

## 亜臨界 - 超臨界流体 ( $\text{H}_2\text{O} - (\text{CO}_2) - \text{X}$ ) の分光特性 Spectroscopic properties of sub- and supercritical fluid ( $\text{H}_2\text{O} - (\text{CO}_2) - \text{X}$ )

関口 知寿<sup>1\*</sup>, 平野 伸夫<sup>1</sup>, 岡本 敦<sup>1</sup>, 土屋 範芳<sup>1</sup>  
Chizu Sekiguchi<sup>1\*</sup>, Nobuo Hirano<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> Graduate School of Environmental Studies Tohoku University

Physicochemical states of  $\text{H}_2\text{O}$  are divided into three phases, solid, liquid and vapor. Especially, the vapor-liquid phase boundary is called the saturated steam pressure curve. The terminated point of this curve is called the critical point. Liquid density becomes equal to gas density at that point. The fluid's state above the critical point is called supercritical fluid (water). Supercritical fluids exist near the deep-sea hydrothermal vent or in the deep earth's crust.

Supercritical fluid has a characteristic property that chemical reactivity, solubility and/or ion product. It is very important for the understandings of fluid/crustal rocks interaction. Therefore, decision of supercritical point of crustal fluid and characterization of fluid's state is very important.

The fluid near the critical point has intense density fluctuation, so, it is considered that the optical transmissivity is very low.

In present study, spectroscopic measurements for pure  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  and  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  fluids under high temperatures and high pressures up to  $400^\circ\text{C}/30\text{ MPa}$  were carried out by using visible-type autoclave. It was observed the state of the optical property of the fluid near the critical point. In addition, it was considered a method for the critical point determination of multicomponent fluid by the spectral measurement of the transmitted light through the fluid. On the critical point, intensity of transmitted light though each fluid became low drastically. The minimum intensity of transmitted light was corresponded to critical temperature and pressure of each fluid. Differences between experimentally determined critical temperature and reference data in literature of pure fluids were within about  $1.6^\circ\text{C}$ , and pressure differences were less than  $0.3\text{ MPa}$ . It is practically well coincide and it is possible to evaluate critical temperature and pressure of multicomponent geofluids by using spectroscopic measurement under hydrothermal conditions.

Intensity between about  $940$  and  $960\text{ nm}$  of  $\text{H}_2\text{O}$  and of  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  was always dark through entire temperature range in both cases of heating and cooling stages. Those absorptions in near-infrared region were corresponded to a combination of fundamental vibrations of  $-\text{OH}$ . It indicates that spectral measurement of multicomponent fluid will also lead to a further understanding of the fluid composition and the molecular structure.

キーワード: 臨界点, 超臨界流体, 分光計測

Keywords: critical point, supercritical fluid, spectroscopic measurement

## 超臨界 H<sub>2</sub>O 流体に対する希土類元素 Ce の溶解度測定手法の開発

### Development of solubility measurement technique of rare earth element (Ce) in supercritical aqueous fluids

阿部 健康<sup>1\*</sup>, 中村美千彦<sup>1</sup>, 佐々木理<sup>2</sup>, 小川泰正<sup>3</sup>, 山田亮一<sup>1</sup>

Takeyasu Abe<sup>1\*</sup>, NAKAMURA, Michihiko<sup>1</sup>, SASAKI, Osamu<sup>2</sup>, OGAWA, Yasumasa<sup>3</sup>, YAMADA, Ryoichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学理学研究科地学専攻, <sup>2</sup> 東北大学総合学術博物館, <sup>3</sup> 東北大学環境科学研究科

<sup>1</sup>Tohoku University, Earth Science, <sup>2</sup>Tohoku University, Museum, <sup>3</sup>Tohoku University, Environmental Studies

沈み込み帯における元素の化学輸送を理解する上で、鉱物と平衡共存する超臨界 H<sub>2</sub>O 流体の化学組成を測定することは重要である。従来、鉱物の溶解度測定には重量変化法が用いられてきた(例えば Manning, 1994)。出発物質として単結晶の鉱物を用いた溶解実験を行い、実験前後の重量変化を測定して溶解度を算出するこの手法は、ppm オーダーの測定精度にはまだ議論の余地がある(例えば Antignano and Manning, 2008)。そこで本研究では、その溶解度が新しい地質温度計に応用できるとして近年注目されている Ce (例えば Plank et al., 2009) を測定対象とし、ICP-MS を利用した二つの実験手法の開発を行った。

初めに、高温高压下で H<sub>2</sub>O 流体を石英中の流体包有物としてトラップし、合成した流体包有物を分析した。出発物質として人工的に微細な割れ目を入れた石英を用意し、CePO<sub>4</sub> の粉末状試薬及び蒸留水と共にカプセルに封入した。実験は、ピストンシリンダー型高压発生装置を用いて行い、0.8-1.2 GPa, 700-900 degC で 6 時間-1 週間保持した。実験後、東北大学総合学術博物館の X 線 CT 装置を用いて石英を撮影し、三次元画像解析ソフト Slice を用いて流体包有物の体積を見積もった。その後、石英ごとフッ酸分解して試料溶液を用意し、東北大学環境科学研究科の ICP-MS を用いて分析を行った。

次に、ダブルカプセルを用いて CePO<sub>4</sub> に飽和した H<sub>2</sub>O 流体をアウターカプセルにトラップし、実験後、カプセルに形成された急冷結晶を利用して溶解度を見積もった。インナーカプセルに CePO<sub>4</sub> の粉末状試薬、アウターカプセルに蒸留水を封入し、ピストンシリンダー型高压発生装置を用いて 1.0 GPa, 800 degC で 24 時間保持した。回収したカプセル全体の重量変化を用いて H<sub>2</sub>O の重量を決定した。その後、急冷結晶を硝酸洗浄して溶液試料を作成し、ICP-MS を用いて分析を行った。

流体包有物合成法により、石英に飽和した H<sub>2</sub>O に対する Ce の溶解度を得ることができた。しかし、今回用いた分析手法では、包有物の体積分率が小さいため、検出限界は重量変化法よりも大きい。一方で溶質トラップ法によって得られたデータは先行研究 (Tropper et al., 2011) と調和的な結果を示している。また、この方法による検出限界を見積もると 0.1 ppm 程度であることがわかり、精度の高いデータが期待される。今後、溶解度に対する温度、圧力、塩濃度、珪酸塩濃度などの影響を調べていく予定である。

キーワード: 重量変化法, 流体包有物合成法, 溶質トラップ法

Keywords: weight loss method, synthetic fluid inclusion method, solute trap method

## シリカ析出に伴うき裂間隙構造の変化と透水率変化

### Evolution of aperture distribution and permeability change during fracture sealing by silica minerals

山田 稜<sup>1\*</sup>, 岡本 敦<sup>1</sup>, 最首 花恵<sup>1</sup>, 中村 美千彦<sup>2</sup>, 奥村 聡<sup>2</sup>, 佐々木 理<sup>3</sup>, 土屋 範芳<sup>1</sup>

Ryo Yamada<sup>1\*</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Hanae Saishu<sup>1</sup>, Michihiko Nakamura<sup>2</sup>, Satoshi Okumura<sup>2</sup>, Osamu Sasaki<sup>3</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院環境科学研究科, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 東北大学博物館

<sup>1</sup>Touhoku University, <sup>2</sup>Tohoku university, <sup>3</sup>The Tohoku university museum

Fractures are dominant fluid pathways in the upper crusts. Ubiquitous occurrences of quartz veins suggest that precipitation of quartz provides significant effects on the hydrological and mechanical properties of crustal environments. For example, a model has been proposed that fracture sealing processes control the change of pore fluid pressure and thus earthquake cycle. Previous studies on quartz veins have focused on the P-T conditions, stress and strain fields and fluid compositions; however, details of dynamics of fluid flow and how fractures are sealed during vein formation are still unclear. In this study, we carried out the hydrothermal experiments to synthesis quartz veins, and observed the aperture structures by using X-ray CT. The purpose of this study is to clarify how aperture structures evolve by quartz precipitation in fractures and to understand the behavior of permeability evolution during vein formation.

We conducted the hydrothermal flow-through experiments for quartz precipitation from Si-supersaturated solutions at 430C and 30 MPa (supercritical region). The experimental apparatus consists of two vessels for preparation of the Si-supersaturated solution and for precipitation, respectively. The precipitation vessel has double-structure: the main flow path was the inner alumina tube, and the outer SUS tube was filled with static solutions connected with the flow path. A granite core (Westerly granite, diameter=3.6mm, length=50mm) with a slit of 300 micro-meter width was placed in the alumina tube. Inner and outer pressure of the inner tube was almost same (31MPa). Precipitation occurred preferentially within the alumina tube (mainly in the slit of granite), and alumina tube was broken when fracture was sealed and upstream fluid pressure was raised toward ~35 MPa. The fluid pressure was recorded by the second to calculate the change of the permeability during run. The advantage of this system is that we can take out the non-destructive sample. We observed the aperture sizes of fractures before and after of run by computer tomography.

The mineralogy and aperture structures changes systematically along the fluid flow path. Near the inlet of the precipitation vessel, only amorphous silica precipitated predominantly. From the inlet to 35mm of fracture, nucleation and growth of quartz predominantly occurred, regardless of vein wall minerals. In this region, precipitation of quartz occurred preferentially on top wall rather than bottom wall, indicating the effects of the gravity on the density fluctuation of supercritical water. From 35mm to outlet of fracture, silica precipitates occurred as epitaxial overgrowth from quartz crystal. The wavelength of aperture structures is controlled by distribution and grain size of quartz of the host granite. Accordingly, fractures are not sealed homogeneously, but complex 3D flow pathways are evolved during vein formation.

Keywords: Hydrothermal experiments, Quartz vein, aperture

## 四万十帯・室戸地域における流体包有物中のC-H-O流体分布 Distribution of C-H-O fluids deduced from fluid inclusions from the Shimanto belt in the Muroto area, SW Japan

武者 倫正<sup>1\*</sup>, 土屋 範芳<sup>1</sup>, 岡本 敦<sup>1</sup>

Michimasa Musha<sup>1\*</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>, Atsushi Okamoto<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

Geofluids have compositions in C-H-O system, mainly composed of H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, and the compositional variation of fluids within the Earth's interior is of special importance for understanding the global carbon cycle. In this study, we characterized the C-H-O fluids in the ancient subduction zone, that were trapped in mineral veins as fluid inclusions within the accretionary complex, Shimanto belt, SW Japan. Although calcite-bearing veins commonly occur in the Shimanto belt, it is known that fluid inclusions were mainly composed of H<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub>; therefore it is unclear why calcite precipitated from the fluids in absence of CO<sub>2</sub>.

The Muroto Peninsula belongs to the Tertiary (Paleogene and Neogene system) Shimanto belt, and it is mainly composed of sandstones, mudstones and conglomerates with small amount of basalt. The ages of accretion become younger toward the south, and maximal temperature evaluated from the vitrinite reflectance increased from north(214C) to south(278C) in this area (DiTullio, 1993). Mineral veins were mainly composed of quartz, with small amount of calcite. We collected the mineral veins from the 9 outcrops along the coast, W1 to W5 in the western side, and E1 to E4 from the eastern side from Paleogene system. Lewis (2000) reported the fluid inclusions of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> mixture at the locality W5, but the regional distribution of CO<sub>2</sub> fluids is not clear.

The mole fraction of CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> gasses in the two-phase fluid inclusions in quartz veins and carbonic(one-phase) fluid inclusions in quartz and calcite were measured by the Laser Raman Spectroscopy (HoloLab, KAISER OPTICAL SYSTEMS Co.) with thin sections of veins. Homogenization temperatures of water-rich inclusions were measured by microthermometric techniques.

Two-phase fluid inclusions in the mineral veins in the Muroto area show the following features: (1) The gas phase of fluid inclusions are composed of pure CH<sub>4</sub>, or CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub> mixture, with various XCO<sub>2</sub>(= $n\text{CO}_2/n\text{CO}_2+n\text{CH}_4$ ) values ranging from 0 to 0.8. Fluid inclusions with pure CH<sub>4</sub> gas were found in the northern parts of the Muroto area (W1 - W4 and E1 - E3). (2) The average XCO<sub>2</sub> values increased toward south, and the most southern points W5 and E4 shows XCO<sub>2</sub> of 0.3~0.8. (3) The XCO<sub>2</sub> values are various within individual veins; fluids including CO<sub>2</sub> (XCO<sub>2</sub> > 0) were located only close to vein walls, whereas gas phase of fluid inclusions composed only CH<sub>4</sub> were located in the center of the vein. Even in a single quartz crystals in mineral vein, the XCO<sub>2</sub> values are scattered, 0.18~0.88.

One-phase carbonic fluid inclusions were composed of CH<sub>4</sub>. Calcite veins also contain this type of CH<sub>4</sub> one-phase inclusion. Primary fluid inclusions were composed of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> mixture as mentioned above, but gas phase of secondary inclusions were all composed of only CH<sub>4</sub> in the whole Muroto area. The average homogenization temperature of W1 and W5, are 216 C at W1, and 226 C at W5, respectively.

The increase of CO<sub>2</sub> gas with increasing temperature (W1 to W5) and occurrence of CO<sub>2</sub>-bearing inclusions near vein wall imply that CO<sub>2</sub> fluids were generated by diagenetic processes of carboniferous materials in host rocks. We will discuss the timing and controlling factor to produce variation in C-H-O fluid inclusions both in regional and local scales.

Referances:DiTullio L., Laughland M. M., Byrne T., Thermal maturity and constraints on deformation from illite crystallinity and vitrinite reflectance in the shallow levels of an accretionary prism: Eocene-Oligocene Shimanto Belt, southwest Japan, Geological Society of America, special paper (1993), 273, 63-82

Lewis J. C., Byrne T. B., J.D.Pasteris, (2000) Early Tertiary fluid flow and pressure-temperature conditions in the Shimanto accretionary complex of south-west Japan: constraints from fluid inclusions, J. metamorphic Geol., 2000, 18, 319-333

キーワード: 流体包有物, 方解石, 付加体, 鉱物脈

Keywords: fluid inclusions, calcite, accretionary complex, mineral veins

## Antigorite の水流体中での脱水分解反応における分解溶解のその場観察 In-situ observation of dehydration and incongruent dissolution of antigorite into aqueous fluids

西崎 遼<sup>1\*</sup>, 川本 竜彦<sup>1</sup>

Ryo Nishizaki<sup>1\*</sup>, Tatsuhiko Kawamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto Univ

近年、スラブ内やマントルウェッジ中における蛇紋岩の脱水不安定が地震発生の原因になっていると考えられている (Yamasaki and Seno (2003 J. Geophys. Res.)). そこで我々は今回、蛇紋岩の脱水分解反応をバセット型外熱式ダイヤモンドアンビルセル (W.A.Bassett et al. 1993 Rev. Sci. Instrum.) を用いて直接その場観察することを試みた。

ダイヤモンドアンビルセル内に antigorite ( $Mg_{51}Si_{36}O_{90}(OH)_{66}$ ) と水、気泡を入れ、温度を上昇させた。その際、温度を上昇させる前に forsterite がダイヤモンドアンビルセル内に存在しないことをラマン分光法で確認した。ラマンスペクトルに関しては、Enami(2006 岩石鉱物科学) を参照した。その後もラマン分光法で antigorite に変化がないか確認しながら実験を行った。

今回この実験によって antigorite が水の存在下で脱水分解反応をする際は、antigorite が一旦水に溶けてから、forsterite が析出してくることが観察された。(550-600 , 0.2-0.7GPa) さらに析出した forsterite は1時間で約 30  $\mu$  m まで成長した。また本実験から考えられる安定領域は先行研究 (Evans et al.1976 Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. ) と矛盾しないものであった。

Takahashi et al.(2011 J. Geophys. Res.) は間隙水の存在下で antigorite の摩擦係数を測定し、antigorite の脱水分解反応によって、forsterite が生成することで硬くなり、滑りを引き起こすということを提案した。今回のその場観察実験からもこの説を支持する結果となった。また低圧域での antigorite の脱水分解反応で生成するはずの talc は観察できなかったの、今回わかった反応方法から、talc は水に溶けてしまったのだと考える。

キーワード: アンチゴライト, 脱水分解反応, その場観察, 高温高圧, 地震活動, 分解溶解

Keywords: antigorite, dehydration, in situ observation, high temperature and high pressure, seismicity, incongruent dissolution



## X線その場観察を用いた高圧下における緑泥石の脱水分解反応 In situ X-ray diffraction analysis of the experimental dehydration of chlorite at high pressure

末次 秀規<sup>1\*</sup>, 井上 徹<sup>2</sup>  
Hideki Suenami<sup>1\*</sup>, Toru Inoue<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 愛媛大学大学院理工学研究, <sup>2</sup> 愛媛大学地球ダイナミクス研究センター

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, <sup>2</sup> Geodynamics Research Center, Ehime University

### 1. Introduction

Water in hydrous minerals is transported to deep Earth by subducting slab, which dehydrate at certain pressure and temperature. Exist of deep Earth's water affect the physical properties of Earth's minerals such as melting point, viscosity, elastic velocity, and so on. Therefore it is important to study the effect of water for the subducting slab materials. Moreover determination of the stability region of hydrous minerals is important to understand the mechanism of transport of water.

Serpentine ( $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ) is major hydrous mineral in subducting slab. There are many experimental reports for serpentine under high pressure. The stability field has already determined by in situ X-ray diffraction experiments. Chlorite ( $(\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ) should be also an important hydrous mineral in the subducted slab, because Al is included in slab materials. However there are few experimental reports for chlorite under high pressure.

So in this study, the dehydration reactions of chlorite have been studied by time-resolved X-ray diffraction analysis under high pressure and temperature.

### 2. Experimental

Time-resolved dehydration experiments of chlorite were conducted by in situ X-ray diffraction using the high-pressure apparatus MAX80 at PF-AR, KEK. Natural chlorite was used as a starting material, and sealed by Au caps plus diamond sleeve. Temperature was measured by W-Re thermocouple, and pressure was calculated by equation of state of NaCl and Au. Experiments were conducted between 3 to 8 GPa and up to 900 deg C. Time-resolved X-ray diffraction was measured at intervals of 50 deg C with checking diffraction change. When dehydration occurred at each pressure, it kept a few hours, and quenched. The quenched sample was analyzed by scanning electron microscope.

### 3. Results and discussion

In all experiments, chlorite was quickly dehydrated to forsterite + pyrope + fluid within 1 hour. Dehydration boundaries of chlorite were determined at 3 to 8 GPa, with compared with the previous works. The boundary has negative P/T slope at 5 to 8 GPa. Chlorite was stable at ~ 800 deg C below 4 GPa. The dehydration boundary in the present study is consistent with previous phase equilibrium boundary by quench experiment. This means that, chlorite become to equilibrium state rapidly when slab cross the dehydration boundary.

The dehydration boundaries of chlorite and serpentine are compared. Pressure range of dehydration of chlorite is narrower than that of serpentine, which means that dehydration depth of chlorite does not change so much compared to serpentine by temperature profile of slab.

キーワード: 緑泥石, 脱水分解反応, 高圧相関係, X線その場観察

Keywords: Chlorite, Dehydration, High pressure phase relation, In situ X-ray diffraction

## 高間隙水圧下における蛇紋岩の弾性波速度 Elastic-wave velocity of serpentinites under high pore-fluid pressure

原田 裕也<sup>1</sup>, 片山 郁夫<sup>1\*</sup>, 河野 義生<sup>2</sup>  
Yuya Harada<sup>1</sup>, Ikuo Katayama<sup>1\*</sup>, Yoshio Kono<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学地球惑星システム学, <sup>2</sup> カーネギー研究所

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, <sup>2</sup>Geophysical Laboratory, Carnegie Institution of Washington

蛇紋岩はかんらん岩に比べ著しく遅い弾性波速度や高いポアソン比を持つため、沈み込み帯でみられる地震波低速度層や高ポアソン比領域の原因として注目されている。しかしながら、関東下や西南日本のプレート境界で報告されるポアソン比 0.31 は、蛇紋岩（アンチゴライト 0.28）の存在だけでは説明がつかず、その領域には蛇紋岩に加え流体が共存している可能性が高い。そこで、本研究では間隙流体圧下における弾性波速度の測定システムの開発を行い、蛇紋岩の弾性波速度に対する間隙水圧の効果を定量的に検証することを試みた。

実験は広島大学設置の容器内透水変形試験機を用い、封圧 10-200MPa、間隙水圧 10-100MPa、室温の条件で行った。試料は円柱状（直径 20mm、長さ 10mm）に整形し、端面は平面研削盤により 0.005mm 以内の精度で平行度を整えた。試料の上面には圧電素子を貼付したステンレスを配置し、下面には音響インピーダンスの低いテフロンを配置することにより、反射法を用いて弾性波を測定した。なお、弾性波のトリガーは 5V で入力し、サンプルの上面と下面で反射する波形の相互相関から travel-time を見積もり、弾性波速度を計算した。

間隙水圧をかけない無水の条件では、蛇紋岩の弾性波速度は封圧の増加に従い P 波 S 波とも上昇し、 $V_p/V_s$  は若干減少した。これは封圧の増加に伴い、蛇紋岩中に潜在していた微小クラックが閉じたためと考えられる。水圧下での実験では、間隙水圧と封圧の差を一定にした場合、弾性波速度はほぼ変化せず、有効圧が成り立っていると考えられる。封圧一定のもと間隙水圧のみを変化させた場合、間隙水圧の増加に従い P 波 S 波とも遅くなり、 $V_p/V_s$  は若干増加する。この結果は O'Connell and Budiansky (1974) が報告しているクラックモデルと調和的であり、含水条件ではクラック密度の増加により  $V_p/V_s$  は高くなるのに対し、無水の条件では  $V_p/V_s$  は低くなる。

今回の実験により、間隙水圧を上昇させると蛇紋岩の弾性波速度は遅くなり、ポアソン比は高くなることが分かったが、その変化幅は非常に小さい。間隙水圧を 10MPa から 100MPa に変化させた場合、ポアソン比は 0.278 から 0.281 に上昇し、その変化幅は 0.003 である。沈み込み帯でみられる高ポアソン比領域は 0.31 であることから、蛇紋岩に比べ約 0.03 のポアソン比の上昇が必要であるが、今回測定したような空隙率の低い蛇紋岩ではいくら間隙水圧を増加させてもそのような高ポアソン比を発生することは難しい。このことは、沈み込み帯でみられる高ポアソン比領域では、岩石が破壊することにより空隙率が上昇し、そのような空隙を流体が充填しポアソン比が異常に高くなっていると予想される。

キーワード: 弾性波速度, 間隙水圧,  $V_p/V_s$ , 蛇紋岩

Keywords: Elastic-wave velocity, pore-fluid pressure,  $V_p/V_s$ , serpentinite

## ザクロ石-H<sub>2</sub>O フリイド間の二面角と上部マントル深部での地震波低速度層 Dihedral angle of garnet-H<sub>2</sub>O fluid in eclogite: Implication for low S-wave velocity regions at lowermost upper mantle

橋本 美華<sup>1\*</sup>, 松影 香子<sup>2</sup>Mika Hashimoto<sup>1\*</sup>, Kyoko N. Matsukage<sup>2</sup><sup>1</sup> 愛媛大学理学部地球科学科, <sup>2</sup> 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Ehime University, <sup>2</sup>Geodynamics Research Center, Ehime University

ウェッジマントルの深さ 300–400 km 付近の一部地域に S 波の低速度域が存在することから、H<sub>2</sub>O 流体が鉱物粒界に存在する可能性が示唆されている [1]。これら H<sub>2</sub>O 流体の地球内部でのふるまいを明らかにするため、マントル中における水の浸透性に焦点を当てた研究が行われている [3–5]。岩石中に存在する流体の浸透性は固-液間の界面エネルギーのつり合いによって決まる二面角（濡れ角）によって支配され、二面角が 60°以下になるとごく少量の流体でも岩石中で連結し、移動するようになる。

かんらん石-H<sub>2</sub>O 流体の系では、温度や圧力の増加にともなって二面角は小さくなり [3]、流体は岩石中にとどまることができない。一方でパイロープ-H<sub>2</sub>O 流体の系では、二面角は圧力増加とともに大きくなることが報告されている [4]。本研究では、より複雑な化学組成を持つ、エクロジャイト組成のザクロ石と H<sub>2</sub>O 流体の系で実験を行い、二面角の圧力依存性を調べた。そしてウェッジマントルでの H<sub>2</sub>O 流体のふるまいについて考察した。

JB-2 (玄武岩) に H<sub>2</sub>O が 3.5 wt% になるように Mg(OH)<sub>2</sub> を加えたものを出発物質とし、実験は、マルチアンビル型高圧発生装置 (ORANGE1000) を用いた。温度は 1000 °C で一定、圧力は 4–13 GPa、保持時間は 24 時間とした。二面角の測定には NIH の Scion Image を用い、FE-SEM で得られた画像をもとに見かけの二面角をランダムに 200 ヵ所測定し、中央値を真の二面角とした。鉱物化学組成分析は SEM-EDS を用いて行った。

低圧 (4–8 GPa) では、ザクロ石、輝石、コーサイト、ルチルが存在しており、高圧 (10–13 GPa) では、ザクロ石の組成がメジャーライト化し、輝石の量が減少していった。ルチルの代わりに FeTi 水酸化物が晶出した。また、8 GPa 以下では、試料カプセル内で高温側に H<sub>2</sub>O 流体が分離しており、急冷物質も存在していた。さらにザクロ石の粒界の一部にも急冷物質が観察でき H<sub>2</sub>O 流体相は連結ネットワークを形成していたと考えられる。この連結ネットワークは、輝石-輝石の粒界では見られず、輝石-H<sub>2</sub>O 流体の系では二面角は 60°以上である可能性が考えられる。一方、10 GPa 以上では、H<sub>2</sub>O 流体は分離しておらず、流体相の連結ネットワークは見られなかった。しかし、微小領域を拡大して見ると鉱物粒界に粒径 1 μm 以下の急冷物質がみられ、鉱物粒界に H<sub>2</sub>O 流体が存在していたといえる。また、急冷物質が多く観察されたことから、ここでいう H<sub>2</sub>O 流体にはケイ酸塩成分が多く溶け込んでいる可能性がある。

ザクロ石の二面角は、圧力が高くなるにつれ大きくなり、10 GPa 付近で 60°以上となり、さらに圧力が増加するにつれ 60°以下へと変化していった。

二面角の圧力変化と鉱物組織の変化から、約 10 GPa (= 深さ~300 km) ではザクロ石の富んだ岩石は流体を粒界にトラップしようと考えられる。また、輝石を含むことによって、さらに二面角は大きくなり、濡れにくくなる可能性があることから、ザクロ石や輝石に富んだ岩石が上部マントル最下部に存在し、その鉱物粒界に少量の流体がトラップされれば、S 波速度の減衰、減少を引き起こしうると推定する。

キーワード: 二面角, H<sub>2</sub>O 流体, 地震波低速度層, ザクロ石, マントルウェッジ, 連結性Keywords: Dihedral angle, H<sub>2</sub>O-fluid, seismic low velocity zone, garnet, wedge mantle, connectivity



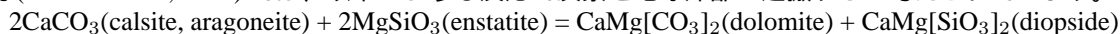
## 上部マントル条件下における $\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 = \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$ 反応境界の決定 Determination of the reaction boundary $\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 = \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$ in the upper mantle conditions

柿澤 翔<sup>1\*</sup>, 井上 徹<sup>2</sup>, 山田 明寛<sup>2</sup>, 末次 秀規<sup>3</sup>  
Sho Kakizawa<sup>1\*</sup>, Toru Inoue<sup>2</sup>, Akihiro Yamada<sup>2</sup>, Hideki Suenami<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 愛媛大学スーパーサイエンス特別コース地球惑星科学コース, <sup>2</sup> 愛媛大学ジオダイナミクス研究センター, <sup>3</sup> 愛媛大学理工学研究科

<sup>1</sup>Earth Planetary Science Course, Super Science Special Course, Ehime University, <sup>2</sup>Geodynamics Research Center, Ehime University, <sup>3</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

スラブは層構造を形成しており、上部から海洋性堆積物, MORB, かんらん岩から構成されていると考えられている。最上部の海洋性堆積物は、炭酸塩鉱物を含んでおり、スラブが沈み込むことにより地球深部へ  $\text{CO}_2$  を運搬していると考えられている。これは地球深部における炭素循環や  $\text{CO}_2$  に関連しているマグマ発生などを考える上で重要である。先行研究 (Kushiro et al., 1975) では、以下のような反応で炭素を地球深部へ運搬すると考えられています。



この反応より地球深部で安定な炭酸塩鉱物は magnesite のみだと考えられる。magnesite 単相では核-マントル境界まで安定だと報告されている (Isshiki et al., 2004)。一方、ケイ酸塩鉱物との反応を考慮した脱  $\text{CO}_2$  に関する研究はあまり多くなく、正確に制約されているとは言い難い。本研究では、MORB に含まれる  $\text{SiO}_2$  との反応  $\text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 = \text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2$  を考え、その反応境界を決定した。そして、地球内部の地温勾配を考えることで、この反応の振る舞いを考察した。

高温高压実験は、愛媛大学における急冷回収実験と PF-AR(KEK) での高压 X 線回折実験を行った。実験装置は、それぞれマルチアンビル型高压発生装置 ORENGE-2000, MAX-80 を用いた。出発物質は天然の magnesite と quartz を 1:1 のモル比で混合したものを使用した。実験条件は、それぞれ 5, 7, 9 GPa, 1200-1800 と ~4.2, ~4.8, ~8.3 GPa, <1700 である。回収試料は、エネルギー分散型 X 線分析装置付き走査型電子顕微鏡 (SEM-EDS) で像観察および化学組成の分析を行い、微小部 X 線回折装置 (XRD) で相の同定を行った。結果は発表にて報告する。

キーワード: マグネサイト, 脱二酸化炭素反応, 炭素循環, 地球深部

Keywords: magnesite, decarbonation, carbon cycle, deep Earth

## 東北日本・鳴子地域における Geofluid Map Development of "Geofluid Map" in the Naruko district, NE Japan

星出 隆志<sup>1\*</sup>, 中村 美千彦<sup>1</sup>

Takashi Hoshide<sup>1\*</sup>, Michihiko Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Tohoku University

深部流体が地震やマグマの発生に重要な役割を果たしていると考えられるようになって久しいが、実際に島弧の地下でどのくらいの量の流体がどこに分布しているかについてはまだよくわかっていないというのが現状である。我々は日本列島地下深部での流体分布を表現した「Geofluid Map」作成に取り組んでいる。今回東北日本・鳴子地域について試みた Geofluid Map 作成の方法について概説する。

地下の岩相推定: まず、東北日本の地質図やマントル捕獲岩の研究から推定されている岩相断面図 (Takahashi, 1978 など) をレビューし、東北日本・鳴子地域周辺の地殻~上部マントルに存在する可能性の高い岩相を選定した。ここで選定された岩石種についてコンパイルした高温・高圧下での弾性波速度実験データ (Kern et al., 2002; Wang et al., 2005 など) を、 $V_p$ -ポアソン比関係図にプロットした (地温勾配は田中ほか (1999) のデータを用いた)。東北日本の場合、 $V_p$ -ポアソン比関係図にプロットされる岩石種は主に  $V_p$  の違いにより 3 つの岩石タイプに分けることができる (C1: 花崗岩類、C2: 斑れい岩・角閃岩類、M1: かんらん岩・輝岩類)。東北日本・鳴子地域で得られている最新の地震波トモグラフィデータ (東北大・岡田知己氏らの観測データ) を  $V_p$ -ポアソン比関係図上にプロットし、上で分けられたどの岩石タイプに分類されるかを読み取ることにより、(流体を含まないとした場合の) 鳴子地域における地下の岩相分布を推定した。

岩相を考慮した地質流体分布の推定: 電気伝導度観測データを用いた地下深部での流体量推定は、これまでも上嶋 (2005) や Mishina (2006) により試みられている。天然の岩石の実効電気伝導度は岩石種、含水量、間隙水のつながり方、間隙水の塩濃度によって決まるが、本研究では新たに地震波トモグラフィデータから推定された地下の岩相分布を考慮して、鳴子地域で観測された電気伝導度データ (東工大・小川氏による観測データ) から地下深部での流体量の推定を試みたので紹介したい。

## レシーバ関数解析によって明らかにした九州地方の上部マントルにおける流体の分布

### Water distribution in the upper mantle beneath Kyushu, Japan, as derived from receiver function analyses

安部 祐希<sup>1\*</sup>, 大倉敬宏<sup>1</sup>, 平原和朗<sup>1</sup>, 澁谷拓郎<sup>2</sup>

Yuki Abe<sup>1\*</sup>, Takahiro Ohkura<sup>1</sup>, Kazuro Hirahara<sup>1</sup>, Takuo Shibutani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所

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

九州地方は、フィリピン海 (PHS) スラブが沈み込んでおり火山活動の活発な地域である。九州地方の火山活動の特徴として、火山フロント上に阿蘇から霧島まで 110km にわたって火山のない非火山地域が存在することや、多様な化学組成の火山岩が分布することが挙げられる。このような火山の分布や火山岩の化学組成の成因を説明しマグマの生成過程を理解するためには、PHS スラブによってどのように流体が輸送されているのかを明らかにすることが重要である。

私たちは、九州地方に防災科学技術研究所が設置した Hi-net の観測点と、気象庁、九州大学、鹿児島大学、京都大学が設置した J-array の観測点の波形データをもとにレシーバ関数 (RF) を作成した。そして、傾斜する不連続面による地震波の屈折を考慮して RF をスタック (Abe et al., 2011, GJI) し、上部マントルの速度不連続面の検出および形状推定を行った。その結果、大陸モホ面、海洋モホ面および PHS スラブ上面に相当する速度不連続面を検出し、その形状を推定することができた。

九州地方の中部・南部では、海洋モホ面に相当する不連続面が 70-90km の深さまで検出され、その深さまで海洋地殻がスラブマントルに対して低速度であることがわかった。北部では、その不連続面が 50km より深部では検出されなかった。このことから、PHS スラブの海洋地殻は、九州地方の中部・南部では 70-90km の深さまで含水鉱物を含んでおり、北部では 50km よりも浅部で含水鉱物が脱水していると解釈できる。

大陸モホ面における速度コントラストから、直下のマントルの速度を推定したところ、九州地方中部では前弧側のマントルウェッジが非常に低速度 ( $V_s=2.8-3.5\text{km/s}$ ) であることがわかった。S 波速度の値から、この低速度領域には蛇紋岩および間隙水が含まれていると考えられる。九州地方の南部と北部では、このような低速度領域は検出されなかった。九州地方北部では海洋地殻が浅部で脱水するため、多量の流体がマントルに持ち込まれないと考えられる。九州地方中部では海洋地殻から脱水した流体が前弧側へと移動し、蛇紋岩化領域や火山フロント上の非火山地域が形成され、九州地方南部では海洋地殻から脱水した流体が背弧側へと移動し、火山活動を引き起こしていると考えられる。九州地方中部の中でも南側の地域では低速度領域がマントルウェッジの先端付近に限られるが、北側の地域ではそれが火山フロント (阿蘇や九重) 付近まで広がっている。火山岩の化学分析の結果から、別府島原地溝沿いの火山には、スラブ起源流体の影響を受けた火山岩とそうでない火山岩が共存していることが示されている (Kita et al., 2001, JVGR; Miyoshi et al., 2008, JVGR)。マントルウェッジに広く分布する蛇紋岩とマントルの上昇流がそのような火山岩の化学組成の特徴を生み出している可能性がある。

キーワード: 九州, フィリピン海スラブ, レシーバ関数, 沈み込み帯, 流体輸送, 火山活動

Keywords: Kyushu, Philippine Sea slab, receiver function, subduction zone, water transportatio, volcanism

## 浅部ゆっくり地震に伴う地殻変動の検出可能性 Detectability of crustal change accompanied with shallower slow earthquakes

有吉 慶介<sup>1\*</sup>, 中田 令子<sup>1</sup>, 松澤 暢<sup>2</sup>, 堀 高峰<sup>1</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>, Ryoko Nakata<sup>1</sup>, Toru Matsuzawa<sup>2</sup>, Takane Hori<sup>1</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・防災研究プロジェクト, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター  
<sup>1</sup>JAMSTEC, Earthquake and Tsunami Research Project for Disaster Prevention, <sup>2</sup>RCPEV, Graduate School of Science, Tohoku University

陸上の稠密観測網の発展により、西南日本では10年ほど前から約30kmの等深線に沿って、ゆっくり地震が発生していることが捉えられるようになった [e.g., Obara, 2002, Science]. さらに最近では、海底観測によって海溝に近い浅部でも、ゆっくり地震が発生していることが確かめられている [Sugioka et al., 2012, Nature Geosci.]. この現象は、東北地方太平洋沖地震の震源域付近を含む領域でも観測されており [松澤・他, 2012, 日本地震学会], 海溝型巨大地震震源域における固着の強さの分布を推定する [有吉・他, 2012, 日本地震学会] 上でも、浅部ゆっくり地震を観測から確実に検出することは重要である.

そのような領域の一部である東南海沖において、2011年8月に地震・津波観測監視システム [Dense Ocean-floor Network system for Earthquake and Tsunamis: DONET] が稼働を開始し、現在に渡り順調に稼働している. このDONETの観測網は、陸域の尾鷲から熊野灘沖合の海溝付近まで及び、東南海地震震源域よりも浅部側を含む領域を網羅している. また、深部ゆっくり地震については、微動と同期した短期的スロースリップが傾斜計で観測されている [e.g., Hirose and Obara, 2006, GRL]. このため、浅部ゆっくり地震の活動に伴う地殻変動についても同様に、そのすべり域の近傍にある海底圧力計によって検出されることが期待される. また、日本海溝では、東北地方太平洋沖地震が発生する前から間欠的に発生する浅部ゆっくりすべりを水圧計から捉えられた例もある [Ito et al., 2013, Tectonophys., in press]. そこで、本研究では、その可能性について、数値シミュレーションからの検証を試みた.

浅部ゆっくり地震のモデル化として、有吉・他 [2012, 日本地震学会] では、深部と同一の摩擦不安定性かつ有効法線応力も1割程度しか変わらない摩擦特性を想定した. その結果、巨大地震震源域が固着している期間では、固着の影響を強く受ける浅部が深部よりも低調な活動で、移動現象が深部しかみられない特徴を説明することができた. 本研究では、このモデルを東南海地域で適用し、浅部ゆっくり地震に伴う上下変動を見積もった.

その結果、巨大地震発生直前になると、浅部ゆっくり地震のモーメント解放のレートが大きくなるため、上下変動の変化率が海底圧力計でも検知し得るほど増加する傾向がみられた. さらに、浅部ゆっくり地震の活動自体も活発化してくることを考えると、海底圧力計で検知できるイベントは、巨大地震発生に近づくにつれて頻度が高くなることが予想される. 一方で、巨大地震震源域が固着している期間では、たとえゆっくり地震が発生したとしても、その地殻変動の時間変化率は小さいため、検知できない可能性がある.

以上のことから、浅部ゆっくり地震について、海底地震計と併せて海底圧力計を用いて監視することは、海溝型巨大地震の発生過程を捉える上で重要なツールになると期待される.

キーワード: ゆっくり地震, 海底観測網, 圧力計, 海溝型巨大地震の数値シミュレーション, 沈み込み帯における流体の働き, 摩擦構成則

Keywords: slow earthquake, ocean-floor network observation, hydraulic pressure, megathrust earthquake cycle simulation, role of geofluid in subduction plate, friction law