

浅部ゆっくり地震活動と地殻流体に基づく地殻変動とプレート間固着の特徴とまとめ

An overview of seismic coupling and crustal deformation on the basis of geofluid and shallow slow earthquakes

有吉 慶介^{1*}; 松澤 暢²; 日野 亮太³; 長谷川 昭²; 堀 高峰¹; 中田 令子¹; 金田 義行¹
ARIYOSHI, Keisuke^{1*}; MATSUZAWA, Toru²; HINO, Ryota³; HASEGAWA, Akira²; HORI, Takane¹; NAKATA, Ryoko¹; KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト, ² 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, ³ 東北大学災害科学国際研究所

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), ² Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Tohoku University, ³ International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

本発表では、地殻流体の役割として、高間隙圧による浅部ゆっくり地震への寄与に関する研究のまとめを行う。

浅部超低周波地震は、これまで西南日本や十勝沖でしか捉えられてこなかったが、東北地方太平洋沖地震後の詳細な解析により、東北沖でも発生していることが確かめられた。そこで本研究では、数値シミュレーションに基づいて、浅部超低周波地震の活動とプレート間固着との関係を調べ、その結果を東北地方太平洋沖地震へ適用することを試みた。

南海トラフ沿いで発生する”ゆっくり地震”の一種である超低周波地震は、30kmの等深線上にほぼ分布しているだけでなく、海溝付近でも発生していることが、最近の海底観測から明らかとなった。

そこで本発表では、海溝まで地震性すべりが突き抜けるほど強く固着する場合と地震性すべりが海溝まで突き抜けにくい弱い固着の場合について、大規模な数値シミュレーションの計算結果を比較し、浅部超低周波地震の活動変化の特徴およびそれに伴う地殻変動についての抽出を試みると共に、地殻流体の役割について西南日本と東北沖とで比較しながら議論する予定である。

キーワード: 海溝型巨大地震, 沈み込み帯, 地震の静穏化, 高間隙圧, 海底観測, 速度状態依存摩擦構成則

Keywords: megathrust earthquake, subduction zone, seismic quiescence, high pore pressure, seafloor observation, rate- and state-dependent friction law

九州地方の三次元 P 波減衰構造 Three-dimensional seismic attenuation structure beneath Kyusyu

才田 悠人^{1*}; 中島 淳一¹
SAITA, Hiroto^{1*}; NAKAJIMA, Junichi¹

¹ 東北大学
¹Tohoku University

1. はじめに

九州地方では、フィリピン海プレートの沈み込みによる活発な島弧火山活動がみられる。さらに、阿蘇と霧島との間におよそ 110 km の火山空白域があるなど火山分布に興味深い特徴もある。島弧マグマの生成・上昇過程に関しては、多くの沈み込み帯において、地震波速度構造などに基づいたモデルが提唱されている（たとえば、Hasegawa and Nakajima, 2004）。一方、地震波減衰は、温度異常や流体分布に対して、地震波速度とは異なる影響をうけることが知られている。そのため、地震波減衰構造を詳細に推定することは、プレート沈み込みに起因するマントルウェッジの物理プロセスを理解するうえで重要である。本研究は、九州地方の詳細な 3 次元減衰構造を推定し、九州地方のマグマ生成・上昇のメカニズムの理解を深めることを目的とする。

2. データ・解析手法

本研究では、Nakajima et al. (2013) の手法を、2003 年 4 月から 2013 年 12 月までに九州地方とその周辺で発生した 5195 個の地震の速度変位スペクトルに適用した。まず、S コーダ波のスペクトル比法によって震源パラメータを求め、その震源パラメータを用いて観測された P 波速度振幅スペクトルを補正した。次いで、補正したスペクトルをデータとして、観測点毎に観測方程式を立て、インバージョンにより波線に沿った減衰 (t^*)、サイト増幅特性とスペクトルレベルとを同時に推定した。結果として 75207 本の t^* が得られた。最後に、得られた t^* をインバージョンすることで 3 次元 P 波減衰構造を推定した。

3. 結果と議論

得られた結果の特徴を以下に示す。

- 1) 深さ 10km では活火山直下が高減衰異常を示す。
- 2) 下部地殻では九州全域が比較的高減衰を示す。この結果は、火山直下のみで高減衰を示す東北地方の結果とはやや異なっている。
- 3) 沈み込むフィリピン海プレートは非常に減衰が小さい。
- 4) 背弧側のマントル上昇流に対応すると考えられる領域が高減衰を示す。しかし、阿蘇、霧島の間が存在する火山空白域にはマントル上昇流に対応する高減衰域は見られな。

今後は、解の分解能の評価を行うとともに、得られた 3 次元減衰構造と速度構造など他の結果と比較し、九州地方のマグマ上昇モデルを提案する予定である。

キーワード: 地震波減衰構造, フィリピン海プレート, 九州
Keywords: seismic attenuation structure, Philippine Sea Plate, Kyusyu

磁場変換関数データによる九州地方の3次元比抵抗構造 3D Electrical Resistivity Imaging beneath Kyushu by Geomagnetic transfer function data

畑 真紀^{1*}; 上嶋 誠¹; 半田 駿²; 下泉 政志³; 田中 良和⁴; 橋本 武志⁵; 鍵山 恒臣⁴; 歌田 久司¹; 宗包 浩志⁶; 市來 雅啓⁷; 藤田 清士⁸

HATA, Maki^{1*}; UYESHIMA, Makoto¹; HANDA, Shun²; SHIMOIZUMI, Masashi³; TANAKA, Yoshikazu⁴; HASHIMOTO, Takeshi⁵; KAGIYAMA, Tsuneomi⁴; UTADA, Hisashi¹; MUNEKANE, Hiroshi⁶; ICHIKI, Masahiro⁷; FUJI-TA, Kiyoshi⁸

¹ 東京大学地震研究所, ² 佐賀大学農学部, ³ 九州職業能力開発大学校, ⁴ 京都大学理学研究科, ⁵ 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター, ⁶ 国土地理院, ⁷ 東北大学大学院理学研究科, ⁸ 大阪大学院工学研究科

¹Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, ²Faculty of Agricultural Science, Saga University, ³Kyushu Polytechnic College, ⁴Graduate School of Science, Kyoto University, ⁵Institute of Seismology and Volcanology, Graduate School of Science, Hokkaido University, ⁶Geographical Survey Institute, ⁷Graduate School of Science, Tohoku University, ⁸GSE, Osaka University

The Kyushu island in the Southwest Japan Arc has many Quaternary active volcanoes in relation to the subduction of the Philippine Sea Plate (PSP). The volcanoes exist along the volcanic front of N30°E-S30°W, whereas the volcanoes are densely located in the northern and southern regions of the island. The Kyushu island has a non-volcanic region in the central region of the island between the two volcanic regions. We performed three-dimensional (3D) inversion analyses to obtain a lithospheric-scale electrical resistivity model beneath the entire Kyushu island using the Network-Magnetotelluric (MT) data. The electrical resistivity model, however, has a limited resolution in a horizontal direction because of the sparse Network-MT data in several areas of Kyushu. Thus data of geomagnetic variations are used anew to improve the uncertainty of the electrical resistivity structure in a horizontal direction. Data of geomagnetic variations were obtained at the entire Kyushu island and several islands off the western coast of Kyushu from 1980's to 1990's [e.g., Handa et al., 1992; Shimoizumi et al., 1997; Munekane et al., 1997]. In this study, accessible data of geomagnetic variations around Kyushu are compiled. Geomagnetic transfer functions for the data of geomagnetic variations in the northern Kyushu are re-estimated using the BIRRP code [Chave and Thomson, 2004] in order to enhance the quality of the transfer functions and their error estimation. The transfer functions at about 150 sites, which are 12 periods between 20 and 960 s, are obtained with improving quality at the entire Kyushu island. The induction vector representation [Parkinson, 1962] is generally used to delineate the lateral variation of electrical resistivity structure because the vectors point to current concentration in conductive anomalies. Induction vectors determined using the improved transfer functions have the following specific features. First, the vectors on the northern and central Kyushu do not point to the Pacific ocean off the eastern coast of Kyushu but point to the East China Sea of the shallow sea off the western coast of Kyushu. Second, the induction vectors on the southern Kyushu point to the Pacific ocean in the eastern part and point to the East China Sea in the western part at short period, whereas the vectors are arranged along a direction parallel to a direction of the coast line at longer period (>300 s). These results are consistent with the previous work [Handa et al., 1992; Shimoizumi et al., 1997; Munekane, 2000]. It is considered that the complex behavior of the induction vectors are influenced by conditions of the Earth's mantle relating to the igneous activities. Then we applied three-dimensional (3D) inversion analyses for geomagnetic transfer functions using the WSINV3DMT inversion code [Siripunvaraporn and Egbert, 2009]. The electrical resistivity of a starting model is based on values of the 3D electrical resistivity model estimated by using the Network-MT data. In this presentation, we will mainly describe features of the 3D electrical resistivity structure using the geomagnetic transfer functions and them of the 3D electrical resistivity structure using only the Network-MT data [Hata et al., 2013].

含水岩石の弾性波速度・電気伝導度に対する封圧・間隙流体圧の影響 Influence of confining and pore-fluid pressures on velocity and conductivity of a fluid-saturated rock

瀬間 文絵^{1*}; 牧村 美穂¹; 樋口 明良¹; 渡辺 了¹

SEMA, Fumie^{1*}; MAKIMURA, Miho¹; HIGUCHI, Akiyoshi¹; WATANABE, Tohru¹

¹ 富山大学地球科学科

¹Department of Earth Sciences, University of Toyama

Pore-fluid pressure in seismogenic zones can play a key role in the occurrence of an earthquake (e.g., Sibson, 2009). Its evaluation via geophysical observation can lead to a good understanding of seismic activities. It is critical to understand how pore-fluid pressure affects seismic velocity and electrical conductivity. We have studied the influence of pore-fluid pressure on elastic wave velocity and electrical conductivity of water-saturated rocks.

Measurements have been made using a 200 MPa hydrostatic pressure vessel, in which confining and pore-fluid pressures can be separately controlled. An aqueous pore-fluid is electrically insulated from the metal work by using a specially designed device (Watanabe and Higuchi, 2013). Elastic wave velocity was measured with the pulse transmission technique (PZT transducers, $f=2$ MHz), and electrical conductivity the four-electrode method (Ag-AgCl electrodes, $f=100$ mHz-100 kHz) to minimize the influence of polarization on electrodes.

Berea sandstone (OH, USA) was used for its high porosity (19.1%) and permeability ($\sim 10^{-13}$ m²). It is mainly composed of subangular quartz grains. Microstructural examinations show clay minerals (e.g., kaolinite) and carbonates (e.g., calcite) fill many gaps between quartz grains. A small amount of feldspar grains are also present. The grain size is 100-200 micrometers. Cylindrical samples have dimensions of 25 mm in diameter and 30 mm in length. Their axes are perpendicular to sedimentation bed. Elastic wave velocity is slightly higher in the direction perpendicular to the axis than in that parallel to the axis.

Confining and pore-fluid pressures work in opposite ways. Increasing confining pressure closes pores, while increasing pore-fluid pressure opens them. For a given pore-fluid pressure, both compressional and shear velocities increase with increasing confining pressure, while electrical conductivity decreases. When confining pressure is fixed, velocity decreases with increasing pore-fluid pressure while conductivity increases. The closure and opening of pores can explain observed changes of velocity and conductivity.

Effective confining pressure is defined by the difference between confining and pore-fluid pressures. Velocity increases with increasing effective confining pressure, while conductivity decreases. However, neither velocity nor conductivity is unique function of the effective confining pressure. For a given effective confining pressure, conductivity significantly increases with increasing confining pressure. Velocity also increases with increasing confining pressure, though it is not so significant. Increasing pore-fluid pressure can compress clay minerals to increase pore space. This might explain observed conductivity change.

キーワード: 間隙流体圧, 地震波速度, 電気伝導度, 地殻流体

Keywords: pore-fluid pressure, seismic velocity, electrical conductivity, geofluid

電気伝導度測定による岩塩中の粒界水の研究 A study on grain boundary brine in halite rocks using electrical conductivity measurements

渡辺 了^{1*}; 北野 元基¹
WATANABE, Tohru^{1*}; KITANO, Motoki¹

¹ 富山大学大学院理工学研究部

¹Graduate school of science and engineering, University of Toyama

Intercrystalline fluid can significantly affect rheological and transport properties of rocks. Its influences are strongly dependent on the style of distribution. When a fluid fills grain boundaries in a rock, it will significantly reduce the strength of the rock. The fluid distribution is mainly controlled by the dihedral angle between solid and fluid phases. The grain boundary wetting is expected only when the dihedral angle is 0°. The dihedral angle of the halite-water system was studied through microstructural analyses of quenched materials (Lewis and Holness, 1996). The dihedral angle is 50~70° at $P < 200$ MPa and $T < 300$ °C. However, deformation experiments (e.g., Watanabe and Peach, 2002) and cryo-SEM observations (e.g., Schenk et al., 2006) on halite rocks have indicated the coexistence of grain boundary brine with a positive dihedral angle. In order to understand the nature of grain boundary brine, we have conducted electrical impedance measurements on synthetic wet halite rocks over a wide range of pressure and temperature.

Wet halite rock samples (9 mm diameter and 6 mm long) are prepared by cold-pressing ($P=140$ MPa, 40 min.) of wet NaCl powder and annealing ($T=180$ °C, $P=180$ MPa, 160 hours). Grains are polygonal and equidimensional with a mean diameter of 50-100 μ m. The porosity is less than 1 %. The volume fraction of brine is estimated to be 11.1% by the thermo gravimetric analysis. Microstructural observation shows that most of brine is enclosed inside halite grains. Electrical impedance is measured in the axial direction of a sample by a lock-in-amplifier (SRS, SR830) with a current amplifier (SRS, SR570). The cylindrical surface of a sample is weakly dried and coated with RTV rubber to suppress the contribution of surface conduction. A conventional externally heated, cold-seal vessel (pressure medium: silicone oil) is used to control pressure and temperature.

Electrical conductivity of wet halite rocks is higher than that of NaCl by orders of magnitude even at the conditions of the dihedral angle larger than 60 degrees. The conduction through brine dominates the bulk conduction. This is also supported by the quick conductivity change in response to the change in pressure. Brine is interconnected over a whole range of pressure and temperature.

No remarkable change in conductivity is observed around the condition of the dihedral angle of 60 degrees. Although the interconnection of triple-junction tubes might drastically change at the dihedral angle of 60 degrees, its influence on the bulk conductivity is masked by more conductive paths. A triple-junction tube is so stiff that it cannot give observed conductivity changes in response to changes in pressure. The dominant conduction paths are not triple-junction tubes. Grain boundary brine must be the dominant conduction paths.

Electrical conductivity decreases with increasing pressure. Larger change is observed for lower temperatures. A simple model of fluid tube with elliptical cross-section shows that the thickness of a fluid tube decreases by less than 10%. The observed large change in conductivity suggests that the conductivity of brine is strongly dependent on the fluid thickness. When the thickness is comparable to the molecular size, the mobility of ions must be sensitive to the thickness. The observed large change in conductivity might be caused by the decrease in ionic mobility.

キーワード: 岩塩, 粒界, 水, 電気伝導度

Keywords: salt, grain boundary, water, electrical conductivity

室内実験による上総層群シルト岩の最大埋没深度の推定 Estimation of the maximum burial depth of siltstones from the Kazusa Group by laboratory experiments

田村 幸枝¹; 丸茂 春菜²; 三橋 俊介¹; 上原 真一^{1*}

TAMURA, Yukie¹; MARUMO, Haruna²; MITSUHASHI, Shunsuke¹; UEHARA, Shin-ichi^{1*}

¹ 東邦大学理学部, ² 東邦大学大学院理学研究科

¹ Faculty of Science, Toho University, ² Graduate School of Science, Toho University

堆積岩の最大埋没深度を推定することは、例えば堆積盆の隆起量や侵食量の推定等に関係して重要である。堆積岩の最大埋没深度を推定する手法の一つとして、土質実験で一般的に実施される室内圧密実験による手法が提案されている。しかしながら、岩石の場合、続成作用において化学的な粒子間の固着等により、この方法では単純に評価できない可能性がある。従って、実際の堆積盆を用いて、本手法の適用性を評価することは重要である。

本研究では、関東平野の基盤である上総層群のシルト岩について、室内実験により、間隙率の有効圧依存性を測定し、その結果に基づいて岩石の最大埋没深度を推定した。その結果と、各層の層序及び層厚から推定された各岩石試料採取地点間の層厚差と比較し、本地域において、最大埋没深度の求め方として本研究の手法が適しているのかを検証した。

実験に使用するシルト岩は、上総層群の梅ヶ瀬層 (UMG) 及び大田代層 (OTD)、黄和田層 (KWD)、大原層 (OHR)、勝浦層 (KTR) (以上、層準的に上位から下位の順番) 露頭より採取した。その岩石ブロックから直径約 40 mm、高さ約 30 mm の円柱形に加工したものを試料として実験に用いた。間隙率実験は容器内圧縮変形透水試験機を用い、有効圧を 0 MPa から 35 MPa (間隙水圧は 1 MPa) の条件で測定を行った。有効圧を加えた時の試料から出た間隙水の体積を測定し、これを試料の体積で割ることで、間隙率の変化量を求めた。この結果を用いて、まず有効圧と間隙率の関係をグラフにし、グラフの折れ曲がっている点の前後の箇所についてそれぞれ近似曲線を引き、その交点から最大経験有効圧 ($P_{e,B}$) を求めた。そして $P_{e,B}$ の値を、湿潤岩石密度から間隙水密度を引いた値に重力加速度をかけた値で割ることで、最大埋没深度 (D_{max}) を推定した。

UMG、OTD、KTR は、上位の層ほど間隙率が高い関係が見られた。一方、OHR と KWD は他の岩石に比べて間隙率が高く、層序順に並ばなかった。OHR 以外は、各採取地点間の層厚差と $P_{e,B}$ には正の相関が見られた。ただし、層厚差と D_{max} 推定値の関係の傾きが 1 とは異なった (約 0.27)。また、UMG と OTD の値は互いに層序的に逆転した。以上のように、本研究の手法による最大埋没深度の推定値は、層厚差と正の相関は見られたものの、いくつか矛盾した点が見られたことから、その適用性については今後更に検討する必要がある。また、OHR は層序が比較的下位に位置するのにも関わらず、 $P_{e,B}$ は他の岩石に比べ低い値となった。これは大原層中の間隙圧が静水圧分布に対し 5~12 MPa 程度高く、そのため有効圧が低かったことを反映している可能性がある。

キーワード: 間隙率, 最大埋没深度, 最大経験有効圧, 上総層群, 異常間隙水圧, 室内岩石実験

Keywords: porosity, maximum burial depth, maximum effective stress experienced, Kazusa Group, overpressure, laboratory rock experiment

アンチゴライトが安定な温度圧力条件下における蛇紋岩化速度に関する実験的研究 Experimental constraints on the serpentinization rate under the antigorite-stable P-T condition

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

¹ 東北大学理学研究科地球惑星物質科学科

¹ Earth and Planet Materials Sci., Tohoku Univ.

Water transport into the Earth's interior can be limited by the rate of serpentinization reaction proceeding at slow spreading ridges and along bending related faults (Iyer et al., 2012). Moreover, the distribution of H₂O in the mantle wedge may be controlled by the extent of progression of the reaction between the slab-derived fluid and the hanging wall mantle, as suggested by theoretical models (Iwamori, 1998). Previous hydration experiments for kinetic studies have been vigorously conducted at relatively low P-T condition (up to ca. 400 °C and 0.3 GPa) where the low T serpentine variety lizardite or chrysotile is stable. In contrast, antigorite is expected to be the dominant serpentine variety under the higher P-T condition corresponding to the deep oceanic lithosphere and the mantle wedge.

In order to constrain the serpentinization rates of peridotite under the antigorite-stable conditions, we conducted piston-cylinder experiments at 580 °C and 1.3 GPa. Four types of starting materials were prepared from the crushed powder of a San Carlos lherzolite xenolith: 1) olivine (Ol), 2) orthopyroxene (Opx) + clinopyroxene (Cpx), 3) Ol + Opx, and 4) Ol + Opx + Cpx + spinel. These systems were abbreviated as OL, OPX+CPX, OL+OPX, and LHZ, respectively. The starting materials were reacted with 15 wt% distilled water for 4-15 days. The formation of serpentine + talc + magnetite was observed in all the systems except for OL. Based on Raman spectroscopy results and crystal shapes, the synthesized serpentine mineral was identified as lizardite with 6.9 wt% Al₂O₃, rather than antigorite. The high Al₂O₃ content in the system possibly stabilized the aluminous lizardite at the experimental temperatures. Low silica activity precluded olivine reaction in the OL system, whereas olivine reacted with the SiO₂ component in orthopyroxene to form lizardite and talc in the other systems. The reaction progress followed an interface-controlled rate law. The growth rate, *G*, was estimated to be 2.31 ± 0.37, 1.23 ± 0.20, and 2.78 ± 0.64 μm/day in the OPX+CPX, OL+OPX, and LHZ systems, respectively. As an example, we applied the hydration rates of peridotites, which were obtained experimentally, to a reactive-transport model for the convecting mantle wedge hydration. In the case of grain-scale pervasive flow, the mass flux ratio of water fixable in the hanging wall peridotites to that supplied from the dehydrating oceanic lithosphere was calculated to be 2.7 × 10⁵ - 1.5 × 10⁸. This indicates that the water is completely fixable in the convecting mantle wedge and carried down to the stability limit of serpentine as soon as it is supplied from the slab. Aqueous fluid may penetrate all the way through the serpentine stable layer and reach the hot center of the mantle wedge only when the fluid migrates via crack-like pathways with a spacing >270-15000 m, which is not consistent with observations of natural serpentinites.

キーワード: 加水反応, 蛇紋石, 流体, 沈み込み帯, マントルウェッジ

Keywords: hydration, serpentine, fluid, subduction zone, mantle wedge

シリケートガラス中の水の拡散における速度論的同位体効果 Diffusive kinetic isotope fractionation of water in silicate glasses

黒田 みなみ^{1*}; 山本 大貴¹; 橘 省吾¹; 中村 美千彦²; 奥村 聡²; 朝木 美帆²; 石橋 充子¹; 坂本 直哉¹; 坂本 尚義¹
KURODA, Minami^{1*}; YAMAMOTO, Daiki¹; TACHIBANA, Shogo¹; NAKAMURA, Michihiko²; OKUMURA, Satoshi²;
ASAKI, Miho²; ISHIBASHI, Atsuko¹; SAKAMOTO, Naoya¹; YURIMOTO, Hisayoshi¹

¹ 北海道大学大学院理学研究院, ² 東北大学理学系大学院地学専攻

¹Department of Natural History Science, Hokkaido University, ²Department of Earth Science, Tohoku University

火道内を上昇するマグマ中で過飽和状態となった揮発性成分は、核形成を経て拡散によって、より大きな気泡へと成長する。これらの過程は揮発性成分の溶解度および拡散係数により支配されているため、メルト中の揮発性成分の挙動を理解することは、噴火メカニズムおよびダイナミクスを知る上で重要となる。

火道内での脱ガス過程は、気泡とメルト中に溶解した水との間で行われる同位体交換反応を通じ、水素同位体比に記録されていると考えられている。天然の岩石に含まれる水素同位体比は含水量と相関があり、含水量が低い程同位体比は小さくなり、その減少率は含水量の減少に伴い大きくなる。この傾向は閉鎖系脱ガスから開放系脱ガスへの推移を反映していると考えられるが、現在考えられている脱ガスモデルには、マグマ中の拡散の効果が考慮されていない。拡散による脱ガスは、マグマの上昇に伴う減圧脱ガスと同程度の影響を、脱ガスプロセス全体に与えている可能性があるため、より詳細な脱ガスモデルを組み立てる際には拡散の影響を考える必要がある。さらに、シリケートメルト中の水の拡散では、 H_2O が HDO に比べ拡散しやすいことが考えられるため、速度論的同位体効果が起きていることが予想される。この影響は天然試料の D/H にも記録されている可能性がある。しかし、シリケートメルト中の水の拡散における水素同位体変化は未だ明らかになっていない。本研究では、水素の拡散による同位体分別係数を決定するために、シリカガラスと合成ライオライトガラスに対し、重水素の濃集させた水試料 ($H/D = 10, 5, 1$) を用いた拡散実験を行った。

実験はシリカガラスおよび合成ライオライトガラスを用い、石英管封入による実験 ($850\text{ }^\circ\text{C}$, 50 bar) と、東北大学の水熱装置を用いた実験 ($650\text{ }^\circ\text{C}$, $50 \cdot 1000\text{ bar}$) の二種類を行った。ガラスサンプルは、イオンマイクロプローブ (北海道大学の Cameca ism-6f) で H , D の濃度プロファイルを測定し、拡散係数の決定を行った。実験によって得られた H_2O , HDO を含む水の拡散係数 (水の濃度で割った値) は、 $650\text{ }^\circ\text{C}$, $850\text{ }^\circ\text{C}$ 共に先行研究 (Davis and Tomozawa, 1995; Berger and Tomozawa, 2003) と矛盾しないことが確かめられている。また、本研究ではシリカガラスについて、拡散に伴う D/H 変化の測定を行った。その結果、 D/H が拡散に伴い一度減少し、その後プロファイルに沿って増加することが確認された。 D/H が下がる現象は拡散に伴う速度論的同位体効果が影響していることが考えられるが、その後の増加は拡散の同位体効果だけでは説明することができない。この現象は含水量変化に伴う IMF (Instrumental Mass fractionation) の変化によるものだと考えることができるため (Hauri et al., 2006), 今後、水素同位体変化を正確に補正するため、IMF の値を決定することが必要である。

キーワード: 噴火ダイナミクス, ケイ酸塩ガラス, 水, 拡散, 水素同位体, 同位体効果

Keywords: eruption dynamics, silicate glass, water, diffusion, hydrogen isotope, isotopic fractionation

超高精度地質圧力計の開発 Development of high-precision geobarometer

高畑 幸平^{1*}; 鳥本 淳司²; 山本 順司²
TAKAHATA, Kohei^{1*}; TORIMOTO, Junji²; YAMAMOTO, Junji²

¹ 北海道大学大学院理学院自然史科学専攻地球惑星システム科学講座, ² 北海道大学総合博物館
¹Earth and Planetary System Science, Hokkaido University, ²Hokkaido University Museum

マントル捕獲岩は、我々が手にする事が出来るマントル物質の一つである。マントル捕獲岩は由来深度が分からないため、この岩石を用いて地球深部の定量的な議論をするためには、地質圧力計を適用して由来深度を復元することが重要である。

マントル捕獲岩にはスピネル-レルゾライトと呼ばれる、かんらん石、斜方輝石、単斜輝石、スピネルからなる種類の岩石がある。このスピネルを含む捕獲岩の由来深度は定性的におよそ 25 — 90 km といわれており、最上部マントルから来た岩石である事が推定される。よって、この岩石の由来深度が精密に計りとる事が出来れば、マントル最上部で起きている事象を定量的に議論する事が出来る。

このマントル捕獲岩に従来から適用されてきた地質圧力計として、ざくろ石-斜方輝石圧力計とかんらん石-単斜輝石圧力計がある。しかし、前者はざくろ石の入っていない岩石には適用出来ず、後者は分析誤差や圧力計が持つ温度依存性の影響で圧力誤差が大きすぎる為、定量的な議論が出来ない。つまり、スピネル-レルゾライトを使って最上部マントルの議論をする為には、新たに高精度な地質圧力計を開発する必要がある。

そこで、本研究では CO₂ 流体包有物の残存圧力を圧力指標とした地質圧力計に必要な、ラマン分光法を用いた高精度な密度測定を実現する為のラマン分光分析装置の開発と、その精度の決定を行った。開発に際して、分光器の焦点距離を伸ばし、波数分解能を向上させた新たなラマン分光分析装置を導入した。

サンプルは、ラマンスペクトルの強度が出やすい石英中の CO₂ 流体包有物を使用した。また、このサンプルの包有物中に CO₂ 以外の不純物が含まれるか加熱ラマン分光法で確認した。

測定の結果、新しい装置による密度測定誤差は、 $\pm 0.0025 \text{ g/cm}^3$ (1 σ) となった。この密度誤差は、圧力誤差にする際の輝石温度計の誤差に比べて非常に小さい為、この地質圧力計の誤差は、すなわち、輝石温度計に起因する誤差のみとなる。よって、この圧力計の深さ誤差は、大陸地殻のモホ面深度付近 (30 km) で地質温度が $1000 \pm 30^\circ \text{C}$ と見積もられた場合で、 $\pm 900 \text{ m}$ となる。

この精度があれば、最上部マントルで起きている様々な事象を地球物理的な手法よりも高解像度に議論する事が出来る。

キーワード: 流体包有物, 二酸化炭素, ラマン分光法, マントル捕獲岩, 地質圧力計

Keywords: fluid inclusion, carbon dioxide, Raman spectroscopy, mantle xenolith, geobarometer

高精度ホウ素同位体比迅速分析法の地下水・火山岩への応用 Applications of rapid and precise $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ isotopic analysis to water and rock samples

谷水 雅治^{1*}; 永石 一弥²; 石川 剛志¹
TANIMIZU, Masaharu^{1*}; NAGAISHI, Kazuya²; ISHIKAWA, Tsuyoshi¹

¹ 海洋研究開発機構高知コア研究所, ² マリンワークジャパン

¹Kochi Institute, JAMSTEC, ²Marine Works Japan Ltd.

Boron isotope ratio is a powerful tracer in the fields of geochemistry, biochemistry, and environmental chemistry. Boron isotope ratios are determined by TIMS or MC-ICP-MS with precisions of better than 0.1 % RSD, but a large inter-lab discrepancy of 0.6 % is still observed for actual carbonate samples (Foster, 2008). Here, we are trying to determine B isotope ratio by MC-ICP-MS with a simple and common analytical techniques using a quartz sample introduction system with a PFA nebulizer, and compared to recently developed precise B isotope ratio analysis techniques by TIMS in positive ion detection mode determined as Cs_2BO_2^+ ions with sample amount of <100 ng (Ishikawa and Nagaishi, 2011) and by MC-ICP-MS (Foster, 2008, Louvat et al., 2011).

In this year, our developed B analytical method above for carbonate and water samples are applied to rock samples. Resultant analytical reproducibility (twice standard deviation) was ± 0.04 % with a consumption of 50 ng B for several geochemical reference rocks issued from GSJ. Their relative differences from the standard were consistent with those determined by the positive TIMS within analytical uncertainty. Current potential B isotopic analysis by MC-ICP-MS will be discussed.

スラブとともに沈み込む水の移動と全マントル対流への動的効果 Water migration with a subducting slab and the dynamic effects on whole mantle convection

金子 岳郎^{1*}; 中久喜 伴益¹; 岩森 光²
KANEKO, Takeo^{1*}; NAKAKUKI, Tomoeiki¹; IWAMORI, Hikaru²

¹ 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, ² 海洋研究 開発機構・地球内部物質循環研究分野
¹Dept. Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima Univ, ²Geochemical Evolution Research Program, JAMSTEC

Existence of liquid water is a characteristic of the earth. The water of interior of the Earths involved with the subducting plate reduces density and viscosity of the crustal and mantle rocks. These effects are essential to emerge the solid Earth activity such as, plate tectonics and island arc volcanism. Although the most of subducted water circulates through upper mantle, there is a possibility that portion of the water penetrates into lower mantle. Where does the water migrate? How much does the water affect mantle dynamics through the rock rheology and property? We performed numerical mantle convection simulation to investigate the water cycle and dynamic effects on the whole mantle convection.

In this study, we use the numerical model based on the model (Tagawa et al., 2007; Nakakuki et al., 2010) including the subducting oceanic plate driven dynamically. This model includes migration of water with the plate motion. We consider influences of reducing density and viscosity due to the water on the mantle flow (Karato and Jung, 2003). The maximum water content in the upper mantle is determined using phase relations of the basalt and the peridotite (Iwamori, 2004; 2007). We use various values of the maximum water content of rocks in the lower mantle, because it has been not clearly defined. We also treated the following physical properties as varying parameters: friction coefficient at the plate boundary, amount of the water injection at the trench, density-water dependence coefficient, and maximum water content in the lower mantle. Addition to we calculated dislocation creep by non-newtonian fluid or newtonian fluid.

A part of subducted water associate with the subducting oceanic plate is absorbed into peridotitic rocks and transported to about 150 km deep mantle. After that, dehydration with the serpentine decomposition occurs, and transported to deeper mantle by hot nominally anhydrous minerals (NAMs). The amount of dehydration at the 660 km phase boundary depends on the maximum water content of lower mantle, when the slab penetrates into lower mantle. The ejected water forms thin and high-water-content layer over the 660 km phase transition. As a result, the buoyancy of this layer induces instability, so that hydrated plumes are generated. We propose that this mechanism is important for the water cycle in the upper mantle. On the other hand, considerable portion of the water is transported into lower mantle with subducting slab, although notable water capacity of the lower mantle much smaller than that of the upper mantle, and reach core-mantle boundary. We have not yet observed notable water influence on mantle convection at lowermost mantle because of the small water concentration. Also, the hydrated materials do not rise to surface with hot plumes generated at the core-mantle boundary.

Keywords: mantle convection, plume, transition zone, water transport