

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^{1*}, ゲリャ タラス², ズー ゲイジー²
Satoru Honda^{1*}, Taras Gerya², Guizhi Zhu²

¹ 東大地震研究所, ² チューリッヒ工科大学

¹ERI, Univ. Tokyo, ²ETH 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^{1*}

Keiko Kuge^{1*}

¹ 京都大学理学研究科地球物理学教室

¹Dept. 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).

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^{1*}, 石渡 明², 森下 知晃³, 早坂 康隆⁴, Galina V. Ledneva⁵, Borys A. Bazylev⁵, Sergei D. Sokolov⁵, Suren A. Palandzhyan⁵, 田村 明弘³, 荒井 章司⁶

Sumiaki Machi^{1*}, Akira Ishiwatari², Tomoaki Morishita³, Yasutaka Hayasaka⁴, Galina V. Ledneva⁵, Borys A. Bazylev⁵, Sergei D. Sokolov⁵, Suren A. Palandzhyan⁵, Akihiro Tamura³, Shoji Arai⁶

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

¹Natural Sci. & Tec., Kanazawa Univ., ²NE Asia Center, Tohoku Univ., ³FSO, Kanazawa Univ., ⁴Earth & Planet. Sys. Sci., Hiroshima Uni., ⁵Geol. Inst. Russia Academy of Science, ⁶Earth 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 (magnesianhornblende) 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, serpentinitization

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^{1*}, 小竹 翔子¹, 鍵 裕之¹

Hidemi Ishibashi^{1*}, Shoko Odake¹, Hiroyuki Kagi¹

¹ 東京大学・院理・地殻化学実験施設

¹Geochemical 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 Fe²⁺ および Fe³⁺ 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、Fe³⁺/Fe²⁺ 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 fO₂ 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 fO₂ 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 Fe³⁺/Fe²⁺ 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 H₂O の脱ガスはメルトの fO₂ 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^{1*}, 岡本 和明¹, 堤 之恭², 寺林 優³

Miyuki Arakawa^{1*}, Kazuaki Okamoto¹, Yukiyasu Tsutsumi², Terabayashi Masaru³

¹ 埼玉大学教育学部, ² 国立科学博物館, ³ 香川大学工学部

¹Saitama University, Japan, ²National Science Museum, ³Kagawa 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 μm。SHT16 は自形で、全て球状であった。粒径は 100~200 μm。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 μm。

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^{1*}, 北野 元基¹

Tohru Watanabe^{1*}, Motoki Kitano¹

¹ 富山大学

¹ 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 CO₂ を含む塩水包有物 CO₂ bearing saline aqueous fluid inclusions in olivine of peridotite xenoliths of Pinatubo 1991 ejecta

熊谷 仁孝^{1*}, 川本 竜彦¹, 芳川 雅子¹, 小林 哲夫²

yoshitaka kumagai^{1*}, Tatsuhiko Kawamoto¹, Masako Yoshikawa¹, Tetsuo Kobayashi²

¹ 京都大学理学研究科地球熱学, ² 鹿児島大学理学部地球環境

¹Inst. Geothermal Sci., Kyoto Univ., ²Earth 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 H₂O, 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, CO₂ is also found in vapor bubbles in inclusions. These suggest that the inclusions were composed of H₂O-CO₂ and reacted with olivine to form talc, magnesite, and CO₂ - 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 CO₂ inclusions commonly observed in mantle xenoliths in worldwide. One exception was CO₂-H₂O inclusion from orthopyroxene in a peridotite xenolith of Ichinome-gata, a back-arc side in the northeast Japan arc. For last 15 years, H₂O 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 CO₂ 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^{1*}, 小木曾 哲¹, 三宅 亮²

Shugo Ohi^{1*}, Tetsu Kogiso¹, Akira Miyake²

¹ 京都大学 人環, ² 京都大学 理

¹Kyoto university HES, ²Kyoto 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H₂O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H₂O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)₂とともに封入して実験を行った。また、石英とMg(OH)₂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)₂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)₂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Mg₂SiO₄の多結晶体が晶出し、その外側にMgOもしくはMg(OH)₂が観察できた。また石英とMg₂SiO₄の粒間に少量のMgSiO₃の晶出も観察できた。このことから、Mg(OH)₂と石英が反応して、Mg₂SiO₄およびMgSiO₃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Mg₂SiO₄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)₂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^{1*}, 高橋 美紀¹

Shin-ichi Uehara^{1*}, Miki Takahashi¹

¹ (独) 産業技術総合研究所

¹GSI, 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¹, 中村 美千彦^{1*}

Masamichi Abe¹, Michihiko Nakamura^{1*}

¹ 東北大学大学院理学研究科地学専攻

¹Department 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 H₂O, 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^{1*}

Michimasa Musha^{1*}

¹ 東北大学・院・環境科学

¹Tohoku Univ.

The crustal fluids are commonly characterized by the compositions in C-H-O system, mainly composed of H₂O, CO₂ and CH₄, and thus transport of these fluids and precipitation of carbonate are important for the global carbon cycle. To reduce greenhouse gas (CO₂, CH₄ 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 CO₂ 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 CO₃²⁻ 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^{1*}, 山下 茂²

Nadezda Chertkova^{1*}, Shigeru Yamashita²

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

¹ISEI, Okayama University, ²ISEI, 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 ¹³C 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 ¹³C diamond pressure marker at high pressures and elevated temperatures. Experiments were carried out in the HDAC, with pure H₂O as a pressure medium and two optical pressure markers - ¹³C diamond aggregate chip and ruby chip. Already well established phase transitions in H₂O system and ruby fluorescence pressure scale were used as references for checking the precision of pressure determination with ¹³C 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 H₂O system and the pressure values obtained from two pressure sensors was achieved during heating cycles. The average difference between pressures calculated from ¹³C 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 ¹³C diamond was found to be approximately 9.9 cm⁻¹ at 300 degree C, that is much smaller than FWHM for ruby fluorescence lines.

Experiments in the H₂O system demonstrated that ¹³C 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 ¹³C/¹²C 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 R₁ and R₂ 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, ¹³C 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^{1*}, 西原 遊²

Kyoko Matsukage^{1*}, Yu Nishihara²

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

¹GRC, Ehime University, ²SRFC, 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^{1*}, 澁谷拓郎¹, 中尾節郎¹, 西村和浩¹, 澤田麻沙代¹, 平原和朗²
Taishi Fukui^{1*}, Takuo Shibutani¹, Setsuro Nakao¹, Kazuhiro Nishimura¹, Masayo Sawada¹, Kazuro Hirahara²

¹ 京大・防災研, ² 京大・理

¹DPRI, Kyoto Univ., ²Science, 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。

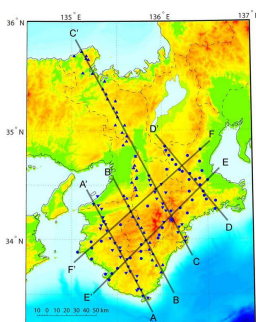


図1. 紀伊半島におけるリニアアレイ観測点を▲と●、それらを用いた測線(AA', BB', CC', DD', EE', FF')を実線で示す。

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^{1*}, 大倉 敬宏¹, 平原 和朗², 澁谷 拓郎³
Yuki Abe^{1*}, Takahiro Ohkura¹, Kazuro Hirahara², Takuo Shibusatani³

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

¹AVL, Kyoto Univ., ²Graduate School of Science, Kyoto Univ., ³DPRI, 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テ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テ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、九州地方のマンテ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 (Shibusatani 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テ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¹, 小川 康雄^{2*}, 市来 雅啓³, 神田 径², タンク プレント⁴

Hiromi Fukino¹, Yasuo Ogawa^{2*}, Masahiro Ichiki³, Wataru Kanda², Bulent Tank⁴

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

¹EPS, Titech, ²KSV0,Titech, ³Tohoku Univ., ⁴Bogazici 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^{1*}, 鈴木 岳人², 井出 哲²
Ryo Itoh^{1*}, Takehito Suzuki², Satoshi Ide²

¹ 東大地震研, ² 東大・理・地惑
¹ERI, Univ. Tokyo, ²EPS, 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^{1*}

Mare Yamamoto^{1*}

¹ 東北大学・理・地球物理

¹ 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^{1*}, 中島 淳一¹, 内田 直希¹, 速水 絵里圭¹, 海野 徳仁¹
Shuhei Hada^{1*}, Junichi Nakajima¹, Naoki Uchida¹, Erika Hayami¹, Norihito Umino¹

¹ 東北大学

¹Tohoku 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 ²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¹, 岡田 知己¹, 伊藤 喜宏^{1*}, 飯沼 卓史¹, 海野 徳仁¹, 長谷川 昭¹, 2008年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ²

Keisuke Yoshida¹, Tomomi Okada¹, Yoshihiro Ito^{1*}, Takeshi Iinuma¹, Norihito Umino¹, Akira Hasegawa¹, Group for the after-shock observations of the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake²

¹ 東北大学・理・予知セ, ² 岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ

¹RCPEV, ²GIMNE2008

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