

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01173

研究課題名(和文) 下部マントル深さ～1000 kmの粘性率異常の原因解明と化学組成の制約

研究課題名(英文) Investigation on viscosity anomaly at ~1000 km depth and constraints on the chemistry in the lower mantle

研究代表者

山崎 大輔 (Yamazaki, Daisuke)

岡山大学・惑星物質研究所・准教授

研究者番号：90346693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：下部マントルの深さ約1000 kmで粘性率が1桁程度増加することが地球物理学的に観測されている。また、同様に、沈み込んで行くスラブが1000 kmの深さで滞留していることが複数の沈み込む帯で観測されている。この原因に制約を与えるために、新たに改良した高圧変形装置を導入して、鉱物科学的アプローチにより、下部マントル主要構成鉱物の粘性特性を調査した。その結果、粘性変化に対する2次相であるフェロペリクレースの貢献は低く、ブリッジマナイト自体の粘性率が鍵となることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下部マントルの深さ1000kmに粘性率の著しい増加が観測されている。下部マントルを構成する鉱物の粘性特性を調査し、この観測と比較することで、下部マントルの鉱物組み合わせやさらには化学組成にこれまでと違った角度から制約を与えることが可能となる。研究の結果は、下部マントルはシリカに富んでいても観測とは矛盾しないという結果となった。下部マントルは地球の全体積の約6割を占めているので、今回の結果は、全地球の化学進化を考察する上でも重要な知見となる。

研究成果の概要(英文)：Geophysical observation revealed that the viscosity increases by an order of magnitude at a depth of ~1000 km in the earth's lower mantle. At a same depth of ~1000 km, the stagnation of the subducted slabs are observed in several subduction zones. To constrain the mechanism of the viscosity jump, the viscosity properties of the constituent minerals of the lower mantle were investigated by using an improved and newly installed high-pressure deformation apparatus for a mineral physics approach. As a result, it is likely that the contribution of ferropericrace, which is the secondary phase of lower mantle assembly, for the viscosity change is low, and the viscosity of bridgmanite itself is the key factor.

研究分野：高圧地球科学

キーワード：粘性率 化学組成 変形実験 下部マントル

### 1. 研究開始当初の背景

最近のジオイド(地球重力の等ポテンシャル面)の研究では、地球の下部マントルの粘性率が深さ 800-1000 km において 1-2 桁程度増加していることが示されている。また、地震波トモグラフィの研究において、いくつかの沈み込み帯(千島弧、トンガ弧、ケルマディック弧、ペルー弧、北中央アメリカ弧)で深さ 1000 km 近傍に水平方向に滞留しているスラブを報告している。このような観測結果に関して、マントル対流シミュレーションによる研究では、深さ 1000 km 付近での粘性率増加が沈み込んで行くスラブの滞留を引き起こしている可能性を指摘している。つまり、深さ 1000 km 付近での粘性率増加がスラブの行方を左右し、マントル対流の様式を決定する重要な要因であるのであるが、このような粘性率構造が何に由来しているのか、現在まで、まったく解明されておらず不明のままである。

マントルは珪酸塩を主成分とする岩石で構成されている。下部マントルの主要鉱物はブリッジマナイト(珪酸塩ペロフスカイト( $(Mg,Fe)SiO_3$ )とフェロペリクレス( $(Mg,Fe)O$ )であることはコンセンサスとして受け入れられているが、下部マントルの全岩組成が上部マントルと同様にパイロライト的( $Mg/Si \sim 2$ )なのか、あるいはより珪酸塩成分に富む地球の始原物質に近いコンドライト的( $Mg/Si \sim 1$ )なのかということは判明しておらず、ブリッジマナイトとフェロペリクレスの量比は明かではない。

下部マントルのような多相系の岩石においては、その粘性率は構成鉱物それぞれの粘性率のもとより、岩石としての微細構造(鉱物量比やそれぞれの相の分布、形状など)に大きく依存することが知られている。一方で、この量比は下部マントルの粘性率に重大な影響を与えることが予想される。特に下部マントルでは、ブリッジマナイトの粘性率がフェロペリクレスの粘性率よりも 2-3 桁高いことが拡散実験の結果から予想されることから、それぞれの相の量比や分布などが全岩の粘性率に与える影響は大きいと予想される。

### 2. 研究の目的

本研究では、深さ 1000 km 付近における粘性率増加の原因を物質科学的な側面から究明し、下部マントルの流動特性や化学構造に新たな制約を与えることを目的とした。

まず、粘性率増加の原因として、以下の 5 つの理由を想定した。(1)ブリッジマナイトが下部マントル全域に渡り骨格構造を形成し、全岩の粘性率をブリッジマナイトが主に制約する。この場合は、1000 km での粘性率の原因として、ブリッジマナイト自体の粘性率の変化が予想される。(2)低粘性であるフェロペリクレスが下部マントル全域で連結構造を形成し、全岩の粘性率を主に制限する。この場合は、フェロペリクレス自体の粘性率が深さ 1000 km 付近において変化することが予想される。(3)深さ 1000 km 付近において岩石の微細構造が変化する。すなわち、フェロペリクレスの連結構造が支配的な上位から、ブリッジマナイトが骨格構造をなすような下位層に変化する。これにともない、粘性率がフェロペリクレスからブリッジマナイトに支配されるようになり、粘性率の増加が起こることを予想される。(4)ここまでは深さ 1000 km での化学組成( $Mg/Si$  比)変化を想定していない。一方、ここでは、深さ 1000 km 付近において量比が変化することを想定する。すなわち、上位層では  $Mg/Si$  比がパイロライト的であり、下位層ではコンドライト的となる場合を想定する。このとき、上位層では(1)のようにブリッジマナイトの骨格構造が形成されている場合と、(2)のようにフェロペリクレスの連結構造が形成されている場合とが予想される。前者では、粘性率増加は期待できないが、後者では期待大となる。

本研究では、上記のような可能性の検証を、下部マントル条件を再現した高圧実験を手段として行ってきた。具体的には、研究の端緒として、ブリッジマナイトの流動特性を決定した。研究手法の項で述べるように、これまでブリッジマナイトの流動特性を決定するため下部マントル条件下での変形実験は困難であったため、研究例がほぼ皆無であった。詳細に実験を行い、変形機構図の構築を目指した。次に、ブリッジマナイト自体の粘性率が変化する可能性を探究するために、2 次的元素として Al が固溶することによる粘性率に対する影響を調査した。さらに、微細構造の影響を探求するための実験を行った。微細構造は、流動場において、岩石自体が粘性率を低下させるように自己組織変化を可能性が指摘されている。つまり、変形における歪み量の増加と粘性率(クリープ強度)の関係を実験的に観察した。

### 3. 研究の方法

下部マントルは圧力条件を再現するには 24 GPa 以上の発生が必要であり、この横圧下で変形実験を行うことは容易ではなかった。以前から、我々のグループでは、D-DIA 型変形高圧装置に川井型セルを組み込みブリッジマナイトの変形実験を遂行してきており、一定の成果を挙げてきているが、装置の制約上、歪み量が限られていた。本研究での、高い定量性が求められる変形機構図の構築や、粘性率の歪み量に対する変化を観察することには、D-DIA 型変形高圧装置の利用は適していない。イェール大学の唐戸教授のグループでは、回転式変形ドリッカマー装置を用いて先駆的実験を行ってきている。しかし、この装置では、大歪みの実験が可能である反面、試料内の温度圧力勾配が大きく定量性に限界がある。そこで、

本課題での研究費を用いて、2014 年に開発された[111]型マルチアンビル高圧装置を改造した変形装置(以下、D111 型装置と呼ぶ)を改良導入し、実験を行った。また、同型の装置は、高エネルギー加速器研究機構のフotonファクトリーに導入されている。放射光 X 線を利用することにより、高温高圧その場観察での変形中の結晶の格子歪みが測定可能となり、そこから変形応力の定量データの取得が可能となる。そこで、これらの両 D111 型装置を有機的に利用し、実験を行った。

#### 4. 研究成果

ブリッジマナイトの変形機構図の構築実験は、フotonファクトリーの D111 型装置を用いて一軸圧縮の試料部デザインで行った。予め 24 GPa の圧力で焼結した端成分  $MgSiO_3$  ブリッジマナイトの多結晶体を出発試料に用いた。応力と歪み速度の関係をj得るために、応力は単色入射 X 線からのブリッジマナイトの回折線の方位歪みから推定し、試料長は X 線ラジオグラフィ像から求めた。実験では、応力は 0.25-4.5 GPa で、歪み速度は  $1.6 \times 10^{-6}$ - $1.5 \times 10^{-4} s^{-1}$  である。一軸圧縮歪み量は最大で 30% に至った。流動則において、歪み速度は一般に  $\dot{\epsilon}_{dis} = A\sigma^n \exp(-H^*/RT)$  で表わせるが、実験データを当てはめることにより、応力指数  $n=2.7$ - $3.3$  を得た。これは、典型的な転位クリープでのそれである 3 と非常にいい一致を示している。歪み速度を  $10^{-5} s^{-1}$  と規定すると、活性化エンタルピー  $H^*$  は、350-456 kJ/mol となる。誤差が 35-76 kJ/mol であることを考慮すると、これらの値は、ブリッジマナイト中のシリコンの拡散の活性化エンタルピーと比較的いい一致を示している。従って、変形中の転移の動きが拡散に律速される上昇に制約されているクリープと考察される。先行研究において決定された拡散係数を用い拡散クリープでの流動と組み合わせることにより変形機構図の構築を行った(図 1)。下部マントルの粘性率の観測値である  $10^{22-22} Pa \cdot s$  を再現するためには、転移クリープの場合には応力は  $2 \times 10^4 - 3 \times 10^5 Pa$  で歪速度は  $2 \times 10^{-18}$  to  $3 \times 10^{-16} s^{-1}$  程度であり、拡散クリープの場合には粘性率は応力に依存しないが粒形に依存し、その粒形は 3-8 mm と見積られる。また、マントルの厚さやプレート運動から求められる歪速度の  $10^{-16} s^{-1}$  と、転移クリープでの必要とされる歪速度はいい一致を示している。

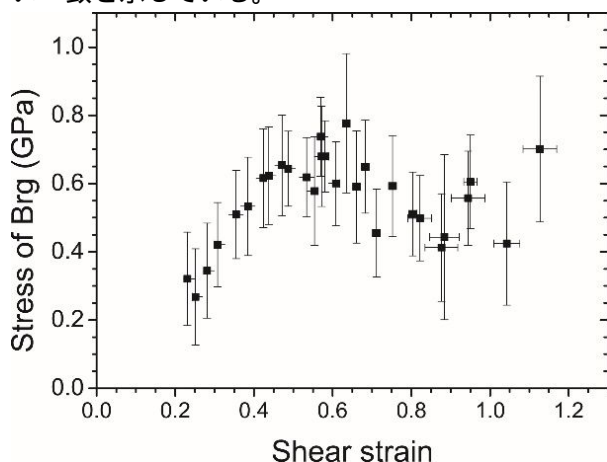


図 2. ブリッジマナイトとフェロペリクレーヌ混合相の歪速度の増加に対する粘性率(クリープ強度)変化。

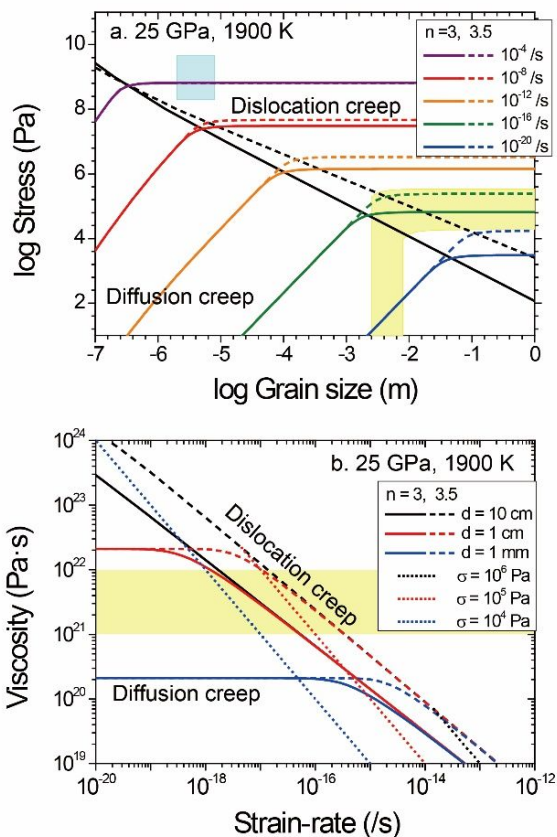


図 1. ブリッジマナイトの変形機構図。応力と粒形の関係(a)と粘性率と歪速度の関係(b)を表している。小さな四角のハッチングは実験条件を表しており、大きなハッチングは観測結果を表している。

先行研究において決定された拡散係数を用い拡散クリープでの流動と組み合わせることにより変形機構図の構築を行った(図 1)。下部マントルの粘性率の観測値である  $10^{22-22} Pa \cdot s$  を再現するためには、転移クリープの場合には応力は  $2 \times 10^4 - 3 \times 10^5 Pa$  で歪速度は  $2 \times 10^{-18}$  to  $3 \times 10^{-16} s^{-1}$  程度であり、拡散クリープの場合には粘性率は応力に依存しないが粒形に依存し、その粒形は 3-8 mm と見積られる。また、マントルの厚さやプレート運動から求められる歪速度の  $10^{-16} s^{-1}$  と、転移クリープでの必要とされる歪速度はいい一致を示している。

粘性率は歪量により変化するか、すなわち、「strain weakening」が起こるかどうかを確認する実験は、前述の実験と同様に、フotonファクトリーの D111 型装置を用いて、高圧変形 X 線その場観察の手法で行った。実験に用いた試料は、24-26 GPa で合成したフォルステライトあるいは、サンカルロス産オリピンを出発物質に用いたブリッジマナイトとフェロペリクレーヌ混合相(いわゆるポストスピネル)である。マントルでの主要な変形様式が剪断変形であることと、先行研究において、剪断変形での粘性変化が指摘されていることから、本研究でも剪断変形下での応力変化を調査した(図 2)。図 2 に示されているように、剪断歪み量が 1 を超えても軟化は観察されない。歪み量はもとより、他の外的要因として、歪み速度や温度圧力、あるいは内的要因としてブリッジマナイトとフェロペリ

クレーズの量比をパラメーターにして追試の必要性はあるが、現在までの結果からは、変形に伴う粘性率変化は期待できない。

また、ブリッジマナイトの粘性率が 2 次的元素の固溶により変化するのかどうかを確認する実験を、オフライン実験として、岡山大学惑星研に導入した D111 型装置を用いて行った。これまでと同様に、予め高压合成で出発試料を 2 種類用意した。一つは端成分である  $\text{MgSiO}_3$  組成の Al-free ブリッジマナイト多結晶であり、もう一つは、酸素欠陥が導入された  $\text{MgSiO}_3+2.5 \text{ mol \% Al}_2\text{O}_3$  組成の Al-bearing ブリッジマナイトである。これら試料を一軸圧縮デザインで直列に配置し同時に下部マントル条件で変形を行った。その結果、Al-free ブリッジマナイトは 0.53 の歪み量を呈し、Al-bearing は 0.18 の歪み量を呈した。これらの結果は、約 3 倍、Al-free ブリッジマナイトの方が柔らかいことを示している。

これまでの結果は、観測されている平均的な下部マントルの粘性率はブリッジマナイトの粘性率で説明が可能であり、深さ 1000 km の粘性ジャンプを変形に伴う軟化に起因させることは難しい。一方で、Fe や H などの複合的な固溶について追試が必要であるが、Al などの 2 次的元素の固溶によってブリッジマナイトの粘性率は変化する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 YAMAZAKI Daisuke	4. 巻 49
2. 論文標題 Pressure generation in the Kawai-type multianvil apparatus and rheology of the Earth's interior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Magazine of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 15 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/gkk.191226	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Xu F., Yamazaki D., Tsujino N., Guan L.	4. 巻 306
2. 論文標題 Lattice preferred orientation of stishovite deformed at high pressure and high temperature	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 106546 ~ 106546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2020.106546	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Xie Longjian, Yoneda Akira, Yamazaki Daisuke, Manthilake Geeth, Higo Yuji, Tange Yoshinori, Guignot Nicolas, King Andrew, Scheel Mario, Andrault Denis	4. 巻 11
2. 論文標題 Formation of bridgmanite-enriched layer at the top lower-mantle during magma ocean solidification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-14071-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsujino Noriyoshi, Marza Andreea, Yamazaki Daisuke	4. 巻 105
2. 論文標題 Pressure dependence of Si diffusion in $\alpha$ -Fe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 319 ~ 324
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2020-7197	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamazaki D., Ito E.	4. 巻 40
2. 論文標題 High pressure generation in the Kawai-type multianvil apparatus equipped with sintered diamond anvils	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 3~11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1689975	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsujino Noriyoshi, Yoshino Takashi, Yamazaki Daisuke, Sakurai Moe, Sun Wei, Xu Fang, Tange Yoshinori, Higo Yuji	4. 巻 104
2. 論文標題 Phase transition of wadsleyite-ringwoodite in the Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> -Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> system	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 588~594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-6823	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamazaki Daisuke, Ito Eiji, Yoshino Takashi, Tsujino Noriyoshi, Yoneda Akira, Gomi Hitoshi, Vazhakuttiyakam Jaseem, Sakurai Moe, Zhang Youyue, Higo Yuji, Tange Yoshinori	4. 巻 351
2. 論文標題 High-pressure generation in the Kawai-type multianvil apparatus equipped with tungsten-carbide anvils and sintered-diamond anvils, and X-ray observation on CaSnO <sub>3</sub> and (Mg,Fe)SiO <sub>3</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Comptes Rendus Geoscience	6. 最初と最後の頁 253~259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.crte.2018.07.004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamamoto, J., Yoshino, T., Yamazaki, D., Higo, Y., Tange, Y., Torimoto, J.	4. 巻 54
2. 論文標題 Thermal expansion of natural mantle spinel using in situ synchrotron X-ray powder diffraction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Mater. Sci.	6. 最初と最後の頁 139-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-018-2848-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhai, S., Yang, H., Xue, W., Huang, E., Yamazaki, D., Morrison, S. M., Downs, R. T.	4. 巻 46
2. 論文標題 Crystal chemistry of Eu-bearing tuite synthesized at high-pressure and high-temperature conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Miner.	6. 最初と最後の頁 157-163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00269-018-0994-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fei, H., Wiedenbeck, M., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Yoshino, T., Yamazaki, D., Katsura, T.	4. 巻 275
2. 論文標題 Negative activation volume of oxygen self-diffusion in forsterite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Earth Planet. Inter.	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2017.12.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fei, H., Wiedenbeck, M., Sakamoto, N., Yurimoto, H., Yoshino, T., Yamazaki, D., Katsura, T.	4. 巻 275
2. 論文標題 Negative activation volume of oxygen self-diffusion in forsterite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys. Earth Planet. Inter.	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2017.12.005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishii, T., Yamazaki, D., Tsujino, N., Xu, F., Liu, Z., Kawazoe, T., Yamamoto, T., Druzhbin, D., Wang, L., Yuji, H., Tange, Y., Yoshino, T., Katsura, T.	4. 巻 37
2. 論文標題 Pressure generation to 65 GPa in Kawai-type multi-anvil apparatus with tungsten carbide anvils	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 507-515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2017.1375491	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fei, H., Yamazaki, D., Sakurai, M., Miyajima, N., Ohfuji, H., Katsura, T. and Yamamoto, T.	4. 巻 3
2. 論文標題 A nearly water-saturated mantle transition zone inferred from mineral viscosity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 e1603024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.1603024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Xie, L., Yoneda, A., Yoshino, T., Yamazaki, D., Tsujino, N., Higo, Y., Tange, Y., Irifune, T., Shimei, T., Ito, E.	4. 巻 88
2. 論文標題 Synthesis of boron-doped diamond and its application as a heating material in a multi-anvil high-pressure apparatus	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Rev. Sci. Instrum.	6. 最初と最後の頁 93904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4993959	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 D. Yamazaki, N. Sakamoto, H. Yurimoto
2. 発表標題 Iron diffusion in e-iron
3. 学会等名 JpGU 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎大輔・坂本直哉・垺本尚義
2. 発表標題 e鉄中の鉄の自己拡散
3. 学会等名 第61回高圧討論会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 D. Yamazaki, N. Tsujino, T. Yoshino, Y. Nishihara
2. 発表標題 Shear deformation on post-spinel
3. 学会等名 JpGU 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎大輔
2. 発表標題 高圧実験に基づく下部マンツルのレオロジー
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年年会・総会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎大輔・辻野典秀・芳野極・西原遊
2. 発表標題 ポストスピネルの剪断変形実験
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yamazaki, D
2. 発表標題 Effect of silicon on viscosity of epsilon-iron
3. 学会等名 JpGU (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎大輔
2. 発表標題 ポストスピネルの剪断変形実験
3. 学会等名 第59回高压討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamazaki, D.
2. 発表標題 Pressure Generation in a Kawai-type Multianvil Apparatus Equipped with Sintered Diamond Anvils
3. 学会等名 AIRAPT26 Joint with ACHPR 8 & CHPC 19 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yamazaki, D.
2. 発表標題 Pressure generation of 120 GPa in a Kawai-type apparatus and stability of bridgmanite
3. 学会等名 地球惑星関連連合大会 (JpGU) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山崎大輔
2. 発表標題 六方晶鉄の変形実験：軽元素の影響
3. 学会等名 高压討論会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	辻野 典秀 (Tsujino Noriyoshi)  (20633093)	岡山大学・惑星物質研究所・助教  (15301)	
研究分担者	芳野 極 (Yoshino Takashi)  (30423338)	岡山大学・惑星物質研究所・教授  (15301)	
研究分担者	米田 明 (Yoneda Akira)  (10262841)	岡山大学・惑星物質研究所・客員研究員  (15301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------