

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01314

研究課題名(和文) 非含水主要マントル鉱物の水素位置の特定とそのレオロジー特性の解明

研究課題名(英文) Constraints of hydrogen positions in nominally anhydrous mantle minerals and implication for their rheological properties

研究代表者

辻野 典秀 (TSUJINO, Noriyoshi)

岡山大学・惑星物質研究所・助教

研究者番号：20633093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：地球マントルの主要鉱物には微量の水が固溶することが知られており、この水はマントル鉱物のレオロジー(流動特性)に大きな影響を与えられていると考えられている。一方で、その機構はわかっていなかった。本研究ではその機構に関する制約を与えるため、マントル鉱物中の水素位置の特定のためのその場IR測定を行った。さらに、レオロジーの水の影響を知るための基礎となる乾燥条件下でのマントル鉱物のレオロジー測定を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球は地表に大量の水を湛えているだけでなく、実際には地球内部にも大量に存在し、循環していると考えられている。この水はマントル物質とともにただ循環するだけでなく、地球内部の対流様式にも大きな影響を与えていると考えられている。本研究は、その水の影響を鉱物学的観点から制約を与えるものであり、地球内部進化にとどまらず、今後、地球表層の火山や地震活動を予測するための基礎データとなる。

研究成果の概要(英文)：Water can incorporate into nominally anhydrous mantle minerals and is considered to affect rheological properties of mantle minerals. However, mechanism, by which water affects rheology, was unknown. In this study, in-situ IR measurements were performed to identify hydrogen positions in mantle minerals in order to understand the mechanisms of effect of water. In addition, rheological measurements of mantle minerals were performed under dry conditions, which is the basis for understanding the effects of water on rheology.

研究分野：高圧実験岩石学

キーワード：マントル鉱物 水素位置 単結晶 FTIR レオロジー

1. 研究開始当初の背景

地球は水の惑星と呼ばれ、地表に大量の水を湛えている。さらに、主要マントル鉱物が相当量の水を保持できることが報告(e.g. [1])されたことがきっかけとなり、主要マントル鉱物の水の飽和固溶量に関する研究が数多くなされた。地球のマントルの保持できる水の量は無水鉱物で構成されていると思えないほど多量であることが明らかにされた。これに呼応して、主要マントル鉱物のレオロジーへの水の影響が活発に調べられるようになった(e.g. [2])。特に、上部マントルの最主要鉱物であるカンラン石についての研究は多く、極微量の水(~0.01 wt.%)がレオロジーに非常に大きな影響を与えることが30年以上前から報告されている。一方で、水の影響は非常に小さいという報告もなされるなど、現在までに、カンラン石のレオロジーへの水の影響の有無、程度についての統一の見解に至っていない。さらにその機構の議論は、ほとんど手付かずの状態にある。一方、申請者のグループを中心に、下部マントル条件までの変形実験を可能とする技術革新が行われた[3]。これにより、今後、カンラン石だけでなく、遷移層・下部マントルの主要鉱物であるウォズレアイトやリングウッドイト・ブリッジマナイトについてのレオロジーへの水の影響の実験的研究が可能となった。しかし、カンラン石の例を鑑みるに、現状の延長線上で研究を続ける限り、遷移層・下部マントルの主要マントル鉱物についても同様な混乱が生まれることが予想される。

2. 研究の目的

これまでのカンラン石の研究では全含水量のみがパラメータとして取り扱われてきた。一般的にはマントルの主要鉱物では Si が最も拡散速度が遅く、Si の原子拡散速度によって粘性率は律速されると考えられている。30年以上前から、カンラン石への水の取り込まれ方は Si サイトと Mg サイトの二つがあると考えられてきた。主要な水素位置が、Si サイトであれば、鉱物の粘性率は含水量とともに劇的に小さくなることが期待される。一方で、Mg サイトが主要な水素位置である場合は、水が与える影響は主に Mg の原子拡散速度に限られ、鉱物の粘性率に与える影響は限定的であると考えられる。そのため、全含水量ではなく、各水素位置の含水量を指標にレオロジーへの影響を考えることが第一義的に重要であると考えられる。

フーリエ変換赤外分光装置(FT-IR)は、1. 偏光した赤外光を用いることで、直接的に OH 結合方向を決定可能、2. 水素位置(水素結合の大きさ)により、OH 伸縮振動数が異なるため、マントル鉱物の IR スペクトルから個々の水素位置に由来する OH バンドを分離することができ、個々の水素位置についてその含水量が測定可能という特徴を持つ。これらの特徴を生かし、IR スペクトル観察で得られる個々の OH バンドに注目し、その場 IR 測定を行うことにより、各 OH バンドの水素位置への制約を与えることを目的とする。

また、これまでマントル鉱物へのレオロジー測定の結果は報告されてきているが、実験的困難さから、遷移層や下部マントルの鉱物を中心に未だ十分ではなく、含水量の効果はもちろんのこと乾燥条件下での地球深部マントル鉱物のレオロジーは明らかにされていないものが多い。そこで、レオロジーへの水の効果を明らかにするためにも、本研究では乾燥条件下でのマントル鉱物のレオロジーを明らかにすることも目的とする。

3. 研究の方法

(1) その場 IR 測定による水素位置の制約

水素位置への制約には、FT-IR を用いた。FT-IR は鉱物中の水の定量に関し高感度を持つだけでなく、鉱物中の水素位置により異なる波数の OH バンドを検出することが可能であり、観察される OH バンド数及びその波数から水素位置への制約が可能となる。さらに、偏光した赤外光を用いて単結晶の FT-IR 測定を行うことで、観察される OH バンドの強度比から各 OH バンドの向きを明らかにすることが可能となる。

FT-IR による水素位置への制約をより強固なものとするべく、本研究では光学的に透明なダイヤモンドアンビルセル(DAC)と FT-IR 測定と組み合わせることで OH バンドの圧力依存性を決定する。これらの方法は、蛇紋石のような多量の水を含む含水鉱物の OH バンドの圧力依存性を決定されてきた。本研究では、FTIR 装置の光路を全真空にすることにより光路からの水蒸気のノイズを低減し、マントル鉱物のような含水量の極めて少ない鉱物への高圧下での IR スペクトルの取得を可能とする。圧力依存性に加え、加熱・冷却ステージを FTIR 装置に導入することで極低温(~180 K)下での IR スペクトルの取得を行った。水素は非常に軽い原子であるため、室温においても分子振動が大きい。そこで、極低温化にすることで、OH バンド幅が小さくなり、水素位置の種類を明らかにするためのバンド数の計測がより容易になると考えられる。

これら、マントル鉱物の結晶方位が明らかとなった単結晶の高圧や低温下でのその場 IR 測定を行うためにも、大型の水を含むマントル鉱物の単結晶合成が必要となる。そこで、本研究では、川井式マルチアンビル装置を用いて、下部マントルの最主要鉱物であるブリッジマナイトまでの水を含む大型(>1mm)単結晶合成方法の確立を行った。その結果、セルの最適化によりブリッジマナイトが安定な圧力(>22 GPa)を発生させつつ、外径 3 mm・高さ 3.5 mm を持つ金属容器を

設置することを可能にした。また、単結晶合成を行う際の溶媒として水を用いることで、より多くの水を含む単結晶合成を行った。

(2) 変形実験によるマントル鉱物のレオロジーの測定

レオロジーへの含水量の影響を明らかにするためにも、水素位置だけでなく、レオロジーの基礎データが必要不可欠である。そこで、乾燥条件におけるマントル鉱物のレオロジーを明らかにするための測定を行った。変形試験機として 5 GPa 以下の圧力条件では D-DIA 型変形試験機を、18 GPa 以上の圧力条件では D-111 型高压変形装置を用いて行った。出発物質には予め焼結させた焼結体を使用し、高温高压条件下でそれぞれの装置に導入された差動ラム(D-ram)を前進させることで高温高压下での変形実験を行った。カンラン石・直方輝石の相対粘性率・及びブリッジマナイトの粘性率は、高輝度放射光施設から得られる単色 X 線を用いて高温高压下の一軸圧縮条件下におけるその場応力 歪測定によって決定した。また、アキモトアイトの結晶格子選択配向は、斜め 45 度ピストンを使用することで、高温高压下でアキモトアイトに大歪せん断変形を加え、その回収試料の結晶方位を決定することにより明らかにした。

4. 研究成果

(1) その場 IR 測定による水素位置への制約

大型のマントル鉱物の単結晶合成

本研究では、その場 IR 測定による水素位置への制約を与えることを目的としている。本研究で使用する FTIR 装置のサイズは $\sim 25\mu\text{m}$ 以上であるが、本研究では特定の方位に削り出して測定を行う。そのため、その場高压 IR 測定などを可能とするため、なるべく大きな水を含むマントル鉱物の単結晶合成が必要である。そこで、下部マントル圧力条件までのマントル鉱物の単結晶合成を行った。図 1 は本研究によって合成された鉄を含むブリッジマナイトであり、写真からも明らかなように

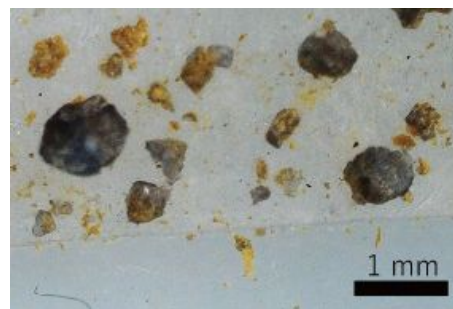


図 1. 合成された鉄を含むブリッジマナイト単結晶

1 mm 級の単結晶の合成が可能となった。本研究により合成されたマントル鉱物はカンラン石・ウォズレアイト・リングウッドイト・ Al_2O_3 を含むスティショバイト・鉄または Al_2O_3 を含むブリッジマナイトである。カンラン石・ウォズレアイト・リングウッドイト・ Al_2O_3 を含むスティショバイトでは、IR 測定によって、これまで報告されている含水量に近い値が確認された。一方で、鉄を含むブリッジマナイトでは含水量は約 20 wt.ppm であった。また、 Al_2O_3 を含むブリッジマナイトには IR 測定では OH バンドは検出されなかった。ただし、 Al_2O_3 を含むブリッジマナイト中に一部 Phase B が包有物として観察され、IR スペクトルからも包有物が Phase B であることが確認された。このことは、本研究での合成条件(24 GPa, $< 1600^\circ\text{C}$)では Al_2O_3 を含むブリッジマナイトに水が入らないことを示唆している。

IR スペクトルの温度依存性

IR スペクトルでは、水素原子は非常に軽いため、室温化においても OH バンドの半値幅は大きくなり、複数の OH バンドのピークがかぶっている際には分離が難しくなる。そのため、極低温下で IR スペクトルを測定することにより容易に OH バンドの分離が可能になることが期待される。そこで、複数のブロードな OH バンドが重なっていると思われるリングウッドイトの-180 °C までの極低温下での IR 測定を行った。これまで、ガーネットなどで報告されている極低温での条件での OH バンドの分離は、本研究では-180 °C においても観察されなかった。そのため、極低温にすることによってリングウッドイトの OH バンドの数に新たな制約を加えることはできなかった。

IR スペクトルの結晶方位依存性

偏光子を用いた IR 測定では、結晶方位に依存した OH バンドを測定することが可能となる。そこで、あらかじめ結晶方位の明らかになった単結晶の結晶方位ごとの IR スペクトルを測定することによって、OH 結合方向が明らかになる。Fe を含むブリッジマナイトの単結晶について方位毎の IR 測定を行ったところ、図 2 の示すように b 軸方向に平行な条件で最も OH バンドの吸収が強いことが明らかとなった。このことから、Fe を含むブリッジマナイトについては、ごく微量の水に限り OH 結合が b 軸方向を向いていることが明らかとなった。

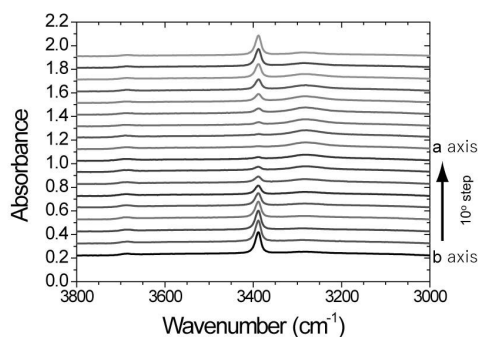


図 2. 鉄を含むブリッジマナイト単結晶の結晶方位毎の IR 測定

IR スペクトルの圧力依存性

本研究では、ウォズレアイト・鉄を含むブリッジマナイト・スティショバイト・phase B に関する OH バンドの圧力依存性を DAC を用いたその場 IR 測定により決定した。図 3 に示したように、加圧や減圧とともに IR スペクトルで観察されている複数の OH バンドについて異なる振

る舞いをしていることが明らかとなった。ウォズレアイトについては 3300cm^{-1} あたりに観察される OH バンドは Mg サイトに起因し、 3600cm^{-1} 付近に観察される OH バンドは Si サイトに起因していると考えられている。また、Si サイトは Mg サイトに比べ圧力によるサイズの変化は小さいと考えられる。これらのことから、Si サイト起因の OH バンドは圧力とともにその OH 距離の変化が少なく端数があまり変化せず、Mg サイトに起因する OH バンドは圧力とともに OH 距離が変化することで端数が大きく変化したと考えれば本研究結果は整合的である。

鉄を含むブリッジマナイトについて、ウォズレアイトの結果と比較するとその圧力依存性はウォズレアイト中の Mg サイトに起因する OH バンドと一致する。このことは、ブリッジマナイト中の水素は Si サイト内(表面)ではなく、Mg サイト方向に配向していると推察される。

さらに、Phase B・スティショバイトについても測定を行ったところ、Phase B では観測される 3 つの OH バンドについて非常に小さい圧力依存性または、正の圧力依存性が観察された。スティショバイトについては、10 GPa あたりで急激な OH バンドの波数の変化が観察された(図 4 参照)。このことは、結晶内において OH 結合方向が急激に変化したことを示している。

(2) 変形実験によるマントル鉱物のレオロジーの測定

カンラン石と輝石の相対粘性率測定

これまで直方輝石はカンラン石に比べ高粘性率を持つと考えられてきた一方で、近年では直方輝石のほうが柔らかい可能性を示す報告がなされた。そこで、カンラン石と直方輝石を直列にした条件で変形実験を行うことで相対粘性率を明らかにした。特に、最も基礎となる条件として、乾燥条件での実験を行った。その結果、カンラン石は直方輝石に比べ低粘性率を持つことが明らかとなった。さらに、直方輝石中の Al_2O_3 濃度が大きくなるにつれ、その相対粘性率差は大きくなること明らかとなった。

転移クリープ領域下でのアキモタイトの結晶格子選択配向

マントル遷移層下部の主要鉱物は地震学的に等方的であるため、アキモタイトは遷移層において地震波異方性を生成する有力な候補である。そこで、マントル遷移層下部で観察されている地震波異方性の成因を明らかにするため、乾燥条件でのアキモタイトの結晶格子選択配向を大歪変形実験を行うことによって決定した。その結果、アキモタイトの結晶格子選択配向に温度依存性は観察されなかった。さらに、マントル遷移層下部で観察されている地震波異方性はスラブに平行に変形していると仮定することでアキモタイトの結晶格子選択配向によって説明できることが明らかとなった。

ブリッジマナイトのその場応力一歪測定による粘性率測定

ブリッジマナイトは地球マントルにおいて最重要鉱物である。そのため、そのレオロジー特性は非常に重要となる。一方で、これまでそのレオロジーの知識は不十分である。本研究では、一軸圧縮変形下でのその場応力一歪測定を行うことにより転位クリープが支配的な領域でのブリッジマナイトの流動則の決定を行った。その結果、転位クリープが支配的な領域においてこれまで報告されている地球マントル主要鉱物の中でブリッジマナイトが最も高粘性率を持つことが明らかとなった。さらに、これまで報告されているブリッジマナイトの自己拡散係数の結果を加えることで、様々な粒径・応力・温度・圧力条件下でのブリッジマナイトの粘性率を推定することを可能とする変形機構領域図を構築した。

< 引用文献 >

- D. L. Kohlstedt, H. Keppler, D. C. Rubie, Solubility of water in the α , β and γ phases of $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, Contrib. Mineral Petrol, 1996, 123, 345-357.
- S. Mie, D.L. Kohlstedt. Influence of water on plastic deformation of olivine aggregates 2. Dislocation creep regime., J. Geophys. Res. 2000, 105, 21471-21481.
- N. Tsujino, Y. Nishihara, D. Yamazaki, Y. Seto, Y. Higo, E. Takahashi, Mantle dynamics inferred from the crystallographic preferred orientation of bridgmanite, Nature, 539, 81-84.

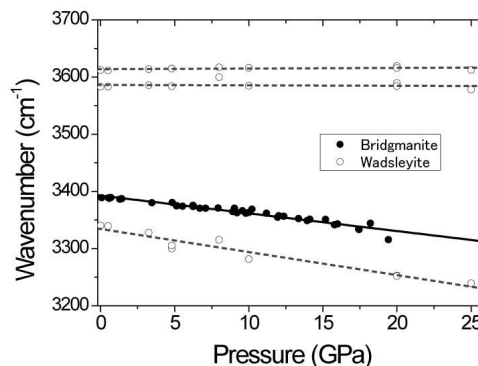


図 3 .ウォズレアイトと鉄を含むブリッジマナイトの OH バンドの圧力依存性

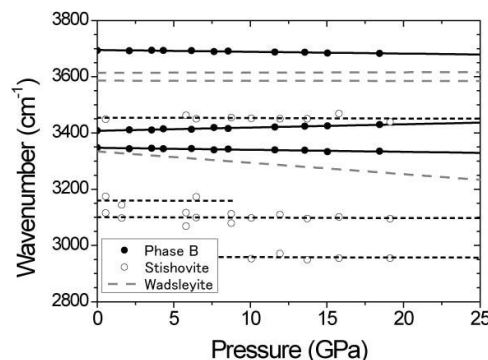


図 4 . Phase B と Al_2O_3 を含むスティショバイトの OH バンドの圧力依存性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Guan Longli, Yamazaki Daisuke, Tsujino Noriyoshi, Tange Yoshinori, Higo Yuji	4. 巻 49
2. 論文標題 Seismic Anisotropy in the Lower Mantle Transition Zone Induced by Lattice Preferred Orientation of Akimotoite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2022GL098549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GL098549	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, Yamazaki Daisuke, Nishihara Yu, Yoshino Takashi, Higo Yuji, Tange Yoshinori	4. 巻 8
2. 論文標題 Viscosity of bridgmanite determined by in situ stress and strain measurements in uniaxial deformation experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabm1821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abm1821	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 -
1. 著者名 Xu F., Yamazaki D., Hunt S. A., Tsujino N., Higo Y., Tange Y., Ohara K., Dobson D. P.	4. 巻 127
2. 論文標題 Deformation of Post Spinel Under the Lower Mantle Conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2021JB023586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021JB023586	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 Liu Chao, Yoshino Takashi, Yamazaki Daisuke, Tsujino Noriyoshi, Gomi Hitoshi, Sakurai Moe, Zhang Youyue, Wang Ran, Guan Longli, Lau Kayan, Tange Yoshinori, Higo Yuji	4. 巻 42
2. 論文標題 Exploration of the best reference material on anelastic measurement by cyclic loading under high pressure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 14 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2021.2013834	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 -

1. 著者名 NISHIHARA Yu, TSUJINO Noriyoshi, KUBO Tomoaki, YAMAZAKI Daisuke, DOI Shunta, IMAMURA Masahiro, YOSHINO Takashi	4. 巻 30
2. 論文標題 Studies of Deep Earth Rheology Based on High-Pressure Deformation Experiments Using D111-Type Apparatus	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Review of High Pressure Science and Technology	6. 最初と最後の頁 78 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4131/jshpreview.30.78	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 -

1. 著者名 Tsujino Noriyoshi, Marza Andreea, Yamazaki Daisuke	4. 巻 105
2. 論文標題 Pressure dependence of Si diffusion in α -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 Fu Suyu, Yang Jing, Tsujino Noriyoshi, Okuchi Takuo, Purevjav Narangoo, Lin Jung-Fu	4. 巻 518
2. 論文標題 Single-crystal elasticity of (Al,Fe)-bearing bridgmanite and seismic shear wave radial anisotropy at the topmost lower mantle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116 ~ 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.04.023	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 Takayuki, Huang Rong, Myhill Robert, Fei Hongzhan, Koemets Iuliia, Liu Zhaodong, Maeda Fumiya, Yuan Liang, Wang Lin, Druzhbin Dmitry, Yamamoto Takafumi, Bhat Shrikant, Farla Robert, Kawazoe Takaaki, Tsujino Noriyoshi, Kulik Eleonora, Higo Yuji, Tange Yoshinori, Katsura Tomoo	4. 巻 12
2. 論文標題 Sharp 660-km discontinuity controlled by extremely narrow binary post-spinel transition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Geoscience	6. 最初と最後の頁 869 ~ 872
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-019-0452-1	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 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 ₂ SiO ₄ -Fe ₂ SiO ₄ 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 ₃ and (Mg,Fe)SiO ₃	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 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 ₂ SiO ₄ -Fe ₂ SiO ₄ 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 無
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 Ishii Takayuki, Huang Rong, Fei Hongzhan, Koemets Iuliia, Liu Zhaodong, Maeda Fumiya, Yuan Liang, Wang Lin, Druzhbin Dmitry, Yamamoto Takafumi, Bhat Shrikant, Farla Robert, Kawazoe Takaaki, Tsujino Noriyoshi, Kulik Eleonora, Higo Yuji, Tange Yoshinori, Katsura Tomoo	4. 巻 8
2. 論文標題 Complete agreement of the post-spinel transition with the 660-km seismic discontinuity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-24832-y	査読の有無 無
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	4. 巻 28
2. 論文標題 Rheological Study of Bridgmanite at the Lower Mantle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Review of High Pressure Science and Technology	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) 10.4131/jshpreview.28.139	査読の有無 無
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21件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Noriyoshi Tsujino, Daisuke Yamazaki, Yu Nishihara
2. 発表標題 In-situ Stress-strain Measurement of Bridgmanite in Uniaxial Deformation Experiments
3. 学会等名 10th Asian Conference on High Pressure Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻野典秀, 山崎大輔
2. 発表標題 高圧実験に基づくブリッジマナイトの変形機構領域図
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻野典秀
2. 発表標題 ダイヤモンドアンビルセルを用いたブリッジマナイト単結晶の高圧その場 IR 観察
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻野典秀, 山崎大輔
2. 発表標題 高圧実験に基づくブリッジマナイトの変形機構図
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻野典秀
2. 発表標題 ブリッジマナイトの変型機構図
3. 学会等名 第8回愛媛大学先進超高压科学研究拠点シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻野典秀
2. 発表標題 ダイヤモンドアンビルセルを用いた含水ウォズレアイト単結晶の高圧その場 IR 観察
3. 学会等名 日本鉱物科学会 2020 年オンライン年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noriyoshi Tsujino, Daisuke Yamazaki, Yu Nishihara
2. 発表標題 In-situ stress-strain measurements of bridgmanite using D-111 apparatus
3. 学会等名 International Workshop on Development of multi-anvil technology, and its applications to lower-mantle research and material sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Noriyoshi Tsujino, Daisuke Yamazaki, Yu Nishihara
2. 発表標題 Deformation experiments of lower mantle minerals using D111 type press
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020:Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Longli Guan, Daisuke Yamazaki, Noriyoshi Tsujino
2. 発表標題 Lattice preferred orientation of akimotoite deformed in the D111 Kawai-type multianvil apparatus
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020:Virtual (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎 大輔、辻野 典秀、西原 遊
2. 発表標題 Shear deformation on post-spinel
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻野 典秀、山崎 大輔、西原 遊
2. 発表標題 Uniaxial deformation experiments of bridgmanite using D-111 type high pressure apparatus
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西原 遊、土居 峻太、辻野 典秀、山崎 大輔、肥後 祐司
2. 発表標題 六方最密構造(hcp)鉄のレオロジー
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻野典秀、山崎大輔、肥後祐司、丹下慶範
2. 発表標題 CaSiO ₃ -ペロプスカイトの相関係と状態方程式
3. 学会等名 第60回高圧討論会
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 辻野典秀
2. 発表標題 高温高圧下での変形実験とX線その場観察
3. 学会等名 SPring-8シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻野 典秀、山崎 大輔
2. 発表標題 高圧下での -鉄のシリコン拡散
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻野 典秀、山崎 大輔、西原 遊
2. 発表標題 D111を用いたブリッジマナイトの変形実験
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Tsujino, D. Yamazaki, Y Nishihara
2. 発表標題 Creep strength of bridgmanite
3. 学会等名 Joint symposium of Misasa 2019 & Core-Mantle Coevolution
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井 萌、辻野 典秀、大藤 弘明
2. 発表標題 高压その場IR 測定実験回収試料におけるTEM観察
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 櫻井 萌、辻野 典秀
2. 発表標題 TEM観察による高压その場IR測定実験回収試料の応力測定
3. 学会等名 第59回高压討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Sakur, N. Tsujino
2. 発表標題 Pressure effect on IR spectra of anhydrous minerals
3. 学会等名 Joint symposium of Misasa 2019 & Core-Mantle Coevolution
4. 発表年 2019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	山崎 大輔 (YAMAZAKI Daisuke) (90346693)	岡山大学・惑星物質研究所・准教授 (15301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	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