隆<sup>4</sup>, Galina V. Ledneva<sup>5</sup>, Borys A. Bazylev<sup>5</sup>, Sergei D. Sokolov<sup>5</sup>, Suren A. Palandzhyan<sup>5</sup>, 田村 明弘<sup>3</sup>, 荒井 章司<sup>6</sup>

Sumiaki Machi<sup>1\*</sup>, Akira Ishiwatari<sup>2</sup>, Tomoaki Morishita<sup>3</sup>, Yasutaka Hayasaka<sup>4</sup>, Galina V. Ledneva<sup>5</sup>, Borys A. Bazylev<sup>5</sup>, Sergei D. Sokolov<sup>5</sup>, Suren A. Palandzhyan<sup>5</sup>, Akihiro Tamura<sup>3</sup>, Shoji Arai<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科, <sup>2</sup> 東北大学東北アジア研究センター, <sup>3</sup> 金沢大学フロンティアサイエンス機構, <sup>4</sup> 広島大学大学院地球惑星システム専攻, <sup>5</sup> ロシア科学アカデミー地質研究所, <sup>6</sup> 金沢大学理工研究域自然システム学系

<sup>1</sup>Natural Sci. & Tec., Kanazawa Univ., <sup>2</sup>NE Asia Center, Tohoku Univ., <sup>3</sup>FSO, Kanazawa Univ., <sup>4</sup>Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Uni., <sup>5</sup>Geol. Inst. Russia Academy of Science, <sup>6</sup>Earth Sci. Course, Kanazawa Univ.

The Ust'-Belaya ophiolite is exposed in the 80 km x 40 km area on the south of Ust'-Belaya (N65 30', E173 17'), Far East Russia (Sokolov et al., 2003, *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 218, 619-). The associated limestone suggests Devonian or older age of this ophiolite. It is an important character of this ophiolite that glaucophane-bearing rocks occur. Here we report the petrographical features and mineral chemistry of the peridotite from the Ust'-Belaya ophiolite and discuss about their metamorphism and metasomatism.

Mantle section of the Ust'-Belaya ophiolite is composed of fertile lherzolite to moderately depleted harzburgite. As a result of significant hydration, those peridotites contain various hydrous minerals such as amphibole, talc, secondary clinopyroxene and antigorite. In some of antigorite-bearing peridotites, olivine shows an apparent "cleavage". Such petrographical characteristics resemble those of the antigorite-bearing serpentinite from Mariana forearc (Ohara & Ishii, 1998, *Island Arc*, 7, 541-; Murata et al., 2009, *Geosphere*, 5, 90-).

Cr# of spinel in the Ust'-Belaya peridotite shows wide range from 0.1 to 0.5, which is similar compositional range to these of the mid ocean ridge peridotites. It is noteworthy that low-Cr spinel (Cr#=0.1) coexist with high-Na clinopyroxene. Such Na-cpx shows similar trace element pattern to the mid ocean ridge peridotite, which is explained by simple extraction of melts. Therefore such Na-rich clinopyroxene bearing peridotite may represent the deeper level of melting column. On the other hand, the other clinopyroxenes show LREE-enriched trace elements patterns, which is cannot be explained by simple extraction of melts. These patterns can be explained by influx melting.

Amphiboles show different compositional trend corresponding to the mineral assemblage. In Atg-free type rocks, amphibole covers a compositional range from tremolite to pargasite. Meanwhile, in Atg-bearing type rocks, amphibole covers a compositional range from tremolite to richterite with edenite. Trace elements patterns of the former amphiboles (magnesiohornblende) are similar to those of clinopyroxenes in the same sample. Therefore the fluid related to the influx melting was able to be responsible for the formation of these amphiboles. On the other hand, the latter amphiboles (Na-rich tremolite/richterite) shows low concentration and pronounced positive anomaly for Sr. This indicate introduction of Na and Sr coupled with removal of these elements.

The influx melting inferred from trace elements patterns of cpx, as well as the occur of glaucophane-bearing rocks, low equilibrium temperature of peridotites and the evidence of fluid-peridotite interaction are suggesting the Ust'-Belaya peridotite may represent a fragment of the pre-late Paleozoic forearc mantle wedge. Absence of highly depleted peridotite suggests that highly depleted peridotites are not necessary for every forearc environments.

キーワード: 沈み込み帯, アンチゴライト, 角閃石, 蛇紋岩化

Keywords: subduction zone, antigorite, amphibole, serpentinization

SCG060-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## XANES によるケイ酸塩ガラスの酸化還元状態の決定：小笠原諸島に産するボニナイトの例

### XANES study on the redox state of silicate glasses in: a preliminary result for boninites from Ogasawara Islands, Japan

石橋 秀巳<sup>1\*</sup>, 小竹 翔子<sup>1</sup>, 鍵 裕之<sup>1</sup>

Hidemi Ishibashi<sup>1\*</sup>, Shoko Odake<sup>1</sup>, Hiroyuki Kagi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学・院理・地殻化学実験施設

<sup>1</sup>Geochemical Research Center, Univ. Tokyo

島弧マンツルの酸化還元状態は、地球化学的な興味の対象であるだけでなく、マンツルウェッジ内での物質循環や島弧マグマの形成の過程について理解するうえでも重要な要素である。マンツルゼノリスに関する先行研究では、他のテクトニックセッティングと比べて、島弧マンツルがより酸化していることが示唆され、この酸化性性質が沈み込み流体の影響のせいであると提案された。しかし、マンツルウェッジ内の部分溶融領域が実際に酸化しているかどうかは自明ではない。なぜなら、マンツルゼノリスのほとんどは冷たく硬いリソスフェアの破片であり、しばしば低温での再平衡や流体の浸透の証拠を示すことから、部分溶融時の状態を記録していないと考えられるためである。また、仮に島弧マンツルの部分溶融領域が酸化していたとしても、その酸化性性質に果たす沈み込み流体の役割についても未だ明らかになっていない。

島弧マグマは、その起源マンツルの酸化還元状態およびこれに及ぼす沈み込み流体の影響に関する情報を保持する唯一の物質といえるであろう。中でもボニナイトは、これらを明らかにするにおいて最も適した試料と考えられる。その理由のひとつは、ボニナイトが未分化で、その形成場からの上昇過程での変質が最小と考えられることである。もうひとつの理由は、ボニナイトが、沈み込み流体の影響を強く受けた含水マンツルの部分溶融で形成されると考えられることである。それ故に、ボニナイトマグマの酸化還元状態は、上記の問題を解くうえでの重要な鍵となると期待できる。

ケイ酸塩ガラス中のFeの価数状態は、酸化還元状態の敏感な指標であることが一般に知られており、一方でFe K-edge XANES (X線吸収端近傍微細構造) スペクトルの pre-edge 領域の特徴とも良い相関を示すことが示されている。そこで本研究では、ボニナイト中に含まれるケイ酸塩ガラスの酸化還元状態を、Fe K-edge XANES 分析によって決定した。本研究では、小笠原諸島の父島・ムコ島に産するボニナイト枕状溶岩3試料について、高エネルギー加速器研究機構 Photon Factory のビームライン 4A に設置されたマイクロ XANES 測定装置を用いて分析を行った。この装置では、ミクロンオーダーの解像度での XANES 微小領域分析が可能である。比較のために、キラウエア火山のパホエホエ溶岩中のガラスについても分析を行った。ケイ酸塩ガラスの Fe K-edge XANES の pre-edge feature では、7112eV および 7114eV 付近に中心をもつ2つのピークが一般にみられ(それぞれピーク1およびピーク2とよぶ)、それぞれ Fe<sup>2+</sup> および Fe<sup>3+</sup> の吸収に起因する。ピーク1に対するピーク2の相対強度は、Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> 比の増加に伴って大きくなるので、この相対強度はガラスの酸化還元状態の良い指標となる。本研究では、Cottrell et al. (2009) によって求められた、玄武岩質ガラスについての相対強度と fO<sub>2</sub> の関係から、試料の酸化還元状態を見積もった。

今回、試料ごとに石基ガラスを数点ずつ測定したが、XANES スペクトルの観点で、いずれの試料についても石基ガラスの不均質は見られなかった。キラウエアパホエホエ溶岩中のガラスについては、QMF (QMF バッファーからの log fO<sub>2</sub> 値のズレ) ~ +0.2 の値が得られた。この結果は先行研究と照らし合わせても妥当な結果といえ、この手法の信頼性を示唆している。一方、ボニナイト中のガラスについて得られた QMF は、父島の試料が +0.7、ムコ島の2試料が +0.5 と +1.3 であった。ケイ長質ガラスのピーク1に対するピーク2の相対強度が、同じ Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> 比の玄武岩質ガラスと比べて大きいことを考慮すると、この見積もられた酸化還元状態は酸化側の上限で、実際はより還元的であると考えられる。さらに、オリビン・輝石の結晶化はケイ酸塩メルトをわずかに酸化させ、マグマ上昇過程での H<sub>2</sub>O の脱ガスはメルトの fO<sub>2</sub> にほとんど影響を及ぼさないことから、初生的なボニナイトメルト(とその起源マンツル)の酸化還元状態は、沈み込み流体の影響を強く受けたにもかかわらず、少なくとも見積もられた値よりも還元的(ほぼ QMF バッファー付近)であったと推定される。この結果は、ボニナイト形成に関わった沈み込み流体が、マンツルの酸化還元状態にあまり影響を及ぼしていないであろうことを示唆する。

キーワード: XANES, 島弧マンツル, ボニナイト, 酸化還元状態, 酸素フュガシティー, ケイ酸塩ガラス

Keywords: XANES, arc mantle, boninite, redox state, oxygen fugacity, silicate glass

SCG060-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月25日16:15-18:45

## ジルコンから読み取る沈み込み帯深部の部分融解過程 - 三波川エクロジヤイトを用いて - Partial melting in deep subduction zone detected from zircon preserved in the Sanbagawa eclogite

荒川 幸<sup>1\*</sup>, 岡本 和明<sup>1</sup>, 堤 之恭<sup>2</sup>, 寺林 優<sup>3</sup>

Miyuki Arakawa<sup>1\*</sup>, Kazuaki Okamoto<sup>1</sup>, Yukiyasu Tsutsumi<sup>2</sup>, Terabayashi Masaru<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 埼玉大学教育学部, <sup>2</sup> 国立科学博物館, <sup>3</sup> 香川大学工学部

<sup>1</sup>Saitama University, Japan, <sup>2</sup>National Science Museum, <sup>3</sup>Kagawa University, Japan

### I) はじめに

海溝で沈み込んだ海洋プレートは温度・圧力の上昇により脱水反応を引き起こす。この脱水反応は深発地震や島弧マグマの成因に関係すると考えられている。最近、沈み込み帯深部で形成される高圧低温型変成岩の典型であるとされる三波川変成岩中のエクロジヤイトから部分融解組織が見つかった (Okamoto & Arakawa 2011)。これはエクロジヤイトが形成される深度で部分融解を起こしていたことを示し、沈み込み帯深部での流体 - メルトの挙動を考える上で非常に重要な証拠になりうる。しかしながら、露頭や薄片の観察される岩石組織は、後退変成変形作用の影響により変成ピークやそれ以前の証拠がほとんど失われている。そのため、本研究ではジルコンの解析を行うことによって沈み込み帯深部での部分融解の解明を行った。ジルコンは物理的に硬い鉱物であり、広範囲の温度圧力で成長し、さらに U-Pb 年代測定に適用できるため、上記の研究に適しているといえる。研究は現在進行中であり、現時点での成果を以下に報告する。

### II) 研究方法

露頭観察からエクロジヤイト相での組織が顕著である部分 (SHT15)、部分融解組織のみられる部分 (SHT16)、エクロジヤイトが大部分である中に小さく部分融解組織が見られる部分 (SHT17) を採集し、ジルコン分離を行った。Tsutsumi et al (2009) に基づき、粉碎、水洗、パンニング、磁石分離、重液分離後、実体顕微鏡によりジルコンをピックアップした。それぞれ選択した結晶をエポキシ樹脂にスタンダードジルコン (AS3; 1099Ma) とともに試料番号ごとに列に並べてマウントし、結晶の中心が表面に出よう研磨した。研磨後、顕微レーザーラマン (香川大学工学部) によってジルコンインクルージョンの解析を行った。その後炭素蒸着を行い、SEM-EDS・カソードルミネッセンス像により表面に出ているインクルージョンの定性分析及び累帯構造を観察した。

### III) 結果

ピックアップできたジルコンはそれぞれ SHT15: 47 個, SHT16: 12 個, SHT17: 41 個であった。ジルコンの外形状は SHT15 では自形~半自形で、楕円形のものが多く、数は 43 個、球状のものが 4 個であった。粒径は 100~250  $\mu\text{m}$ 。SHT16 は自形で、全て球状であった。粒径は 100~200  $\mu\text{m}$ 。SHT17 は自形~半自形で、SHT15 に特徴的にみられる楕円形のものとは SHT16 に特徴的な球状のものが半々観察できた。粒径は 50~250  $\mu\text{m}$ 。

ジルコンの内部構造 カソードルミネッセンス像から、SHT15 は、コア、マントル、リムの累帯構造が見られる。また、コアがマントル、リムよりも明るいものが多い。しかし外形が球状のもの (4 個) は、後述する SHT16 に似た特徴を持つ。SHT16 の累帯構造はコアが均質なものがほとんどで、マントル、リムの成長が小さい。SHT17 は SHT15 と SHT16 の特徴を併せ持つ。

ジルコンインクルージョン SEM-EDS と、顕微レーザーラマンによる解析から、SHT15 はコア中にルチル、石膏、マントル中に角閃石が確認された。SHT16 には表面に見られるインクルージョンがなかった。SHT17 のインクルージョン解析から、表面に出ている包有物で、コア中にアパタイトが確認された。

### IV) 考察および結論

部分融解している試料 SHT16 中のジルコンは球状を呈し、且つコアが均質なものがほとんどで、マントル、リムの成長が小さい。これは、Okamoto et al (2004) の石英エクロジヤイトから分離されたジルコン (GO4) に酷似している。この GO4 はコア、リムとも 120-110 Ma に年代が集中しており、エクロジヤイト相の変成条件で成長したと考えられている。SHT15 に顕著な楕円状のジルコンは、Okamoto et al. (2004) のエクロジヤイトに伴われる砂質変成岩中のジルコン (QM) とよく似ており、ジルコンの累帯構造の特徴も一致している。QM は碎屑性コアに 110-120 Ma のマントル、リムが成長している。SHT15 中に SHT16 と酷似したジルコンが見られるが、これらは部分融解に伴い成長した可能性がある。SHT16 のようなエクロジヤイト中に見られる部分融解組織は、著しいマイロナイト化 (塑性変形組織) が顕著に認められるが、これは沈み込み帯深部での部分融解に伴う変形作用である可能性がある。

### 文献

Okamoto et al., 2004. Terra Nova, Vol. 16, 81-89.

Okamoto & Arakawa, 2011. Abstract of the JpGU International Symposium.  
Tsutsumi et al.. 2009. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, Vol. 104, 12-24.

キーワード: 深部沈み込み帯, 部分融解, エクロジヤイト, ジルコン  
Keywords: deep subduction zone, partial melting, eclogite, zircon

SCG060-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 高温高圧における含水岩塩の弾性波速度・電気伝導度測定 Velocity and conductivity measurements on synthetic wet halite rocks at high pressure and temperature

渡辺 了<sup>1\*</sup>, 北野 元基<sup>1</sup>

Tohru Watanabe<sup>1\*</sup>, Motoki Kitano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 富山大学

<sup>1</sup> University of Toyama

Intercrystalline fluid can significantly affect rheological and transport properties of rocks. Its influences are strongly dependent on its distribution. The dihedral angle between solid and liquid phases has been widely accepted as a key parameter that controls solid-liquid textures. The liquid phase is not expected to be interconnected if the dihedral angle is larger than 60 degree. However, observations contradictory to dihedral angle values have been reported. Watanabe and Peach (2002) suggested the coexistence of grain boundary brine with a positive dihedral angle. For good understanding of fluid distribution, it is thus critical to study the nature of grain boundary fluid.

We have developed a high pressure and temperature apparatus for study of intercrystalline fluid distribution. It was specially designed for measurements of elastic wave velocities and electrical conductivity. Elastic wave velocities ( $V_p$  and  $V_s$ ) and electrical impedance can be measured to constrain intercrystalline fluid distribution. The apparatus mainly consists of a conventional cold-seal vessel with an external heater. The pressure medium is silicon oil of the viscosity of 10 Pa s. The pressure and temperature can be controlled from 0 to 200 MPa and from 20 to 200 C, respectively. Dimensions of a sample are 9 mm in diameter, and 15 mm in length.

Halite-water system is used as an analog for crustal rocks. The dihedral angle has been studied systematically at various pressure and temperature conditions [Lewis and Holness, 1996]. The dihedral angle is larger than 60 degree at lower pressure and temperature. It decreases to smaller than 60 degree with increasing pressure and temperature. A sample is prepared by cold-pressing and annealing of wet NaCl powder. Optical examination has shown that synthesized samples are microstructurally homogeneous. Grains are polygonal and equidimensional with a mean diameter of 300 micrometer. Grain boundaries vary from straight to bowed and 120 degree triple junctions are common. Gas and fluid bearing inclusions are visible on the grain boundaries. There are spherical inclusions or isolated worm-like channels.

In this poster, we will report preliminary results of compressional wave velocity and electrical conductivity measurements.

キーワード: 弾性波速度, 電気伝導度, 岩塩, 水

Keywords: elastic wave velocity, electrical conductivity, halite, water



SCG060-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## ピナツボ 1991 年噴出物から採取されたカンラン岩中の CO<sub>2</sub> を含む塩水包有物 CO<sub>2</sub> bearing saline aqueous fluid inclusions in olivine of peridotite xenoliths of Pinatubo 1991 ejecta

熊谷 仁孝<sup>1\*</sup>, 川本 竜彦<sup>1</sup>, 芳川 雅子<sup>1</sup>, 小林 哲夫<sup>2</sup>

yoshitaka kumagai<sup>1\*</sup>, Tatsuhiko Kawamoto<sup>1</sup>, Masako Yoshikawa<sup>1</sup>, Tetsuo Kobayashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科地球熱学, <sup>2</sup> 鹿児島大学理学部地球環境

<sup>1</sup>Inst. Geothermal Sci., Kyoto Univ., <sup>2</sup>Earth and Environ. Sci., Kagoshima Univ.

Spinel peridotite xenoliths are present in the dacitic rocks of the Pinatubo 1991 eruption, Luzon Island, Philippines. The Pinatubo volcano is one of the Bataan arc-front volcanoes that are associated with eastward subduction of the South China Sea floor along the Manila Trench. Peridotite xenoliths are mainly composed of olivine and orthopyroxene, with minor amounts of spinel and calcic amphibole surrounding spinel and orthopyroxene. Small grains of clinopyroxene and phlogopite also surround spinel and orthopyroxene. Phlogopite and amphibole inside of peridotite xenoliths have major element chemistry different from those of selvage.

Many fluid inclusions less than 30 micrometer in diameter are present in olivine. Raman spectroscopy shows that those fluid inclusions are mainly composed of H<sub>2</sub>O, magnesite, unidentified crystal and a bubble. Raman spectra indicate the presence of hydrous mineral on a wall of host olivine, which can be a talc. In addition to these phases, CO<sub>2</sub> is also found in vapor bubbles in inclusions. These suggest that the inclusions were composed of H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> and reacted with olivine to form talc, magnesite, and CO<sub>2</sub> - bearing aqueous fluids. Using a cooling stage, we determined melting temperature of ice and estimated NaCl equivalent amount dissolved in the fluid inclusions to be 5-14 weight %. This amount of NaCl is not strictly but roughly consistent with an estimation based on Raman spectra. Since the original fluids reacted with olivine after their capture, homogenization temperature without re-reaction involved of olivine, magnesite, talc, and fluids does not provide meaningful density of original fluids.

As a pioneer work, Roedder (1965, American Mineralogist) reported CO<sub>2</sub> inclusions commonly observed in mantle xenoliths in worldwide. One exception was CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O inclusion from orthopyroxene in a peridotite xenolith of Ichinome-gata, a back-arc side in the northeast Japan arc. For last 15 years, H<sub>2</sub>O inclusions have been reported from several peridotite xenoliths in subduction zones: from Iraya, Bataan (Schiano et al., 1995, Nature), Lihir, Papua New Guinea (McInnes et al., 2001, Earth and Planetary Science Letter) and Avacha, Kamchatka (Ishimaru and Arai, 2008, Geological Society, London, Special Publications). The present description of the fluid inclusions in the Pinatubo peridotites indicates that CO<sub>2</sub> bearing saline aqueous fluids are present beneath the volcanic front in Bataan arc, Philippines.

キーワード: 水, 流体包有物, 炭酸塩鉱物, カンラン岩, マントル, ピナツボ火山

Keywords: water, fluid inclusion, carbonate, peridotite, mantle, Pinatubo volcano

## 脱水流体の石英への包有の再現実験

### Synthetic aqueous inclusions of dehydrated fluids from hydrated minerals

大井 修吾<sup>1\*</sup>, 小木曾 哲<sup>1</sup>, 三宅 亮<sup>2</sup>  
Shugo Ohi<sup>1\*</sup>, Tetsu Kogiso<sup>1</sup>, Akira Miyake<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 人環, <sup>2</sup> 京都大学 理

<sup>1</sup>Kyoto university HES, <sup>2</sup>Kyoto university Science

#### はじめに

沈み込み帯でのマグマの生成や地震の発生に、沈み込むプレート(スラブ)に由来するH<sub>2</sub>O主体の流体が重要な関与をしている。近年、深部流体の形成深度と流体の化学組成には相関があるという見解が示され、化学組成から沈み込み帯における流体が解釈できる可能性が示唆された。そのため、流体包有物の化学組成に着目した分析が行われるようになったが、包有された流体の起源などに関する具体的な証拠は、不足している状態である。そこで、実際に脱水流体を観察・分析することで流体の挙動を把握する必要がある。

天然試料中において、流体は鉱物に包有された状態(流体包有物)として観察される。含水鉱物の脱水流体から流体包有物を合成し、その化学組成を定量的に評価することができれば、天然における流体の挙動を把握することができるはずである。そこで本研究では、天然における流体の挙動を再現する実験の第一歩として、流体包有物合成実験により含水鉱物から脱水された流体を鉱物中に包有することを目的として行う。

#### 先行研究

Sterner and Bodnar (1984) は、内熱式ガス圧装置を用いて石英のクラックヒーリング実験を行い、石英中に化学組成をコントロールしたH<sub>2</sub>O中心の流体を包有することに成功している。それ以降、流体包有物合成実験が盛んに行われるようになったが、含水鉱物から脱水した流体に着目した流体包有物合成実験はまだない。

一方、脱水流体に着目した研究例として、Kogiso et al. (1997) が挙げられる。Kogiso et al. (1997) は含水サンプルに穴の空いたPt箔で包み、脱水実験中に穴から水が抜けさせ、実験前後の固体物質の化学組成の変化から流体に含まれる微量元素の化学組成を推定した。

上記の先行研究を参考に、本研究では、石英のクラックヒーリングにより、脱水流体の流体包有物を作成した。

#### 実験手法

出発物質の石英には、ブラジル産の石英単結晶を用いた。石英単結晶をおよそ1mm × 1mm × 2mmの大きさに切り、クラックや包有物の含まれていない試料を選択した。その後、350℃に加熱した状態から、純水中に入れて急冷することにより、石英中にクラックを入れた。クラックの入った石英を、真空中の150℃で一晩乾燥させて、出発物質とした。

この石英を、まずは(実験1)純水とともに白金カプセルに封入して、Sterner and Bodnar (1984)の実験を再現できるのかを検証した。その後、(実験2)含水鉱物としてMg(OH)<sub>2</sub>とともに封入して実験を行った。また、石英とMg(OH)<sub>2</sub>が直接反応する場合も考え、(実験3)針で穴をあけた白金箔(厚さ0.0025mm)に石英を包んだ後にMg(OH)<sub>2</sub>と封入した実験も行った。白金カプセルは内径1.8mm、長さ5mmを用い、ピストンシリンダーを用いて800℃、1GPaで3時間保持した。その後に厚さ100um~200um程度の厚片を作成して流体包有物の観察を行った。観察には偏光顕微鏡およびエネルギー分散型検出器を備えた走査型電子顕微鏡を用いた。

#### 結果・考察

(1) 石英と純水を封入した合成実験の結果5um程度の大きさの流体の包有を石英中に観察した。これにより、ピストンシリンダーを用いた実験でSterner and Bodnar (1984)の実験を再現できることを確認した。

(2) 続いて、石英とMg(OH)<sub>2</sub>を封入した合成実験の結果、石英の周囲約100~200umを取り囲むようにMg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>の多結晶体が晶出し、その外側にMgOもしくはMg(OH)<sub>2</sub>が観察できた。また石英とMg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>の粒間に少量のMgSiO<sub>3</sub>の晶出も観察できた。このことから、Mg(OH)<sub>2</sub>と石英が反応して、Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>およびMgSiO<sub>3</sub>が晶出したことがわかった。また石英中には5~15um程度の大きさの流体包有物が面状に分布しているのが観察できた。

(3) 石英にPt箔を包んだ実験では、穴部分およびPt箔の破れた箇所少量のMg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>の晶出が観察できたが、それを覗けばほとんど石英とMg(OH)<sub>2</sub>は反応していなかった。また石英中には5~15um程度の大きさの流体包有物が面状に分布しているのが観察できた。

## 結論

本研究によりはじめて、含水鉱物の脱水による流体包有物の合成が成功した。ただし、流体の化学組成を定量的に評価するには、より大きな流体包有物を作成する必要がある。今後は温度・圧力・時間に関する実験条件を変化させ、より大きな粒径の流体包有物の合成ができるよう工夫する必要がある。また、石英との反応による影響もより小さくする工夫も必要となる。

キーワード: 流体包有物, 脱水流体, 合成実験, ピストンシリンダー

Keywords: fluid inclusion, dehydrated fluid, synthetic experiment, piston cylinder

SCG060-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 新第三紀珪質泥岩中に発達する断層の内部構造と透水特性:室内実験によるアプローチ Evolution of Microstructure and Flow Properties of Fault in Neogene siliceous Mudstone

上原 真一<sup>1\*</sup>, 高橋 美紀<sup>1</sup>

Shin-ichi Uehara<sup>1\*</sup>, Miki Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (独) 産業技術総合研究所

<sup>1</sup>GSJ, AIST

When we evaluate patterns of flow and mass transportation through underground space, fractures and faults in rocks cause severe uncertainties. The uncertainties are partly from those in flow properties of a single fracture or fault. The flow properties of a fault and fracture generally depend on several factors such as intact rock properties or stress conditions. It is therefore important to evaluate dependencies of flow properties through a single fault on several factors, for evaluation of their effects on flow properties of bulk rock mass.

We operated laboratory experiments to measure flow rate through a mudstone specimen during axial deformation under confining pressure, with siliceous mudstone from Koetoi and Wakkanai Neogene Formations, Horonobe, Hokkaido. Main origins of Koetoi and Wakkanai Formation (Fm.) mudstones are the same, fossil diatoms, but phases of amorphous silica are different; at the boundary between these Fms., the phase changes from Opal-A to Opal-CT. Therefore Wakkani Fm. mudstone is denser and harder than Koetoi Fm. mudstone. Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has done detail researches relating to flow properties of rock mass at underground situation, including by drilling cores or borehole explorations down to the depth of several hundred meters to a few kilometers in this region. Previous studies indicated that in-situ flow path tends to concentrate at some locations, which seems to match with the locations of faults and fractures in Wakkanai Fm., while, in Koetoi Fm., this tendency is weak. This difference can reflect differences on characteristics of flow properties of faults. Therefore we operated laboratory experiments with these rocks and tried to examine this possibility.

We adopted a specimen arrangement similar to experiments of Takahashi (2003, JGR); we put a cylindrical mudstone specimen of 20mm in length and 20mm in diameter between cylindrical Berea sandstone specimens of 10mm in length and 20mm in diameter. The mudstone specimen is intact, but the sandstone specimens have saw-cut plane of which an angle is 30 degrees with respect to the axis of the specimen. The sandstone specimens are set at the both side of the mudstone specimen so that the saw-cut planes are on the same plane, in order to induce shear zone in the mudstone specimen when axial force is applied. The advantage of this method is that we can see if flow rate along induced shear zone, or fault, is effectively large comparing to the intact part of mudstone.

We set confining pressure and average pore pressure as 8.3 and 4.9MPa, respectively, considering the condition of a depth of approx. 500m in this region. We used distilled water as a pore fluid and operated the experiments under room temperature. We applied an axial displacement with a constant velocity, 0.2um/sec, and measured permeability of the axial direction by oscillation pore pressure method. We used specimens prepared from three locations of the drilling core of HDB 10; 43.2m, 264.0m, (Koetoi Fm.), and 385.0m (Wakkanai Fm.) in depth.

Main results of the laboratory experiments and microstructure observations are as follows. (1) Measured permeability is similar to permeability before deformation, or intact permeability, for Koetoi Fm. mudstone, while, in the case of Wakkanai Fm. mudstone, permeability increases after deformation. (2) Micro focus X-ray computed tomography images of induced shear zones indicated that the shear zone in Koetoi Fm. mudstone is compacted, while that in Wakkani Fm. mudstone is dilative and fractures are observed around the shear zone, which suggested that the shear zone may work as a conduit. The differences of shear zone flow properties in laboratory experiments between two Fms. may be related to differences in observed in-situ flow.

This research is supported by the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. We express our gratitude to Dr. Niizato, JAEA, for his efforts to prepare drilling core samples from HDB 10.

キーワード: 断層水理特性, 室内変形透水試験, 珪質泥岩, 幌延, 透水係数, マイクロフォーカス X 線 CT

Keywords: fault flow property, laboratory hydro-mechanical experiment, siliceous mudstone, Horonobe, permeability, micro focus X-ray CT

## 角閃岩の合成実験による大陸下部地殻の流体分布の検討 An experimental investigation on the fluid distribution in amphibolitic lower crust

阿部 正道<sup>1</sup>, 中村 美千彦<sup>1\*</sup>

Masamichi Abe<sup>1</sup>, Michihiko Nakamura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth Science TOHOKU Univ.

The connectivity of COH fluids in the polycrystalline aggregates of pargasite, anorthite, and those two was assessed in terms of the geometry of crystal-crystal-fluid triple junction in the synthetic rocks. All the experiments were carried out at 600 degreeC and 0.7 GPa with fluid fraction of 0.1?3%. To estimate the true dihedral angles without a sectioning effect, the effect of surface energy anisotropy was considered using the cumulative frequency curve of the apparent dihedral angle measured on cross sections.

In the anorthite?fluid systems, populations of the curved-curved (CC) type triple junction were ca. 45% irrespective of the fluid composition, whereas their median dihedral angles depend on the fluid composition; 80 degree for H<sub>2</sub>O, 93 degree for CHO and 70 degree for 6 wt.% NaCl aqueous solution. The true CC type dihedral angles, estimated according to the theory of Laporte and Provost (2000), range from 53 to 102 degree. Since most of the dihedral angles is >60 degree in the anorthite aggregate, the intergranular fluid will not be connected as long as the fluid fraction is small. In the pargasite aggregate, the CC type was less dominant; ca. 65% of the triple junction was faceted?faceted (FF) type. It should be noted that most of the FF type were impingement grain boundary. If I assume that the true dihedral angle does not have a single value but constant probability distribution, then its range is calculated to be 28?88 degree. Assuming for simplicity that the pore geometry is equilateral triangular pyramidal, the true dihedral angle has this range when the ratio of hypotenuse to base of the pyramid is 0.7?5.6. This simple model shows that the pyramid of pore fluid in the pargasite aggregate has a finite height and will not be interconnected, because if the fluid is interconnected, its geometry approaches a tube lacking the base plane and the maximum value of the true dihedral angle (formed only with two side faces) is less than 60 degree. In the anorthite-pargasite-fluid system, the population of the triple junction consisting of a curved anorthite and a faceted pargasite faces is >65%. It is calculated that the true dihedral angle of this type of triple junction has a range of 31?57 degree on the basis of the cumulative frequency curve of the measured apparent dihedral angle.

The FE-SEM observation showed that most of the FF and FC type boundaries were formed by impingement, and thus surface tensions at these grain boundaries were not balanced. However, such boundaries were stable as long as the experimental duration. In addition, it is observed that the impingement grains are common in natural amphibole or biotite in the high-grade metamorphic rocks. Therefore, the pore geometry determined by the impingement grains seem to represent a stable structure. Judging from the observed pore-type populations, the FFC and FCC type pores are most likely in the amphibolitic aggregate. The connectivity of these types of pore are relatively high, because the FC type dihedral angle is relatively low (31 - 57 degree) even at the small fluid fraction of the present experiments and the curvature can be continuous along the curved grain boundary (von Bargen and Waff, 1986). The fluid may be interconnected along the edges surrounded by the faceted plane(s) and curved edge(s). The possibility of interconnection at the grain corners is also high. Thus, the connectivity of fluid in the aggregates of amphibole and anorthite is strongly dependent on the modal composition.

キーワード: 大陸下部地殻, 低電気比抵抗, 流体の連結度, 二面角, 表面張力異方性

Keywords: continental lower crust, low electrical resistivity, interconnected fluid, dihedral angle, surface energy anisotropy



SCG060-P11

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 水熱環境下における方解石析出実験

## Experimental study on calcite precipitation in hydrothermal environments

武者 倫正<sup>1\*</sup>

Michimasa Musha<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・院・環境科学

<sup>1</sup>Tohoku Univ.

The crustal fluids are commonly characterized by the compositions in C-H-O system, mainly composed of H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, and thus transport of these fluids and precipitation of carbonate are important for the global carbon cycle. To reduce greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> etc) in the atmosphere, the carbon storage underground has been tried; however, it is considered to be difficult to precipitate calcite in reasonable timescale. In contrast, calcite veins are very common in the oceanic crusts, metamorphic rocks, and accretionary prisms. For example, calcite + quartz veins occur ubiquitously in the Shimanto belt. The solubility of calcite decreased with temperature, that is the opposite trend of quartz; and thus how calcite precipitated in the conditions that quartz also occurs is puzzling. In spite of its importance, the experimental studies on the calcite precipitation are very limited. Most experiments are carried out under near room temperature and controlled by pH change or synthetic CO<sub>2</sub> saturated fluids (Lee & Morse, 1999), that are far from natural conditions of calcite-vein formation. To best of our knowledge, there are no experimental studies on calcite precipitation under hydrothermal conditions (>100 degree C).

The purpose of this study is to understand the controlling factors on calcite precipitation under conditions of calcite-vein formation (fluid compositions, P-T conditions, host rock types). The solubility of calcite increases with decreasing temperature, with increasing fluid pressures, and with increasing concentration of NaCl (Ellis, 1963). What is the most controlling factor that enhances the calcite-vein formation at the conditions of the Shimanto belt is unknown. As a first step, we conducted hydrothermal flow-through experiments to precipitate calcite at 300 degree C and 30 MPa by using the temperature dependency of solubility.

Before the precipitation experiments, because a reliable solubility data on calcite at elevated temperature is lacking, we tested how amount of Ca ions dissolved from calcite in the flow-through system at 30 MPa with temperature range from 100 to 400 degree C. The Ca concentration path-through the vessel is highest at 100 degree C, and it decreased with increasing temperature.

The experimental apparatus of the precipitation experiments is composed of two reaction vessels; in the first vessel, the super-saturated solutions were prepared by dissolution of limestone sand (1-2 mm in size) in the distilled water at 100 degree C. In the second vessel, seven limestone substrates (5x5x15 mm) were set along the flow-path. The limestone is composed of fine grained aggregate of calcite (<0.03 mm). The temperature of the precipitation vessel was set to be 300 degree C. The fluid flow rate was 1 ml/min. After the run of 240 h (10 days), the total increase of weight of limestone substrates was 0.051 g. Observation of the surface morphologies of the substrates by SEM and thin sections by optical microscope reveal that euhedral calcite crystals with size of 0.02-0.03 mm grew from the calcite in the substrates.

Our results suggest that calcite veins could be formed around 300 degree C, if fluids saturated with calcite at lower temperature would be brought accompanying with subduction of slabs. However, our experimental conditions deviate from that of quartz and calcite vein formation, because the temperature increase leads to the dissolution of quartz, so that it cannot be co-existing of quartz and calcite in the same veins. Second, the source of Ca and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> would be the host sedimentary or basaltic rocks in the Shimanto belt. We will try to precipitate calcite with using other factors, including pressure dependence on the solubility, the host rock type.

References: Lewis J. C., Byrne T. B., J.D.Pasteris, (2000), *J. metamorphic Geol.*, 2000, 18, 319-333

Y. J. Lee, J. W. Morse, (1999), *Chemical Geology*, 156 (1999), 151-170

A. J. Ellis, (1963), *American Journal of Science*, 261, 1963, 259-267

キーワード: 付加体, 沈み込み帯, 方解石, 鉱物脈

Keywords: accretionary prism, subduction zone, calcite, mineral veins

## DAC その場観察実験の分光学的圧力センサー Optical pressure sensors for DAC experiment: application in high-pressure studies

Chertkova Nadezda<sup>1\*</sup>, 山下 茂<sup>2</sup>

Nadezda Chertkova<sup>1\*</sup>, Shigeru Yamashita<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 岡山大学地球物質科学研究センター, <sup>2</sup> 岡山大学地球物質科学研究センター

<sup>1</sup>ISEI, Okayama University, <sup>2</sup>ISEI, Okayama University

Structural properties of melts and minerals are widely examined by in situ spectroscopic studies with externally heated diamond anvil cell (HDAC) [1]. While the temperature can be controlled with an accuracy of plus/minus 0.5-1.5 degree C with this technique [2], a direct pressure measurement is complicated by the differences in compressibility and thermal expansivity for the variety of samples. Only few spectroscopic standards can be used for pressure determination in the HDAC experiments involving silicate melts. One of the non-reactive pressure sensors which was calibrated in the wide pressure- and temperature ranges is <sup>13</sup>C diamond [3]. Its first-order Raman shift is distinct from that of diamond anvils and indicates the pressure in immediate proximity to the sample.

The objective of this work was to test the precision of <sup>13</sup>C diamond pressure marker at high pressures and elevated temperatures. Experiments were carried out in the HDAC, with pure H<sub>2</sub>O as a pressure medium and two optical pressure markers - <sup>13</sup>C diamond aggregate chip and ruby chip. Already well established phase transitions in H<sub>2</sub>O system and ruby fluorescence pressure scale were used as references for checking the precision of pressure determination with <sup>13</sup>C diamond Raman shift.

In the temperature (22-300 degree C) and pressure (up to 4.8 GPa) ranges studied, a good agreement between the phase transitions in H<sub>2</sub>O system and the pressure values obtained from two pressure sensors was achieved during heating cycles. The average difference between pressures calculated from <sup>13</sup>C diamond Raman shift and those calculated from ruby fluorescence line shift (0.16 GPa) lies within the reported uncertainty of calibrations [3], [4], [5]. The largest full width at half-maximum (FWHM) for the first-order Raman peak of <sup>13</sup>C diamond was found to be approximately 9.9 cm<sup>-1</sup> at 300 degree C, that is much smaller than FWHM for ruby fluorescence lines.

Experiments in the H<sub>2</sub>O system demonstrated that <sup>13</sup>C diamond is a precise pressure sensor which immediately detects sudden pressure drops in the case of sample decapsulation. These features are essential for the pressure control in in-situ studies of magmatic phenomena, such as mixing behavior of magma and volatiles, structural changes in melts and fluids, crystallization sequences.

### References

1. Smith R.L. and Fang Zh. (2009) Techniques, applications and future prospects of diamond anvil cells for studying supercritical water systems. *Journal of Supercritical Fluids*, V. 47, P. 431-446.
2. Bassett W.A., Shen A.H., Bucknum M., and Chou I.M. (1993) A new diamond cell for hydrothermal studies to 2.5 GPa and from -190 degree C to 1200 degree C. *Reviews of Scientific Instruments*, V. 64, P. 2340-2345.
3. Schiferl D., Nicol M., Zaug J.M., Sharma S.K., Cooney T.F., Wang S.-Y., Anthony T.P., Fleischer J.F. (1997) The diamond <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C isotope Raman pressure sensor system for high-temperature/pressure diamond-anvil cells with reactive samples. *Journal of Applied Physics*, V. 82, P. 3256-3265.
4. Zha C.S., Mao H.K., and Hemley R.J. (2000) Elasticity of MgO and a primary pressure scale to 55 GPa. *PNAS*, V. 97, P. 13494-13499.
5. Ragan D.D., Gustavsen R., Schiferl D. (1992) Calibration of the ruby R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> fluorescence shifts as a function of temperature from 0 to 600 K. *Journal of Applied Physics*, V. 72, P. 5539-5544.

キーワード: ダイヤモンドアンビルセル, 炭素 13 ダイヤモンド, ルビー, 圧力センサー

Keywords: diamond anvil cell, <sup>13</sup>C diamond, ruby, pressure sensor

SCG060-P13

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 地殻鉱物・地殻岩石の地震波速度の定式化 Seismic velocities of crustal rocks and minerals

松影 香子<sup>1\*</sup>, 西原 遊<sup>2</sup>

Kyoko Matsukage<sup>1\*</sup>, Yu Nishihara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, <sup>2</sup> 愛媛大学上級研究員センター

<sup>1</sup>GRC, Ehime University, <sup>2</sup>SRFC, Ehime University

「地殻流体・地球深部水」の分布が、日本において世界最高精度の地震トモグラフィー、地球電磁気構造探査などによって「見える」ようになってきた(例えば Nakajima et al., 2001)。高精度の地球物理学的観測データを解釈し流体の分布を説明するためには、流体の物性だけでなく、流体が流れる「フレームワーク」の役割を果たす岩石・鉱物の弾性的性質を様々な温度圧力で知る必要がある。上部マントルを構成する鉱物の弾性的性質については、多くの研究者の努力で、高温高压鉱物物性測定実験によってかなり良く分ってきた。マントルにおいては構成鉱物の重要な端成分の熱弾性パラメータが精度よく決まっていることもあり、任意の化学組成をもった岩石の速度を鉱物端成分の物性値と岩石のモード組成から計算で求めることができる(例えば Matsukage et al. 2005)。一方、地殻岩石に関しては、横浜国立大学の石川博士らの研究グループによって多相系の岩石についての弾性波速度の直接測定が精力的に行われている(例えば Nishimoto et al. 2008; Kono et al. 2009)。そして地震波速度構造が求められている地域でその地域を構成していると予想される岩石の弾性波速度を直接測定し両者を比較するという方法がとられている。この方法と相補的な方法として、我々は、地殻物質に関して、マントル物質で行われている方法、つまり任意の岩石の速度を鉱物端成分の物性値と岩石のモード組成から計算で予測することを試みた。地震波速度データを解釈するのに必要な地殻鉱物の熱弾性パラメータ(体積弾性率  $K$ 、 $dK/dP$ 、剛性率  $G$ 、 $dG/dP$ 、グリユナイゼンパラメータ、デバイ温度、など)を現状で文献から手に入る様々な質の違うデータを内部整合性が保たれるように再決定し、足りないデータは放射光 X 線とマルチアンビル装置を用いた弾性波速度と状態方程式の同時測定で測定する(東工大の高橋教授ら、SPRING-8 の肥後博士との共同研究として進めている)。本発表では文献値から再決定した物性値でどの程度、確からしい計算が可能かを考察し、さまざまな地殻岩石と地震波速度の関係を地球内部に相当する温度圧力条件で計算した結果を報告する。また、地震波トモグラフィーから地殻の化学組成を解く方法・問題点に関する議論を行う。

キーワード: 地震波速度, 斑レイ岩, エクロサイト, 斜長石, 角閃石, 輝石

Keywords: seismic velocity, gabbro, eclogite, plagioclase, amphibole, pyroxene

SCG060-P14

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 紀伊半島の地震波速度構造 Seismic Velocity Structure beneath Kii Peninsula

福居 大志<sup>1\*</sup>, 澁谷拓郎<sup>1</sup>, 中尾節郎<sup>1</sup>, 西村和浩<sup>1</sup>, 澤田麻沙代<sup>1</sup>, 平原和朗<sup>2</sup>  
Taishi Fukui<sup>1\*</sup>, Takuo Shibutani<sup>1</sup>, Setsuro Nakao<sup>1</sup>, Kazuhiro Nishimura<sup>1</sup>, Masayo Sawada<sup>1</sup>, Kazuro Hirahara<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京大・防災研, <sup>2</sup> 京大・理

<sup>1</sup>DPRI, Kyoto Univ., <sup>2</sup>Science, Kyoto Univ.

フィリピン海プレートは南海トラフから西南日本弧の下に沈み込んでいる。これに伴い海溝型の巨大地震が引き起こされる。南海トラフで発生した巨大地震の最新活動は、1944年の昭和東南海地震(M7.9)と1946年の昭和南海地震(M8.0)である。次の地震は2030年~2036年ごろに発生すると予測されている(地震調査委員会, 2001)。昭和の東南海・南海地震がそうであったように、紀伊半島南端部周辺域は、南海トラフの巨大地震の破壊開始点になる可能性が高いと考えられている。また、紀伊半島は、巨大地震から発せられた地震波の大阪、京都、奈良などの都市への伝播経路にあたる。このような紀伊半島下のスラブ形状や不連続面の分布を含む構造を推定することは、巨大地震の発生予測と強震動予測の高精度化にとって非常に重要である。

我々は、2004年3月から紀伊半島において、観測点間隔が約5km、長さが80km以上の稠密リニアレイ観測を行っている(図1)。遠地地震の波形データを用いたレシーバ関数解析により、紀伊半島下の地震波速度不連続面のイメージングを行い、沈み込むフィリピン海スラブやその周辺の構造を詳細に推定するのが目的である。これまでに沈み込み方向に設定された3測線(潮岬-田尻測線AA', 新宮-河内長野測線BB', 尾鷲-京丹後測線CC')の観測と解析が終了した。その結果として、低速度層である海洋地殻の上面(フィリピン海スラブの上面)、スラブ内の海洋性モホ面、および島弧の大陸性モホ面が明瞭にイメージされた。さらに、深部低周波イベント発生域のスラブ近傍とその陸側のマントルウェッジが強い低速度異常を示すことがわかった。2009年からは、沈み込み方向の南伊勢-信楽測線DD'とこれにほぼ直交する松阪-白浜測線EE', 亀山-御坊FF'で同様の観測を開始し、暫定的なイメージングを行っており、その解析と観測が継続中である。

本発表では、3測線(AA', BB', CC')でのレシーバ関数イメージングの結果とDD', EE', FF'の解析により得られたイメージから、それらの類似点や異なる点について考察する。そして、レシーバ関数解析を主たる目的とする紀伊半島でのリニアレイ地震観測とその結果として推定された紀伊半島下のフィリピン海スラブの形状とマントルウェッジの構造について紹介する。

また、レシーバ関数イメージングを行っているAA'~FF'の6測線から、海洋モホ面(OM)、フィリピン海スラブ上面、大陸モホ面の深さを読み取り、コンターマップの作成を試みた。その結果、海洋モホ面とスラブ上面は紀伊半島の東側で浅く、西側へ向かうにつれて深くなる傾向があることがわかった。また、大陸モホ面は丹波山地付近で最も深く、35kmを少し超える深さであった。

今回形状を推定した速度不連続面を組み込んだ速度構造モデルと稠密アレイ観測点での読み取り値を用いて、地震波速度トモグラフィを行う予定である。

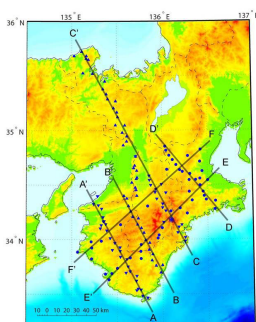


図1. 紀伊半島におけるリニアレイ観測点を▲と●、それらを用いた測線(AA', BB', CC', DD', EE', FF')を実線で示す。

キーワード: フィリピン海スラブ, マントルウェッジ, レシーバ関数イメージ, リニアレイ地震観測, 紀伊半島

Keywords: philippine Sea slab, Mantle wedge, Reciever function image, Linear array seismic observation, Kii Peninsula



## レシーバ関数で見る九州地方のフィリピン海スラブ Receiver function imaging of the Philippine Sea slab beneath Kyushu, southwest Japan

安部 祐希<sup>1\*</sup>, 大倉 敬宏<sup>1</sup>, 平原 和朗<sup>2</sup>, 澁谷 拓郎<sup>3</sup>  
Yuki Abe<sup>1\*</sup>, Takahiro Ohkura<sup>1</sup>, Kazuro Hirahara<sup>2</sup>, Takuo Shibusaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学火山研究センター, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup>AVL, Kyoto Univ., <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>3</sup>DPRI, Kyoto Univ.

沈み込み帯では、スラブが流体を含水鉱物として地下深部まで持ち込むはたらきをし、地下深部で放出された流体がマントルウェッジを部分融解させ火山活動が引き起こされると考えられている。地震波トモグラフィ、レシーバ関数 (RF) 解析や地球化学的シミュレーションから、東北日本では、太平洋スラブに伴って沈み込む蛇紋岩層が 150km 程度の深さで脱水し、その脱水流体がマントル上昇流に伴って火山フロント直下に運ばれるという仮説が立てられている (長谷川ほか, 2008; 岩森, 2007; Kawakatsu & Watada, 2007)。九州地方では、東北日本に沈み込む太平洋スラブ (130Ma) よりも年代の新しいスラブ (西フィリピン海盆: 50Ma、四国海盆: 27Ma) や島弧地殻 (九州パラオ海嶺) が沈み込んでいる。現在まで地震波トモグラフィの解析により、九州地方のマントルウェッジの構造が詳しく推定され、流体分布が明らかになってきた (Zhao et al., 2000; Honda & Nakanishi, 2003; Wang & Zhao, 2006)。また、九州地方中部においては 60km の深さまで沈み込んだ海洋地殻の存在が確認され、フィリピン海スラブ (PHS) は流体を少なくともこの深さまで輸送していると考えられている (岡本ほか, 2008)。しかし、PHS がそれより深い領域に流体を輸送しているかどうかは明らかにされていないのが現状である。そこで RF を用いて、PHS の地震波速度不連続面の形状をより深部まで推定することで含水領域を特定し、年代の新しいスラブによる流体の輸送経路の解明を試みた。

九州地方に設置された 78 点の Hi-net の観測点、および 61 点の J-array の観測点で得られた 439 個の遠地震 (震源時: 1996 年 8 月-2009 年 2 月、震央距離: 30-90 °、マグニチュード: 5.5 以上) による波形データを用いた。時間拡張型マルチテーパ (Shibusaki et al., 2008) を用いて、南東方向から到来する遠地震波形からトランスバース成分の RF を作成した。傾斜する不連続面による地震波の屈折の影響を考慮するために、波面法 (de Kool et al., 2006) による変換点探索 (Abe et al., submitted) を用いて RF をスタックした。RF は北緯 31-34 °、東経 129-132 °、深さ 0-300 km の、九州地方とその下にある和達ベニオフ面が収まる領域内にスタックし、スラブの走向と直交する RF 断面を得た。その際、ak135 (Kennett et al., 1995) の速度構造を用い、作成した RF 断面から得られた変換面と RF をスタックするために仮定した変換面形状と一致するまで、変換面形状の仮定を変化させながら数回スタックを繰り返した。

その結果、PHS の和達ベニオフ面に沿う上面側が低速度の不連続面を見出した。この不連続面は 80-150 km の深さまで見出される。スラブに沿って存在する上面側が低速度の不連続面の候補として、海洋性モホ面と蛇紋岩層の底面が挙げられる (Kawakatsu & Watada, 2007)。我々が得たこの不連続面は 150 km の深さまで見出されることから、浅部は海洋性モホ面、深部は蛇紋岩層の底面に対応すると推測できる (ただしその二つを区別することはできていない)。よって、この不連続面は含水領域の底面に対応すると考えられ、PHS による流体の輸送経路が明らかになった。

スラブ上面に対応すると考えられる不連続面は、北緯 32 °、深さ 60-80 km 付近にのみ見出される。この付近には、九州パラオ海嶺が沈み込んでいるため、島弧地殻に対応する低速度層上面である可能性があり、さらに精査が必要である。スラブ上面に対応する RF のピークは、九州地方においてはこの領域以外では検出されない。このことは、スラブ上面の速度コントラストが小さいことを示していて、火山フロントより前弧側でマントルウェッジが低速度であるという地震波トモグラフィの結果 (Zhao et al., 2000; Honda & Nakanishi, 2003; Wang & Zhao, 2006) と調和的である。

この研究では、防災科学技術研究所・九州大学・鹿児島大学・気象庁の地震波形データと、気象庁の一元化処理震源要素を使用させていただきました。波面法の計算には FMTOMO (de Kool et al., 2006) を使用させていただきました。記して感謝いたします

キーワード: レシーバ関数, フィリピン海スラブ, 九州地方, 波面法

Keywords: receiver function, Philippine Sea slab, Kyushu, fast-marching method

SCG060-P16

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 鬼首カルデラ周辺の3次元比抵抗モデリング-火山活動と地震活動の関係について 3D electrical resistivity modeling of the Onikobe caldera -Implications for volcanoes and earthquake activity

吹野 浩美<sup>1</sup>, 小川 康雄<sup>2\*</sup>, 市来 雅啓<sup>3</sup>, 神田 径<sup>2</sup>, タンク プレント<sup>4</sup>

Hiromi Fukino<sup>1</sup>, Yasuo Ogawa<sup>2\*</sup>, Masahiro Ichiki<sup>3</sup>, Wataru Kanda<sup>2</sup>, Bulent Tank<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 東工大地惑, <sup>2</sup> 東工大火山流体研究センター, <sup>3</sup> 東北大学火山・噴火予知研究観測センター, <sup>4</sup> ボアジチ大学

<sup>1</sup>EPS, Titech, <sup>2</sup>KSV0,Titech, <sup>3</sup>Tohoku Univ., <sup>4</sup>Bogazici Univ.

The Onikobe caldera is an oval topographic depression of 7.5km x 10km. In its southern part, there are active geothermal fields in east-west directions and the most active geothermal manifestation Katayama-Jigoku is in its southeastern end. Around the area, many crustal earthquakes occur, such as Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake(Mw 6.9). The objective of this study is to image the resistivity structure in three dimensions in order to relate the distribution of fluids to volcanoes and earthquakes.

MT survey of 30 sites was conducted in 2009 in and around the Onikobe caldera. Three-dimensional inversion (WSINV3DMT) was applied to the dataset using the full impedance components. The results of the inversions are as follows. A low resistivity body with north-south strike was found at 20km depth in the western part of the caldera. The conductor extends upward, but it starts to branch laterally at 15km depth. One minor branch goes to 3km depth under the Mukaimachi caldera, which is located to the south-west of Onikobe caldera. Another major conductive branch reaches 2km depth below the surface of Katayama-Jigoku. The latter conductor has an east-west strike, which reflects the regional direction of tectonic compression. The resistivity of such crustal anomaly is between 1 and 10 ohmm. Using the Hashin-Strikman model, where conductive fluid shells cover the resistive rock matrix, the conductors will have fluid content as 1-7%, if we assume typical saline crustal fluids. Earthquakes occur at resistive zone above conductive body. This suggests the triggering of earthquake by fluids.

Keywords: magnetotelluric, inland earthquake, geofluid

SCG060-P17

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 不均質応力場での動的地震破壊における熱・流体の効果 The effect of heat and fluid on dynamic earthquake rupture in inhomogeneous stress field

伊藤 諒<sup>1\*</sup>, 鈴木 岳人<sup>2</sup>, 井出 哲<sup>2</sup>  
Ryo Itoh<sup>1\*</sup>, Takehito Suzuki<sup>2</sup>, Satoshi Ide<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東大地震研, <sup>2</sup> 東大・理・地惑  
<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>EPS, Univ. Tokyo

We numerically investigate the effect of the interaction among heat and fluid on dynamic fault tip growth. The interaction, referred to as thermal pressurization (TP), is briefly summarized as follows. When fault slip occurs, frictional heat source appears and it raises fluid pressure. The high-pressured fluid reduces effective normal stress acting on the fault plane, which reduces the frictional stress. This frictional stress reduction enhances the fault slip and the heat source term is again changed. TP is therefore regarded as positive feedback in dynamic fault slip process. Though this mechanism has been studied widely, there has been a problem that many researchers have assumed homogeneous model setup. Natural faults show inhomogeneity in many aspects such as material properties and stress field. For example, the slab beneath Tohoku shows compression (upper zone) and tension (lower zone) stress field and earthquakes are observed to propagate in such stress field. In addition, fluid dehydrated from rocks is believed to exist in and around the slab and it is expected that TP works strongly in the region. We should therefore consider how TP works in inhomogeneous stress field.

We assume dynamic fault tip growth in a thermoporoelastic medium; thermoporoelastic medium has been assumed by a number of researchers to treat TP. Spontaneous fault tip growth with the Coulomb fracture criterion is assumed. Shear stress acting on the fault plane is assumed to decrease linearly with distance from the rupture nucleation point, which generates the region where the shear stress acts in the opposite direction. We can therefore expect that the fault tip growth is arrested spontaneously if we do not consider TP.

The fault tip with TP is found in our calculations to extend to the region where the shear stress changes its direction from the nucleation point, which occurs because of the positive feedback due to TP. If the spatial change rate of the shear stress is smaller, the fault tip can grow further. The results obtained here may explain the reason that earthquakes occurring in, for example, the Tohoku slab can extend over both compression and tension regions.

キーワード: 流体, 熱, 不均質応力場, スラブ, 動的地震破壊

Keywords: fluid, heat, inhomogeneous stress field, slab, dynamic earthquake rupture

SCG060-P18

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## 遠地P波のトランスバース成分からみた日本列島下不均質構造と地震波鉛直異方性 Heterogeneity beneath Japan as inferred from energy partitioning of P-wave and implication for seismic radial anisotropy

山本 希<sup>1\*</sup>

Mare Yamamoto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理・地球物理

<sup>1</sup> Geophysics, Science, Tohoku University

流体に富む水平互相系や剪断流動変形・結晶選択配向が卓越する系においては、地震波速度は鉛直軸を対称軸とする異方性を示し、このような鉛直異方性 (Radial Anisotropy) は、下部地殻における部分熔融場や剪断流動変形場を反映したものである。従来表面波の解析などにより精力的に研究がなされてきた。しかしながら、長周期の地震波を用いた解析では、水平互相系と横等方異方性 (TI) の区別は困難である (e.g., Aki, 1968)。一方、下部地殻・上部マントルにおける短波長不均質性は高周波地震波の散乱を引き起こし、遠地 P 波のトランスバース成分の励起などの現象を生じさせることが知られており、不均質性の地域性・定量化の議論が行われてきた (e.g., Nishimura et al., 2002, Nielsen and Thybo, 2006)。また異方性をもつ不均質媒質による散乱も解析的な研究が進められてきた。

そこで本研究では、高周波地震波を用いた日本列島下の不均質性のマッピングと鉛直異方性の検出を目的に、防災科学技術研究所 Hi-net のデータを用いて遠地 P 波におけるトランスバース成分の励起を系統的に調べ、その入射角依存性などを検討した。また異方性をもつ不均質媒質における散乱の入射角依存性を差分法により計算し考察を行った。

データ解析においては、Hi-net 観測点ごとに記録された遠地 P 波のトランスバース成分を 3 成分エネルギー和で規格化した規格化振幅を各周波数帯において測定した。このようにして得られた各遠地地震でのトランスバース規格化振幅は、入射方位・入射角で平均化しマッピングを行った場合、前弧・背弧の差異や歪集中帯・脊梁といった従来トモグラフィやコーダ Q 値によって指摘されてきた地域性と整合的な結果を示した。一方、入射角ごとに各観測点における P 波主要動直後のトランスバース規格化振幅をみた場合、その形状・減衰特性は入射角への依存性を示し、そのような傾向は例えば東北地域においては前弧側に比べ背弧側で見られた。このような入射角依存性は等方不均質媒質におけるトランスバース成分の励起では説明ができず、不均質性の異方性を示唆する。そこで、差分法を用いて異方性不均質媒質への斜方入射によるトランスバース成分の励起を計算した結果、水平方向に長い相関距離を持った異方性不均質によって観測された入射角依存性が生じた可能性があることが明らかとなった。これらの結果は、高周波散乱波の解析によって鉛直異方性の成因・日本列島下の変形場・流体存在形態への新たな知見が得られることを示唆する。

謝辞 本研究では、防災科学技術研究所 Hi-net のデータを使用させていただきました。

キーワード: 地震波伝播, 地震波散乱, 地殻流体

Keywords: Seismic wave propagation, Seismic wave scattering, Geofluid



SCG060-P19

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 16:15-18:45

## スペクトル比法を用いたコーナー周波数の推定と東北地方の地震波減衰構造 Estimation of corner frequency using the spectral ratio method and attenuation structure beneath NE Japan

羽田 周平<sup>1\*</sup>, 中島 淳一<sup>1</sup>, 内田 直希<sup>1</sup>, 速水 絵里圭<sup>1</sup>, 海野 徳仁<sup>1</sup>  
Shuhei Hada<sup>1\*</sup>, Junichi Nakajima<sup>1</sup>, Naoki Uchida<sup>1</sup>, Erika Hayami<sup>1</sup>, Norihito Umino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学

<sup>1</sup>Tohoku University

地震波の減衰は、 $Q$  (Quality Factor) という量で表され、媒質の  $Q$  値が小さいほど減衰が大きくなる。地球内部構造を調べる上では、速度構造だけでなく減衰構造も重要なパラメータの一つであり、その詳細な空間分布を求めることは地球内部のダイナミクスを理解する上で極めて重要である。羽田・他 (2010) では Eberhart-Phillips and Chadwick (2002) の手法を用いて、東北地方の 3 次元地震波減衰構造を推定した。この手法では、波線全体での減衰  $t^*$ 、スペクトルレベル  $c_0$ 、コーナー周波数  $f_c$  を速度振幅スペクトルから同時に決定したが、 $t^*$  と  $f_c$  の間には強いトレードオフがあり、正確な  $t^*$  と  $f_c$  を同時に推定することは難しい。そこで、本研究ではスペクトル比法を用いて、それぞれの地震の正確な  $f_c$  を推定し、そこで得られた  $f_c$  を用いて、波線ごとに  $t^*$  を推定した。

より安定した速度振幅スペクトル比を得るために、Multi-window Spectral Ratio method (Imanishi and Ellsworth, 2006) を、直達  $S$  波ではなく、 $S$  波コーダに適用した。 $S$  波コーダを用いることで、震源メカニズムの放射特性、サイト特性、不均質構造の影響を取り除くことができ、震源パラメータのみを抽出することができる。まず 2 つの地震を共通の観測点で記録した波形の速度振幅スペクトルの比をとる。次いで、コーダ波部分に 2.56s のウィンドウを半分ずつずらしながら計 5 個のウィンドウをとり、それぞれのウィンドウごとにスペクトル比を計算し、それらをスタックした。ここで得られた観測スペクトル比に <sup>2</sup>モデル (Brune, 1970, 1971) から計算される理論スペクトル比をフィッティングし、地震ごとに  $f_c$  を推定した。次に、得られた  $f_c$  を用いて、地震-観測点のペアごとに  $t^*$  を推定した。

解析では、2006 年から 2009 年に深さ 50-200km で起きた  $M2.5$  以上の地震 (641 個) を使用した。対象領域は  $37-42^\circ N$ ,  $138-143^\circ E$  である。スペクトル比は  $S/N > 3$  の範囲でのみ計算した。

得られた主な結果は以下の通りである。(1) 得られた  $f_c$  は  $M_0$  と経験的な 3 乗則 (応力降下量 0.1-10MPa) に従う。(2) 近接した地震を共通の観測点で観測した場合、 $t^*$  はほぼ同じ値になる。(3) 得られた  $t^*$  は、前弧側を通る波線では小さい値 (低減衰)、背弧側を通る波線では大きな値 (高減衰) となる傾向がある。これらの結果は、 $t^*$  が安定して推定できたことを示しており、コーダ波のスペクトル比法を用いて  $f_c$  と  $t^*$  を 2 段階に分けて推定する方法は、非常に有益であると考えられる。



## メカニズム解から推定した2008年岩手・宮城内陸地震震源域の起震応力場と間隙水圧

### Estimation of the stress field and the pore-pressure from focal mechanisms in the focal area of the 2008 IMNE

吉田 圭佑<sup>1</sup>, 岡田 知己<sup>1</sup>, 伊藤 喜宏<sup>1\*</sup>, 飯沼 卓史<sup>1</sup>, 海野 徳仁<sup>1</sup>, 長谷川 昭<sup>1</sup>, 2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ<sup>2</sup>

Keisuke Yoshida<sup>1</sup>, Tomomi Okada<sup>1</sup>, Yoshihiro Ito<sup>1\*</sup>, Takeshi Iinuma<sup>1</sup>, Norihito Umino<sup>1</sup>, Akira Hasegawa<sup>1</sup>, Group for the after-shock observations of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学・理・予知セ, <sup>2</sup> 岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ

<sup>1</sup>RCPEV, <sup>2</sup>GIMNE2008

#### 1. はじめに

2008年6月14日に、岩手・宮城内陸地震(M7.2)が発生した。これまでの研究により、余震分布、本震・余効すべり分布、震源域の地震波速度構造などが求められており、この地震の発生過程に高い間隙圧をもつ地殻流体の関わりが示唆されている。そこで、本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震を対象として、東北大学・気象庁・防災科学技術研究所 Hi-net の定常観測データおよび2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ・原子力安全基盤機構(JNES)による臨時観測データを用いて、本震前後の期間での震源域の応力場の推定と、本震後の震源域での摩擦強度の空間分布の推定を行った。摩擦強度については、クーロンの破壊基準による破壊の条件に基づき、摩擦強度の低下が間隙水圧によると仮定し議論を行った。

#### 2. 応力場の推定

まず、本震前の期間(1998-2008/6/14)と本震後の期間(2008/6/14-9/30)に分けて、地震のメカニズム解の推定、応力テンソルインバージョンによる起震応力場の推定を行った。その結果、本震前の期間に推定された最大主応力軸の方位は、概ね東西から西北西-東南東方向を向くことが分かった。特に震源域南部では東西に近く、一方、震源域中央部では西北西?東南東の方向であった。この傾向はメカニズム解のP軸の卓越する方向とおおよそ対応する。?3軸は概ね鉛直に近く逆断層型の応力場を示すが、震源域西部で?3軸が水平に近い逆断層型の応力場を持つ。この本震前の応力場の傾向は、GPSデータから得られた本震前の期間の歪速度分布の傾向とほぼ一致する。

本震後の期間の震源域の応力場には、5-10 km程度での顕著な空間変化が見られることが分かった。最大主応力軸の方位に関しては、震源域東部では、北西?南東方向を向く傾向があるのに対し、震源域西側浅部では北東-南西方向を向く傾向を示す。また、震源域南部では東西に近い。これらの方向は、それぞれの地域で発生した余震のメカニズム解のP軸の方位の卓越する方向とおおよそ一致する。その他の地域では概ね西北西-東南東を向く結果が得られた。一方、最小主応力軸は、概ね、鉛直に近く、逆断層型の応力場を示すが、震源域北部では、最小主応力軸が水平に近い横ずれ断層型の応力場を示す。本震前後の最大主応力軸の空間変化を、地震に伴う応力場の変化によると仮定すると、本震前の(最大主応力)/(最小主応力)の比が1に近い場合(1.025)にのみ、観測された空間変化を説明できそうである。その場合、本震前の偏差応力が極めて小さかった可能性がある。

#### 3. 摩擦強度の空間変化の推定

次に、推定した余震の断層面と本震後の応力場を元に、摩擦強度の空間分布を求め、さらに摩擦強度の低下が間隙水圧の上昇によると仮定し、間隙水圧の空間分布の推定を行った。その結果、本震発生後、本震震源およびそれから西側にかけての領域と、震源域北部で間隙水圧が高い値を持つことが分かった。間隙水圧の高い領域は、地震波速度トモグラフィから推定された低速度域の上部に位置し、また、その拡がりもGPSデータにより推定された地震時すべりの大きい領域、余効すべり域の拡がりに対応する。これらの結果は、地震波低速度域としてイメージングされた震源域西部の部分溶融域から、マグマが冷却・固化することで放出された流体が、本震を引き起こした可能性を示唆するとともに、本震すべりや余効すべりに伴って周囲に拡散・再分布した流体が、震源域西部と北部で摩擦強度を低下させ、その結果、本震断層面のみでなくその周囲でも多数の余震が発生した可能性を示す。

キーワード: メカニズム解, 応力場, 間隙水圧

Keywords: focal mechanism, stress, pore pressure