

## 第四紀上総層群シルト岩のスケンプトン係数と続成作用の関係 Relationship between Skempton's coefficient and diagenesis of the Quaternary Kazusa Group siltstones

三橋 俊介<sup>1\*</sup>; 上原 真一<sup>1</sup>; 丸茂 春菜<sup>2</sup>; 田村 幸枝<sup>1</sup>

MITSUHASHI, Shunsuke<sup>1\*</sup>; UEHARA, Shin-ichi<sup>1</sup>; MARUMO, Haruna<sup>2</sup>; TAMURA, Yukie<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東邦大学理学部, <sup>2</sup> 東邦大学大学院理学研究科

<sup>1</sup> Faculty of Science, Toho University, <sup>2</sup> Graduate School of Science, Toho University

スケンプトン係数(以下 B 値)は岩石や堆積物の基本的な物理特性である。B 値は、非排水条件における、岩石に働く封圧の変化量に対する間隙水圧の変化量の割合を示す。例えば堆積盆中の異常高間隙水圧の発達メカニズムを検討する上では、続成作用の過程においての堆積物や堆積岩の B 値の変化について考慮する必要がある(Tanikawa et al., 2008)。しかしながら、この性質はまだよくわかっていないのが現状である。本研究では続成作用と B 値の関係を明らかにすることを目的として、第四紀上総層群の各層準のシルト岩の有効圧下での間隙率の測定結果から B 値を算出し、その結果を比較した。また B 値を直接測定する実験も行い、上述の手法で算出した値と比較することで、これらの測定手法について検討した。

室内実験では上総層群の梅ヶ瀬層、大田代層、黄和田層、大原層及び勝浦層から採取したシルト岩を直径 40mm、高さ 30mm の試料に整形したものを使用した。室内実験は東邦大学の容器内圧縮変形透水試験機を用いて、温度は室温、封圧は 2MPa~35MPa の範囲で行った。間隙流体には蒸留水を用いた。上総層群各岩石試料について有効圧下での間隙率を測定し、有効圧の変化による岩石の体積の変化量は間隙体積の変化量に等しいという仮定のもとで岩石の圧縮率を求め、その結果を用いて B 値を推定した。また、B 値直接測定実験では非排水条件で封圧を載荷したときの間隙水圧の増加量を測定し、その結果から B 値を求めた。

間隙率より推定した上総層群全体の B 値の結果から、層準が下位になるほど B 値は低いという傾向が得られた。ただし、大原層は比較的下位に位置するにも関わらず、高い B 値を示した。これは異常間隙圧の発達など何らかの要因により他の層に比べて堆積物の圧密が十分に進行しなかったことを反映していると考えられる。B 値の有効圧依存性に注目すると、B 値は有効圧の増加にともなって単調に下がるのではなく、ある有効圧の範囲では増加することがわかった。この増加は過圧密過程から正規圧密過程への変遷にともなって圧縮率が増加することを主に反映している。B 値は岩石の圧縮率と間隙率に依存するが、上総層群シルト岩の場合は圧縮率の性質をより強く反映することがわかった。すなわち続成作用が進むと圧縮率は減少するため、B 値は減少する傾向がある。また、上総層群の岩石では、B 値直接測定実験の結果は間隙率より求めた B 値より高い値を示す傾向が見られた。これは、B 値直接測定実験においては有効圧を載荷した時間が短く定常状態に達していなかったためであると考えられる。

キーワード: スケンプトン係数, 続成作用, 上総層群, 間隙率, 圧縮率, 室内岩石実験

Keywords: Skempton's coefficient, diagenesis, Kazusa Group, porosity, compressibility, laboratory rock experiment

## タルクの摩擦挙動における間隙圧変化の影響 Effects of pore pressure changes on frictional behaviors of talc

上原 真一<sup>1\*</sup>; 岡崎 啓史<sup>2</sup>; 清水 以知子<sup>3</sup>  
UEHARA, Shin-ichi<sup>1\*</sup>; OKAZAKI, Keishi<sup>2</sup>; SHIMIZU, Ichiko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東邦大学理学部, <sup>2</sup>Department of Geological Science, Brown University, <sup>3</sup> 東京大学理学部

<sup>1</sup>Faculty of Science, Toho University, <sup>2</sup>Department of Geological Science, Brown University, <sup>3</sup>Faculty of Science, The University of Tokyo

いくつかの沈み込み帯で発見されている低周波地震の発生メカニズムについて、これまで様々なモデルが提案されてきた。そのいくつかは、プレート境界における高間隙圧の存在の重要性について指摘している。それに加えて、プレート境界に分布する含水鉱物も重要な要素として注目されている。特に蛇紋岩については、岩石学的にも地震波の観測からも、沈み込み帯のプレート境界上盤のマントルウェッジ内に存在すると考えられている。しかしながら、タルクもプレート境界断層のレオロジーを考える上で重要な物質である可能性が高い。タルクは、沈み込むスラブ起源の流体と蛇紋岩の反応によって生成されることが知られている。また、タルクは天然の断層帯で存在が確認されている物質のうち最も強度の弱いもののひとつであり、少量でも断層のレオロジーに大きな影響を与える可能性が考えられる。しかしながら、タルクの摩擦特性が間隙圧にどのように影響を受けるかについて、定量的な検討はあまりなされていないのが現状である。本研究では、封圧 $P_c$ 、間隙圧 $P_p$ を制御して、タルクのプレカット試料による摩擦実験を実施した。実験には中国産のタルクについて、直径 20 mm の円柱形の試料を軸に対して 30° に切断したプレカット試料を用いた。プレカット面（摩擦滑り面）は#400 のカーボナダムで研磨した。試料には、間隙水が摩擦面に行きわたるように直径 3 mm の穴を設けた。この試料を封圧下で、一定の軸変位速度 ( $1 \mu\text{m/s}$ ) で軸載荷することでせん断試験を行った。実験はいくつかの封圧 $P_c$  (最大 110 MPa)・間隙圧 $P_p$  (最大 100 MPa) 条件で行った。せん断試験の途中で、 $P_c$  または  $P_p$  をステップ状に変化させてそのときのせん断応力の変化の様子を調べた。

有効法線応力  $\sigma$  ( $=\sigma_t - P_p$ , ここで  $\sigma_t$  は全法線応力) をステップ状に変化させたところ、摩擦係数は遷移的な変化を経て定常状態に達する様子が観察された。 $\sigma$  が減少する場合、摩擦係数は一時的に増加したのち減少して定常状態に戻るが、 $\sigma$  の 1 桁分の変化に対するその摩擦係数の遷移的な変化量は 0.2 から 0.28 の範囲の値をとった。これは先行研究による石英やウェスター花崗岩の場合の結果に近い結果である (Linker and Dieterich, *J. Geophys. Res.*, 1992; Hong and Marone, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2005)。一方  $\sigma$  が増加する場合は (このとき摩擦係数は一時的に減少)、この値は小さくなった (0.12 以下、場合によっては負の値を示すこともあった)。これは、この場合のせん断応力の遷移的な変化量が石英や花崗岩によるものに比べて小さいことを意味する。この現象は、摩擦面の起伏の変形がより延性的に変形することに関係しているのかもしれない。

ここで示された摩擦特性は、スロースリップのメカニズムに関係する可能性がある。例えば間隙圧の増加による有効法線応力の減少によって断層滑りが引き起こされた場合、滑り面上で部分的に非排水状態となり膨張硬化 (ダイラタンシーハードニング) が起きることによって有効法線応力が増加する可能性がある。このとき、断層面がタルクに覆われている場合、通常の物質で覆われている場合に比べて、有効法線応力の増加に対する摩擦係数の一時的な減少量が小さくなる (摩擦係数があまり減少しない) ことが予想される。したがって、滑りに対する摩擦抵抗がより有効に働き、通常の地震性滑りよりも滑り速度が小さくなることが期待される。

本研究は、科研費補助金 (新学術領域) の援助を受けて実施した。ここにその感謝の意を表する。

キーワード: タルク, 摩擦実験, 間隙圧, 低周波地震

Keywords: talc, friction experiment, pore pressure, low frequency earthquake

## 微粒正長石多結晶体の焼結実験 Sintering experiments on fine-grained polycrystalline orthoclase

大平 茜<sup>1\*</sup>; 石川 正弘<sup>1</sup>  
OHIRA, Akane<sup>1\*</sup>; ISHIKAWA, Masahiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学大学院環境情報研究院・学府

<sup>1</sup> Graduate school of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

カリ長石は花崗岩や変成岩の主要構成鉱物であり、その変形挙動を明らかにすることは大陸地殻のレオロジーを理解するうえで重要である。変形機構の1つである拡散クリープは鉱物種、結晶粒径、空隙等の因子が影響しており、室内実験においてはこれらの因子が制御された鉱物多結晶体が欠かせない。そこで正長石を原料に緻密な微粒正長石多結晶体を作製することを目的とした焼結実験を行った。

本研究では、正長石 ( $K_{0.83}Na_{0.17}Al_{1.04}Si_{2.96}O_8$ ) をサブミクロンスケールに粉砕した。蛍光 X 線 (XRF) 分析により、微粒粉末からは粉碎機からの混染であると考えられるジルコニウムが最大 5.65wt.% 検出された。この微粒粉末を乾式にて一軸加圧成形 (室温, 20MPa) を行い、円柱状の成形体を超高温管状炉で温度 970 °C, 圧力  $\sim 4.1 \times 10$  Pa の条件下で 4 時間焼成した。またマッフル炉を用い同温で常圧焼結した試料との比較を行った。焼結体は XRF 分析, X 線回折 (XRD) 分析を行い、組織観察には走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた。

真空焼結と常圧焼結の結果、それぞれ収縮率 52.2%, 44.5%, 空隙率 0.15, 0.17 の焼結体を得られた。SEM 観察から、いずれの焼結体も空隙が減少し緻密化している構造が確認された。XRD 分析の結果、結晶構造 (Al/Si 秩序無秩序) は成形体から変化せずに焼結していることが確認された。

本研究の結果、微粒粉末を用いることで真空下または常圧下の焼成で低空隙率の鉱物多結晶体を作製することが可能であることが分かり、無秩序型の長石であるサニディンが安定する温度で焼成しても、4 時間の焼成では正長石が Al/Si 秩序無秩序相転移を起こさずに焼結することが確認できた。

キーワード: サブミクロン, 正長石, 焼結  
Keywords: submicron, orthoclase, sintering

## アノーサイト多結晶体の高温クリープへの微量添加物の効果 Doping effect on high-temperature creep of polycrystalline anorthite

谷部 功将<sup>1\*</sup>; 小泉 早苗<sup>1</sup>; 平賀 岳彦<sup>1</sup>  
YABE, Kosuke<sup>1\*</sup>; KOIZUMI, Sanae<sup>1</sup>; HIRAGA, Takehiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

内陸地震の発生準備過程には下部地殻の粘性変形が大きく関与していると考えられている。これまでのアノーサイトの流動則に関する研究と岩石微構造観察から、下部地殻（温度 400~700 °C、及びマイロナイトで見られる粒径数十  $\mu$  m 程度）では拡散クリープで変形すると考えられている。したがって、拡散クリープ下でのアノーサイトの正確な固さを決めることは非常に重要なことである。

これまでの先行研究ではアノーサイトの粒径、温度、応力、含水率の効果が詳細に調べられてきた。しかし、先行研究の試料に含まれる微量 (<1 wt%) の不純物の効果は考慮されてこなかった。セラミックスでは微量の不純物によって多結晶体の固さが大きく変化することが知られている。実際、我々が開発した不純物のほとんど含まれていないアノーサイト多結晶体は先行研究のアノーサイトよりも粘性率にして 2 ケタ固いことがわかっている。そこで、本研究ではこの不純物のほとんど含まれていないアノーサイトに微量の MgO を添加し高温クリープに対する影響を調べた。

MgO 入りアノーサイト多結晶体は粒径 50 nm 以下の CaCO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub> の微粒粉を真空焼結法を用いて作製した。MgO の量が 1 wt% となるようにした。この多結晶体に対し、応力一定実験を行った。実験条件は応力 10~100 MPa、温度 1150 °C~1380 °C、封圧 0.1 MPa とした。変形実験前後で走査型電子顕微鏡観察によって粒径を求めた。

実験前後の平均粒径は 1~2  $\mu$  m であった。応力-歪速度を対数プロットしたところ、両者に線形関係が見られた。その傾きから応力指数  $n = 1$  が得られ、拡散クリープ下で変形したと推測された。MgO 入りアノーサイトは純粋なアノーサイトよりも粘性率にして 1 ケタ以上柔らかいことがわかった。また、活性化エネルギー  $Q = 702$  kJ/mol も純粋なアノーサイトよりも大きかった。固さの違いは粒界に偏析した Mg の影響と考えられる。

キーワード: アノーサイト多結晶体, 拡散クリープ, 微量添加物の効果  
Keywords: polycrystalline anorthite, diffusion creep, effect of doping

## 強磁場プロセスを用いた配向性フォルステライト多結晶体の創製 Synthesis of textural polycrystalline forsterite using colloidal processing in a strong magnetic field.

小泉 早苗<sup>1\*</sup>; 平賀 岳彦<sup>1</sup>; 鈴木 達<sup>2</sup>; 目 義雄<sup>2</sup>  
KOIZUMI, Sanae<sup>1\*</sup>; HIRAGA, Takehiko<sup>1</sup>; SUZUKI S., Tohru<sup>2</sup>; SAKKA, Yoshio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 物質・材料研究機構

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo, <sup>2</sup>National Institute for Material Science

It is well known that the crystallographic preferred orientation (CPO) of minerals is commonly produced in the Earth's interior. Thus, it is important to understand the physical properties of the mineral aggregates that exhibit CPO. However, silicate minerals are often feeble magnetic and have small anisotropic susceptibilities so that it is difficult to apply a magnetic field effectively to rotate the mineral particles. Tendency of finer particles to spontaneously agglomerate due to strong attractive interactions (van der Waals forces) add further difficulty. We used a technique of slip casting in a high magnetic field (12T) to align certain crystallographic axis of mineral particles. For the particles to rotate easily in the solvent under a strong magnetic field, we improve the method of deflocculating. To control the surface potential of the particles, we applied various types of polymer modification. Vacuum sintering of the powders that were composed of the aligned particles was expected to produce a polycrystalline material aggregate that exhibits CPO. The resultant materials were characterized by X-ray powder diffraction (XRD), secondary electron microscope (SEM) and Electron Backscatter Diffraction (EBSD).

The specimen exposed to a strong magnetic field exhibits preferential A-axis alignment to the magnetic direction. Those synthetic specimens allow us to examine the effect of CPO on the physical properties of the earth's materials in future room experiments.

キーワード: フォルステライト, 多結晶性, 磁場, 配向, CPO

Keywords: forsterite, polycrystalline, magnetic field, orientation, CPO

## 下部マントル条件におけるパイロライトの多相粒成長実験 Grain growth experiment on pyrolite material under lower mantle conditions

今村 公裕<sup>1\*</sup>; 久保 友明<sup>1</sup>; 加藤 工<sup>1</sup>  
IMAMURA, Masahiro<sup>1\*</sup>; KUBO, Tomoaki<sup>1</sup>; KATO, Takumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 九大・理  
<sup>1</sup> Kyushu Univ.

Grain size is a key parameter for understanding viscosity of Earth's mantle. Grain growth rate is one of important factors controlling the grain size. Especially, it is indispensable to examine grain growth kinetics in multiple phases because the grain growth rate of major phase drastically changes with the proportion of secondary phases (e.g., Hiraga et al., 2010). In the lower mantle, Mg-perovskite is major phase, and ferro-periclase, Ca-perovskite, and majoritic garnet are present as secondary phases (e.g., Irifune, 1994; Nishiyama and Yagi, 2003). The previous grain growth experiment (Yamazaki et al., 1996) in the two-phase system of MgSiO<sub>3</sub> perovskite and MgO periclase using Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> forsterite as a starting material suggests that the grain growth rate is too slow to explain the lower mantle viscosity constrained by geophysical observations. This inconsistency may arise from effects of the eutectoid transformation prior to the grain growth process (e.g., Solomatov et al., 2002). It is also necessary to examine effects of the chemical composition that affects the proportion of secondary phases and diffusivity. Here, we report preliminary results of the grain growth experiment on pyrolite material under lower mantle conditions.

High-pressure and temperature experiments were conducted using a Kawai-type multi-anvil apparatus (QDES) installed at Kyushu University. Starting material is a powder with pyrolite composition that was used in the previous phase equilibrium study (e.g., Irifune, 1994). We conducted annealing experiments at 25-28 GPa and 1600-1800 °C for 6-600 min. Chemical compositions, microstructures and grain sizes of recovered samples were examined using a FE-SEM with an energy-dispersive analytical system.

Four phases of Mg-perovskite, Ca-perovskite, ferro-periclase and majoritic garnet were present in recovered samples annealed at 25 GPa and 1600-1800 °C. The normalized grain size distribution in the recovered samples showed Gaussian-like shape and the largest grain size is smaller than three times of the mean grain size, suggesting that normal grain growth occurred. The grain growth rate is faster than that of the previous study (Yamazaki et al., 1996). Preliminary analysis of the kinetic data of Mg-perovskite obtained showed the smaller grain growth exponent of 4.3 than that reported in the previous study. On the other hand, three phases of Mg-perovskite, Ca-perovskite and ferro-periclase were present at higher pressure of 28 GPa and 1800 °C, in which the volume fraction of Mg-perovskite increased compared to the four-phases experiment. While the microstructure and the grain size distribution in the three-phase assemblage was similar to those of the four-phase assemblage, the grain size was larger probably due to the smaller proportion of the secondary phases. Our preliminary results provide some insights into the grain-size evolution in the lower mantle and suggest that further quantitative grain growth data with possible lower mantle conditions are needed.

Keywords: lower mantle, multi-anvil, pyrolite, grain growth

## マントル鉱物多結晶体中の貴金属元素の拡散 Grain boundary diffusion of noble metal elements in mantle composites

松尾 直弥<sup>1\*</sup>; 平賀 岳彦<sup>1</sup>  
MATSUO, Naoya<sup>1\*</sup>; HIRAGA, Takehiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Eartquake Research Institute, The University of Tokyo

コアとマントルが地質時間を通して化学的に分離しているかは、現在も大きな議論がある。特に、マントル鉱物（シリケート）の結晶に入りにくい元素は、コアからマントルへの寄与は無く、コアとマントルの元素存在度は両者が分離した際の元素量で決定されたと予想されている。しかし最近の研究で、鉱物同士の隙間、つまり鉱物の粒界には、結晶に入りにくい元素が濃集し、高速で動き回ること（高速拡散）が予想されるようになってきた（Hiraga et al., 2004）。強親鉄性元素（HSE）は難揮発性であるが、マントル中には微量しか存在しないため、その大部分はコア中に存在していると考えられる（Wood, 2006）。したがって、もし HSE がコアからマントルへ移動することがあれば、マントル中の HSE 濃度は大きく変化する。すなわち、HSE はコアとマントルの化学的相互作用を見るためのトレーサーの役割を果たす。

本研究では、1 気圧・1360 °C の条件下でマントル鉱物中の金粒子の粒成長実験を行った。まずフォルステライトの粉に 10vol% の金粒子を分散させ、1 時間焼結して試料とした。これを複製し、各試料ごとに時間を変えて焼きなました後、走査型電子顕微鏡で観察した。その結果、混ぜる前は球状の形をしていた金粒子が多角形に変化していることが確認された。これは、金粒子とフォルステライト結晶間の界面張力のつりあいによると考えられる。また、各試料中の金粒子の粒径が、焼きなました時間とともに増大していることが分かった。これは、試料内全体の界面エネルギーを最小化するため、小さな粒子から大きな粒子へ原子が移動することで起こる Ostwald ripening によると考えられるため、フォルステライト結晶間の粒界を金原子が拡散していたことが示唆される。時間  $t$  だけ焼きなました後の金原子の平均粒径を  $d$ 、初期の粒径を  $d_0$  とすると、 $d^4 - d_0^4 = kt$  という関係があるので、測定した平均粒径から成長係数  $k$  を求めた。さらに粒子の形状から金粒子とフォルステライト粒子の間の界面エネルギーなどを推定し、フォルステライト多結晶体中の粒界における金原子の濃度  $c$  と金原子の拡散係数  $D$  の積を求めた。

キーワード: 粒界拡散, 粒成長, コア-マントル相互作用

Keywords: grain boundary diffusion, grain growth, core-mantle interaction

## 部分融解がマンツルの粘性および電気伝導度に与える影響 The effect of partial melting on the mantle viscosity and electrical

末善 健太<sup>1\*</sup>; 平賀 岳彦<sup>1</sup>  
SUEYOSHI, Kenta<sup>1\*</sup>; HIRAGA, Takehiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, University of Tokyo

本研究では、中央海嶺下マンツル岩体の上昇時の圧力低下によって生じる部分融解に伴う粘性率と電気伝導度の変化を調べるために、マンツル模擬試料を作製し、大気圧下、高温における粘性率と電気伝導度を測定した。オリビン (50%) - 斜方輝石 (40%) - 単斜輝石 (10%) に 0.5vol% のスピネルを加えたレーゾライト試料を合成し、試料を一定荷重で変形させながら、ソリダスをまたぐ温度領域において緩やかに温度上昇させることで、各温度での粘性と、同時におこなうインピーダンス測定によって電気伝導度を算出した。特にメルト無しからメルト有りの系に転移する際、粘性と電気伝導度に連続的な変化がみられるかに注目した。温度領域は 1100~1390° C、メルト分率 ( $\phi$ ) は最大 0.09 まで上昇させ、メルト分率が大きくなるに従って、単斜輝石に富む組成になる。

測定の結果、粘性率は温度上昇に伴って連続的に低くなった。これにはメルト分率が増えることに伴う効果が重なっている。測定した粘性率を  $\log(1/\eta)$  vs  $1/T$  でプロットしたところ、直線的な関係がみられ、これまで知られている経験則の形で粘性率がよく表されていることが示された。

本実験の粘性率を解析すると、1220° C から 1340° C にかけての見かけの活性化エネルギーは 970 kJ/mol で、メルト分率の増加による見かけの活性化エネルギーは約 35 kJ/mol であった。これを差し引き、メルト無しの系の活性化エネルギーは 935 kJ/mol であることが分かった。この値は輝石の転位クリープの活性化エネルギーの値に近く、本実験では輝石が変形に大きく寄与していることが推定された。

一方電気伝導度は、ソリダスをまたいでもメルトによる電気伝導度の上昇が確認できなかった。そして粒径依存性がみられたことから、本実験試料は粒径が小さいために粒界による電気伝導の寄与が強く、単斜輝石質メルトの電気伝導度を上回ったことがわかった。同じ温度において、これまでの研究で明らかにされている玄武岩質メルトと輝石を含まない系での粒界の電気伝導度と比べても、本実験における粒界の電気伝導度は 3~4 倍大きかった。これは本実験に含まれる輝石の粒界の存在が大きな影響を及ぼしていると考えられる。

本研究により、これまで検証されてこなかったメルトなし ( $\phi=0$ ) から連続的に上記の流動則を適用できることを実証した。また、メルト増加率や連結性は岩石に含まれる輝石やスピネルの量に大きく依存し、鉱物モードがマンツル岩の融解時のレオロジーと電気伝導度に大きく影響することが分かった。

キーワード: レオロジー, レゾライト, メルト, 粘性, 電気伝導度

Keywords: rheology, rhelzolite, melt, viscosity, electrical conductivity



## Griggs 型固体圧式変形試験機の差応力測定値の較正 Stress calibration of Griggs-type deformation apparatus with solid salt assemblies

木戸 正紀<sup>1\*</sup>; 武藤 潤<sup>1</sup>; 長濱 裕幸<sup>1</sup>  
KIDO, Masanori<sup>1\*</sup>; MUTO, Jun<sup>1</sup>; NAGAHAMA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院理学研究科地学専攻

<sup>1</sup> Department of Earth Sciences, Tohoku University

岩石や鉱物の力学的性質は地球内部の温度と圧力を再現した変形実験を行うことによって定量的に調べることができ  
る。岩石変形試験機には、使用する圧媒体の違いから固体圧式変形試験機、油圧式変形試験機、ガス圧式変形試験機など  
がある（例えば、Tullis and Tullis, 1986）。油圧試験機は高温での油の変質を防ぐため、500 °C以下に実験が制限される。  
固体圧試験機は柔らかい固体の圧媒体を用いているため、長期間安全かつ安定的に高封圧を得られるが、圧媒体と試料  
や載荷ピストンの間に生じる摩擦のため応力の測定精度は低い（例えば、Tullis and Tullis, 1986）。ガス圧試験機はロー  
ドセルが圧力容器の中にあるため、力学データの精度が最も高いが、国内では高压ガスの規制法規のため封圧 200 MPa  
以下に制限されている。従って、地殻深部や最上部マントルを構成する岩石鉱物の塑性流動変形に必要な高温・高压条  
件を得るためには固体圧試験機が必要となる。

近年、固体圧試験機とガス圧試験機を用いて封圧、温度、歪速度条件を等しくした金属試料の軸圧縮実験を行い、差  
応力測定値を比較することで固体圧試験機の較正則が示された（Holyoke and Kronenberg, 2010）。この較正則によって、  
固体圧試験機を用いて定常領域の差応力を± 30 MPaの誤差で求めることができるようになった。しかし、ガス圧試験機  
と固体圧試験機の定常領域に当たる歪 5%の応力値のみを比較することでこの較正則を求めているため、弾性領域や降伏  
領域、降伏後の歪硬化や歪軟化といった挙動を再現することはできない。岩石や鉱物の詳細な粘弾性挙動を明らかにす  
るためには、あらゆる変形挙動に適用できる固体圧試験機の差応力測定値の較正則が必要である。

本研究では、東北大学所有の Griggs 型固体圧式変形試験機（固体塩アセンブリ）を用いてニッケルの軸圧縮実験を行  
い、差応力の測定を行った。試料として用いたニッケルは Holyoke, Kronenberg 両博士に提供して頂いた。実験は、封圧  
300 MPa 及び 1200 MPa、温度 600 °C、700 °C、800 °C、歪速度  $2 \times 10^{-4}$  /s、 $2 \times 10^{-5}$  /s、 $2 \times 10^{-6}$  /s の条件で行った。その  
結果、先行実験（Holyoke and Kronenberg, 2010）と封圧の等しい差応力測定結果は先行実験の結果と± 30 MPa 程度の誤  
差でよく一致していた。しかし、封圧を増加させると差応力測定値が大きくなる傾向があった。得られたニッケルの力  
学データを嶋本（1987）の粘弾性構成則に基づいて解析し、様々な温度・歪における挙動を規格化したマスターカーブ  
を作成した。Holyoke and Kronenberg (2010) のガス圧試験機によるニッケルの力学データについても同様に解析し、マ  
スターカーブを作成した。固体圧試験機とガス圧試験機で同じニッケルを試料として用いており、温度、歪条件を規格化し  
ているため固体圧試験機とガス圧試験機のマスターカーブの差は試験機の本質的な違いによるものと考えられる。固体  
圧試験機とガス圧試験機のマスターカーブの差から固体圧試験機の差応力測定値の較正則を導出した。較正則を固体圧  
試験機によって得られたニッケルの差応力測定値に適用したところ、ガス圧試験機の差応力測定値を定常領域だけで  
なく、弾性領域や降伏領域も± 30 MPa 程度の誤差で再現することができた。炭酸塩岩の力学データにも較正則を適用し  
たところ、誤差は± 70 MPa と大きかった。また、ガス圧試験機と異なり固体圧試験機は封圧を上昇するほど差応力測定値  
が大きくなる傾向がある。封圧が固体圧試験機の差応力測定値に与える効果を調べて、較正則に組み入れる必要がある。

キーワード: レオロジー, 変形実験, 固体圧試験機の較正

Keywords: rheology, deformation experiment, calibration of Griggs-type apparatus

## 23GPaまでのCa-Pv及びMg-Pvのその場応力歪測定に関する予備的実験 Preliminary experiments on in-situ stress-strain measurements of Ca-Pv and Mg-Pv up to 23 GPa

辻野 典秀<sup>1\*</sup>; 山崎 大輔<sup>1</sup>; 芳野 極<sup>1</sup>; 櫻井 萌<sup>2</sup>; 西原 遊<sup>3</sup>; 肥後 祐司<sup>4</sup>

TSUJINO, Noriyoshi<sup>1\*</sup>; YAMAZAKI, Daisuke<sup>1</sup>; YOSHINO, Takashi<sup>1</sup>; SAKURAI, Moe<sup>2</sup>; NISHIHARA, Yu<sup>3</sup>; HIGO, Yuji<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 岡山大学・地球物質科学研究センター, <sup>2</sup> 東京工業大学・地球惑星科学専攻, <sup>3</sup> 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, <sup>4</sup> (財) 高輝度光科学研究センター

<sup>1</sup>ISEI, Okayama Univ., <sup>2</sup>Tokyo tech., <sup>3</sup>GRC, Ehime Univ., <sup>4</sup>JASRI

In order to discuss mantle dynamics in the Earth's interior, knowledge of viscosity of the Earth's lower mantle, which is the highest of the whole mantle, is important. Viscosity models of the Earth's lower mantle were reported by geophysical observations. However, observation values of viscosity have large variety (2~3 order magnitude). Although determination of viscosity of lower mantle minerals by high pressure experiments is needed to understand mantle dynamics, stress-strain relationship for MgSiO<sub>3</sub>-perovskite (Mg-Pv) and CaSiO<sub>3</sub>-perovskite (Ca-Pv), which are principal minerals of the Earth's lower mantle, are not reported due to difficulty of high pressure deformation experiments. In this study, we tried in-situ stress-strain measurements of Ca-Pv and Mg-Pv up to 23.0 GPa.

In-situ uniaxial deformation experiments were conducted using a deformation DIA apparatus (SPEED-Mk.II) as Kawai-type apparatus at SPring-8 BL04B1. Experimental conditions of Ca-Pv and Mg-Pv are 13.8 GPa, 1473 K and 23.0 GPa, 1273 K, respectively. cBN anvils, which was transparent material against X-ray, was used along X-ray path. Two-dimensional X-ray diffraction patterns were taken for 120-180 s using CCD detector. To calculate the stress magnitude from the X-ray diffraction data, we used a model of stress-lattice strain relationship (Singh et al. 1998),

$$d_{hkl}(\psi) = d_{0hkl} [1 + (1 - 3\cos^2\psi) \sigma / 6 G_{hkl}] \quad (1)$$

where  $d_{hkl}$  is the d-spacing measured as a function of azimuth angle  $\psi$ ,  $d_{0hkl}$  is the d-spacing under the hydrostatic pressure,  $G_{hkl}$  is the appropriate shear modulus for a given hkl, and  $\sigma$  is the uniaxial stress. Pressure and stress were estimated using Ca-Pv (110) (200) and Au (111) diffraction in Pressure marker (Au : Fo = 1 : 2 volume ratio) at deformation experiments of Ca-Pv and Mg-Pv, respectively. An X-ray radiograph of the strain markers was taken using an imaging system composed of a YAG crystal and a CCD camera with an exposure time of 60 s.

Uniaxial stress of Ca-Pv at 13.8 GPa, 1473 K and  $\sim 1.2 \times 10^{-5}$  /s and Mg-Pv at 23.0 GPa, 1273 K and  $\sim 1.5 \times 10^{-5}$  /s were estimated as  $\sim 2$  GPa and  $\sim 0.25$  GPa, respectively. Stress of Mg-Pv was significantly smaller than that of Ca-Pv though temperature condition of Mg-Pv was lower than that of Ca-Pv. This fact is doubtful. This reason is thought that stress estimated by Au was much smaller than that of Mg-Pv because of framework made by Ringeoodite, which was polymorphic phase of Fo in pressure marker.

キーワード: その場観察実験, 変形実験, 応力, 歪, ペロブスカイト, 下部マントル

Keywords: In-situ measurements, deformation experiments, Stress, Strain, Perovskite, The Earth's lower mantle