

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：32606

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02986

研究課題名（和文）高圧実験と熱測定に基づくマントル深部鉱物及び類縁物質の高圧相平衡

研究課題名（英文）High-pressure phase equilibria of deep-mantle minerals and related materials by high-pressure experiments and calorimetry

研究代表者

赤荻 正樹（Akaogi, Masaki）

学習院大学・理学部・教授

研究者番号：30126560

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：高温高圧実験により、地球マントルを構成する岩石の高温高圧下における相変化を明らかにした。またマントル深部で起こるアルミニウム含有鉱物、クロム含有鉱物などの相転移を解明し、X線回折法により、新しく見出された高圧相の結晶構造を決定した。また熱測定実験とそのデータに基づく熱力学計算により、相転移の起こる圧力温度条件を精密に決定した。さらに様々なスピネル型酸化物の高圧相転移を調べ、相転移の様式の規則性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球深部のマントルを構成する岩石・鉱物が高温高圧下で起こす相変化を従来より詳細に解明した。それらの結果は、マントルで起こるダイナミックなプロセスを理解するための基盤となる。またスピネル型酸化物が高温高圧下で起こす相転移の様式の規則性を明らかにした。それらは、新しい結晶構造や機能を持つ酸化物を高温高圧下で合成する際に有用な指針となる。

研究成果の概要（英文）：Phase changes in mantle-constituent rocks were clarified by high-pressure and high-temperature experiments. High-pressure phase transitions of aluminum- and chromium-bearing minerals were investigated, and crystal structures of newly synthesized high-pressure phases were analyzed by X-ray diffraction method. The pressure-temperature stability conditions of some of the high-pressure minerals were precisely determined by calorimetric measurements and thermodynamic calculation. Furthermore, high-pressure phase transitions of various spinel-type oxides were investigated, and systematics in the phase transitions were clarified.

研究分野：高圧地球科学

キーワード：高圧実験 熱測定 マントル 結晶構造 相転移 相平衡 スピネル ペロプスカイト

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

マントルへ沈み込むスラブは成層構造をしており、上部の玄武岩質海洋地殻(中央海嶺玄武岩)、中間のハルツバージャイト、下部のパイロライトから成る。従来からパイロライト、中央海嶺玄武岩の高圧相関係に関しては数多くの研究がされてきたが、ハルツバージャイトに関する研究は少なく、その高圧相関係には不確定な部分が多かった。また、各岩石の相関係はそれぞれの研究者が別個の圧力基準に基づく高温高圧実験により決定しており、相関係の違いによる密度差に由来する、中央海嶺玄武岩とハルツバージャイトの遷移層中の滞留の可能性を議論するには、厳密に同じ圧力温度下で行われた高温高圧実験が必要とされていた。

近年、ダイヤモンド中の包有物やマントル由来のクロミタイトから、マントル深部物質を調べることが可能になってきた。ブラジル産ダイヤモンド中には、玄武岩質海洋地殻の高圧相に出現する「六方晶系アルミニウム含有相(NAL相)」と同じ組成の鉱物集合体が発見され、下部マントル由来と推定されたが、その当否を判定するには、NAL相の相関係のデータが不足していた。クロミタイト(クロムスピネル(Mg,Fe)(Cr,Al)<sub>2</sub>O<sub>4</sub>からなる岩石で、オリピンを伴う)の一部は、遷移層や下部マントルまで沈み込み、再度地表まで上昇してきたという「マントルを循環する超高压クロミタイト」の学説が最近主張されてきた。この説では、クロミタイト中のクロムスピネルがポストスピネル相であるカルシウムフェライト型高圧相に一度転移した後、上昇過程でスピネル型に戻ったと仮定されている。しかし、本研究代表者らによる MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の詳細な相関係の最近の研究ではその学説に矛盾する結果を得た。そのため、クロムスピネルとオリピンが共存する組成での高温高圧実験が必要になってきた。さらに、クロムスピネルやNAL相を包含する一般式 A<sup>2+</sup>B<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>4</sub> 組成を持つスピネル型化合物の高圧相転移の研究は物質科学的にも関心を持たれているが、高圧相転移の様式が包括的に調べられたことはない。そのため、様々なイオン半径を持つ A<sup>2+</sup>、B<sup>3+</sup>イオンを含む一連のスピネル型 A<sup>2+</sup>B<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>4</sub> 化合物の高圧相転移を調べることが重要になってきた。

### 2. 研究の目的

(1) パイロライト、中央海嶺玄武岩、ハルツバージャイトの詳細な相関係を、同一の高温高圧実験により下部マントル上部までの圧力温度条件で決定し、鉱物組み合わせの違いによる密度の差を明らかにし、遷移層と下部マントル最上部における中央海嶺玄武岩、ハルツバージャイトの挙動を解明する。それらと共に、下部マントルまで沈み込んだ中央海嶺玄武岩中で安定になるアルミニウム含有相(NAL相)の安定領域、組成範囲を明らかにする。

(2) クロムスピネルとオリピンからなるクロミタイトの相平衡関係を高温高圧実験で詳細に解明し、「超高压クロミタイトのマントル循環説」を相関係の観点から検証する。

(3) マントル岩石に少量含まれる ZrSiO<sub>4</sub> ジルコンや TiO<sub>2</sub> ルチルの高圧相転移境界線を、高圧相のエンタルピー、エントロピー等の測定により決定し、マントルでの転移の深さを推定する。

(4) 多様なスピネル型 A<sup>2+</sup>B<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>4</sub> 化合物の「ポストスピネル転移」を広く探索し、新規高圧相の結晶構造を決定し、相転移の様式と A<sup>2+</sup>、B<sup>3+</sup>イオン半径の関係を解明し、「ポストスピネル転移」の物質科学的基礎を確立する。

### 3. 研究の方法

高硬度超合金アンビルを組み込んだマルチアンビル装置を用いて、30GPa、2200°Cまでの超高压高温実験を行い、6~8個の試料を同時に高压高温状態にして比較できる、複数のマルチサンプルセルを入れた圧力セルを開発した。これにより、従来は個別の高温高圧実験で行われてきた、異なる組成のケイ酸塩等の相転移の実験を、同一圧力温度で行い、試料の組成の違いによる相関係の違いを精密に比較することが可能になった。同時に実験効率の向上を図った。またカルベ型高温熱量計、物理特性測定装置(PPMS)、高温X線回折装置を用いて、高圧相のエンタルピー、エントロピー、熱容量、熱膨張率の測定を行い、熱力学計算によって相平衡関係を決定した。

### 4. 研究成果

(1) マルチサンプルセル法を用いて、パイロライト、中央海嶺玄武岩、ハルツバージャイトの詳細な高圧相平衡関係を同時に、12~28GPa、1600~2200°Cで決定した。その結果、ハルツバージャイトではポストスピネル転移境界線の圧力がパイロライトより高く、中央海嶺玄武岩ではポストガーネット転移の圧力がパイロライトとハルツバージャイトより高いことが明らかになった。また鉱物量比から密度を計算し比較したところ、ハルツバージャイトと中央海嶺玄武岩の密度は22~25GPaでパイロライトより低いことが示された。この結果は、沈み込むスラブの上層を構成するハルツバージャイトと中央海嶺玄武岩がマントル遷移層に集積する可能性が高い

ことを示唆した。

(2)  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  -  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  系の高圧相平衡関係を 25GPa、1600°Cまで調べた結果、13GPa 以下ではスピネル型  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  と  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  オリビンが安定であるが、それ以上の圧力では変型ルドウィガイト型  $\text{Mg}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$ 、ガーネット相、 $\text{Mg}_{14}\text{Si}_5\text{O}_{24}$  無水 B 相の 3 相が安定であり、20GPa 以上でカルシウムタイタネイト型  $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  と  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  リンググダイトに、23GPa ではカルシウムタイタネイト相、 $\text{MgSiO}_3$  プリジマナイト、 $\text{MgO}$  になることが明らかになった。また変型ルドウィガイト型  $\text{Mg}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$  単独の安定領域は約 13 ~ 20GPa であることが示され、さらにこの相の単結晶構造解析を行って結晶構造を精密決定した。これらの結果から、マントル深部を循環すると従来考えられてきた「超高压クロミタイト」の到達深度は、最も深くても 400 km 以内であると結論された。

(3)  $\text{ZrSiO}_4$  ジルコンは高温高圧下でレイダイトへ転移し、さらに高圧下でコチュナイト型  $\text{ZrO}_2$  と  $\text{SiO}_2$  ステショバイトに分解する。 $\text{TiO}_2$  ルチルは高温高圧下で  $\alpha\text{PbO}_2$  型  $\text{TiO}_2$  に転移する。これらの相平衡境界線を精密に決定するために、これら高圧相の熱容量、エントロピー、エンタルピー、熱膨張率の測定を行い、熱力学計算によって相平衡境界線を決定した。その結果、平均的な地温勾配では、深さ約 330 km でジルコン - レイダイト転移が、約 600 km でレイダイトの分解反応が起こり、 $\text{TiO}_2$  ルチルの  $\alpha\text{PbO}_2$  型への転移は約 200km で起こると結論された。

(4) スピネル構造の  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  と  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  の高圧相転移を明らかにするため、27GPa、2500°Cで合成した新規  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  高圧回収相の単結晶構造解析を行い、それがカルシウムフェライト型と関連する低密度の新規構造相であることを見出した。これはカルシウムフェライト相の急冷回収時に生じた準安定相と解釈された。また 20 ~ 27GPa、1200°Cで新規  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  高圧回収相を見つけ構造解析を行った結果、 $\text{Na}_x(\text{Fe,Ti})_x\text{Ti}_{2-x}\text{O}_4$  相と類似の陽イオン配列を持つ新規相であることが明らかになった。 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  と  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  の新規高圧回収相は衝撃変成を受けた隕石やクレーターの岩石中に見出される可能性がある。

(5)  $\text{A}^{2+}\text{B}^{3+}_2\text{O}_4$  組成を持つスピネル型化合物の高圧相転移を物質科学の広い観点から調べるため、(4)の  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  と  $\text{MgFe}_2\text{O}_4$  に加えて、スピネル型  $\text{MgV}_2\text{O}_4$ 、 $\text{FeV}_2\text{O}_4$ 、 $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  の相転移を 25GPa、1600°Cまで調べた。スピネル型  $\text{MgV}_2\text{O}_4$  と  $\text{FeV}_2\text{O}_4$  は岩塩型相とコランダム型相に分解した後、カルシウムタイタネイト型に転移するが、 $\text{MgCr}_2\text{O}_4$  はスピネル型が直接カルシウムフェライト型に転移することが示され、これら高圧相の結晶構造を精密化した。さらに本研究の結果を含めて今までに明らかにされた  $\text{A}^{2+}\text{B}^{3+}_2\text{O}_4$  組成のスピネル型化合物の高圧相を  $\text{A}^{2+}$ 、 $\text{B}^{3+}$  のイオン半径で整理したところ、カルシウムフェライト型相は広い  $\text{A}^{2+}$ 、 $\text{B}^{3+}$  イオン半径の範囲で高圧で安定になるが、カルシウムタイタネイト型相は限られた狭い範囲のイオン半径を持つ  $\text{A}^{2+}$ 、 $\text{B}^{3+}$  イオンでしか安定にならないことが明確になった。この結果は、カルシウムフェライト型相とカルシウムタイタネイト型相を分けて高圧合成するための指針となる。

(6) 六方晶系アルミニウム含有相(NAL 相)の高圧安定関係を解明するため、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{KAlSiO}_4$  系と  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  系の高圧相関係を 29GPa まで 1200 ~ 1500°Cで調べた。どちらの系でも 15GPa 以上で NAL 相が安定になり、前者では  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  成分が 62 ~ 65 モル%、後者では 67 ~ 72 モル%の組成範囲で安定になった。これらの結果と、先に研究代表者らが決定した  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ - $\text{NaAlSiO}_4$  系における NAL 相の安定組成を組み合わせると、下部マントルに起源をもつダイヤモンド中にしばしば見出される、Na、K に富むアルミニウム鉱物と  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  スピネルの集合体は、下部マントルでは NAL 相であり、上部マントル内でこれらの鉱物集合体に分解したと解釈された。

なお、研究代表者のこれまでの研究成果が評価され、2018 年に日本地球惑星科学連合のフェローに選出された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Lemoine Kevin, Wizner Agnieszka, Auguste Sandy, Grenche Jean-Marc, Kojitani Hiroshi, Akaogi Masaki, Inaguma Yoshiyuki	4. 巻 6
2. 論文標題 Benefit of high-pressure structure on sodium transport properties: Example with NaFeF3 post-perovskite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Open Ceramics	6. 最初と最後の頁 100123 ~ 100123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.oceram.2021.100123	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 Ishii Takayuki, Criniti Giacomo, Bykova Elena, Dubrovinsky Leonid, Katsura Tomoo, Arii Hidekazu, Kojitani Hiroshi, Akaogi Masaki	4. 巻 -
2. 論文標題 High-pressure syntheses and crystal structure analyses of a new low-density CaFe2O4- related and CaTi2O4-type MgAl2O4 phases	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7619	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 Vennari Cara E., Lin Feng, Kunz Martin, Akaogi Masaki, Miyagi Lowell, Williams Quentin	4. 巻 -
2. 論文標題 Deformation and Strength of Mantle Relevant Garnets: Implications for the Subduction of Basaltic-rich Crust	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7587	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 Kimura Fumiya, Kojitani Hiroshi, Akaogi Masaki	4. 巻 310
2. 論文標題 High-pressure and high-temperature phase relations in the systems KAlSiO4-MgAl2O4 and CaAl2O4-MgAl2O4: Stability fields of NAL phases	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 106632 ~ 106632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2020.106632	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 Ishii Takayuki, Miyajima Nobuyoshi, Sinmyo Ryosuke, Kojitani Hiroshi, Mori Daisuke, Inaguma Yoshiyuki, Akaogi Masaki	4. 巻 47
2. 論文標題 Discovery of New Structured Post Spinel MgFe2O4: Crystal Structure and High Pressure Phase Relations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL087490	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, Kojitani Hiroshi, Akaogi Masaki	4. 巻 124
2. 論文標題 Phase Relations of Harzburgite and MORB up to the Uppermost Lower Mantle Conditions: Precise Comparison With Pyrolite by Multisample Cell High Pressure Experiments With Implication to Dynamics of Subducted Slabs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 3491 ~ 3507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2018JB016749	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 Tokuda Makoto, Yoshiasa Akira, Kojitani Hiroshi, Hashimoto Saki, Uehara Seiichiro, Mashimo Tsutomu, Tobase Tsubasa, Akaogi Masaki	4. 巻 83
2. 論文標題 The importance of cation-cation repulsion in the zircon-reidite phase transition and radiation-damaged zircon	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mineralogical Magazine	6. 最初と最後の頁 561 ~ 567
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1180/mgm.2019.27	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 Akaogi Masaki, Tajima Taisuke, Okano Masaki, Kojitani Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 High-Pressure and High-Temperature Phase Transitions in Fe2TiO4 and Mg2TiO4 with Implications for Titanomagnetite Inclusions in Superdeep Diamonds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Minerals	6. 最初と最後の頁 614 ~ 614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min9100614	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 Liu Zhaodong, Akaogi Masaki, Katsura Tomoo	4. 巻 505
2. 論文標題 Increase of the oxygen vacancy component in bridgmanite with temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 141 ~ 151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2018.10.014	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, Kojitani Hiroshi, Akaogi Masaki	4. 巻 274
2. 論文標題 Phase relations and mineral chemistry in pyrolitic mantle at 1600-2200 °C under pressures up to the uppermost lower mantle: Phase transitions around the 660-km discontinuity and dynamics of upwelling hot plumes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 127 ~ 137
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2017.10.005	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 -

1. 著者名 Soda Kazuo, Kobayashi Daichi, Mizui Tatsuya, Kato Masahiko, Shirako Yuichi, Niwa Ken, Hasegawa Masashi, Akaogi Masaki, Kojitani Hiroshi, Ikenaga Eiji, Muro Takayuki	4. 巻 87
2. 論文標題 Valence-Band Electronic Structures of High-Pressure-Phase PdF <sub>2</sub> -type Platinum-Group Metal Dioxides MO <sub>2</sub> (M = Ru, Rh, Ir, and Pt)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 044701 1~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.87.044701	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 Akaogi Masaki, Hashimoto Saki, Kojitani Hiroshi	4. 巻 281
2. 論文標題 Thermodynamic properties of ZrSiO <sub>4</sub> zircon and reidite and of cotunnite-type ZrO <sub>2</sub> with application to high-pressure high-temperature phase relations in ZrSiO <sub>4</sub>	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2018.05.001	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 Ishii Takayuki, Sakai Tsubasa, Kojitani Hiroshi, Mori Daisuke, Inaguma Yoshiyuki, Matsushita Yoshitaka, Yamaura Kazunari, Akaogi Masaki	4. 巻 57
2. 論文標題 High-Pressure Phase Relations and Crystal Structures of Postspinel Phases in MgV <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , FeV <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , and MnCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : Crystal Chemistry of AB <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Postspinel Compounds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 6648 ~ 6657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b00810	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 Kojitani Hiroshi, Yamazaki Monami, Kojima Meiko, Inaguma Yoshiyuki, Mori Daisuke, Akaogi Masaki	4. 巻 45
2. 論文標題 Thermodynamic investigation of the phase equilibrium boundary between TiO <sub>2</sub> rutile and its PbO <sub>2</sub> -type high-pressure polymorph	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	6. 最初と最後の頁 963 ~ 980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00269-018-0977-7	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 Akaogi Masaki, Kawahara Airi, Kojitani Hiroshi, Yoshida Kazuaki, Anegawa Yuki, Ishii Takayuki	4. 巻 103
2. 論文標題 High-pressure phase transitions in MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·Mg <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>4</sub> composition: Reactions between olivine and chromite with implications for ultrahigh-pressure chromitites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 161 ~ 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2018-6135	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 Akaogi Masaki, Abe Kohei, Yusa Hitoshi, Ishii Takayuki, Tajima Taisuke, Kojitani Hiroshi, Mori Daisuke, Inaguma Yoshiyuki	4. 巻 44
2. 論文標題 High-pressure high-temperature phase relations in FeTiO <sub>3</sub> up to 35 GPa and 1600 °C	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	6. 最初と最後の頁 63 ~ 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00269-016-0836-3	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 Soda Kazuo, Mizui Tatsuya, Komabuchi Mai, Kato Masahiko, Terabe Toshiki, Suzuki Kentaro, Niwa Ken, Shirako Yuichi, Hasegawa Masashi, Akaogi Masaki, Kojitani Hiroshi, Ikenaga Eiji	4. 巻 86
2. 論文標題 Microbeam Hard X-ray Photoemission Study on Platinum-Group Metal Pernitrides	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 064804 ~ 064804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.86.064804	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 Ishii Takayuki, Tsujino Noriyoshi, Arie Hidekazu, Fujino Kiyoshi, Miyajima Nobuyoshi, Kojitani Hiroshi, Kunimoto Takehiro, Akaogi Masaki	4. 巻 102
2. 論文標題 A shallow origin of so-called ultrahigh-pressure chromitites, based on single-crystal X-ray structure analysis of the high-pressure Mg <sub>2</sub> Cr <sub>20</sub> S phase, with modified ludwigite-type structure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 2113 ~ 2118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2017-6050	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

〔学会発表〕 計45件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Hiroshi Kojitani, Masaki Akaogi
2. 発表標題 Redetermination of enthalpy and reassessment of thermodynamic data set for SiO <sub>2</sub> stishovite
3. 学会等名 Joint-Meeting of Japan Geoscience Union and American Geophysical Union 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Akaogi, Fumiya Kimura, Hiroshi Kojitani
2. 発表標題 High-pressure phase relations of K-bearing NAL phase with implications to aluminosilicate inclusions in superdeep diamonds in kimberlites
3. 学会等名 Joint-Meeting of Japan Geoscience Union and American Geophysical Union 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 Terry-Ann Suer, Rebecca A. Fischer, Masaki Akaogi, Hiroshi Kojitani, Kierstin Daviau, Matthew C. Brennan, Junjie Dong, Stella Chariton
2. 発表標題 Phase stability and equation of state of MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> at lower mantle pressures and temperatures
3. 学会等名 Consortium for Materials Properties Research in Earth Sciences (COMPRES) 2020 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤荻正樹、木村文哉、梶谷浩
2. 発表標題 高压下におけるKおよびCaを含む六方晶アルミニウム含有相の安定領域
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶谷浩、二部菜、高井茂臣、藪塚武史、赤荻正樹
2. 発表標題 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> コランダム固溶体のエンタルピーの非理想性
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kevin Lemoine, Moemi Oyanagi, Koichiro Ueda, Jean-Mark Greneche, Hiroshi Kojitani, Masaki Akaogi, Yoshiyuki Inaguma
2. 発表標題 High-pressure synthesis of fluoride materials from solid sources
3. 学会等名 日本セラミックス協会関東支部第36回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 SiO <sub>2</sub> スティショバイトの熱力学パラメータの再評価とMgSiO <sub>3</sub> 系相図の熱力学計算への応用
3. 学会等名 第61回高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武長隼也、梶谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 メジャーライトガーネットとリングウッドイト間におけるMg <sup>2+</sup> -Fe <sup>2+</sup> 分配
3. 学会等名 第61回高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Terry-Ann Suer, Rebecca A. Fischer, Masaki Akaogi, Hiroshi Kojitani, Kierstin Daviau, Matthew C. Brennan, Michael Volk, Junjie Dong, Stella Chariton
2. 発表標題 Phase stability and equation of state of MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> at lower mantle pressures and temperatures
3. 学会等名 Am. Geophys. Union, Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 赤荻正樹、藤村哲也、荒井駿人、岡野雅樹、梶谷浩
2. 発表標題 MgO-TiO <sub>2</sub> 系鉱物の高圧相転移
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 梶谷浩、野田昌道、井上徹、赤荻正樹
2. 発表標題 MgSiO <sub>3</sub> メージャライトの落下溶解エンタルピー測定
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 梶谷浩、恒川有希、赤荻正樹
2. 発表標題 Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ワズレライトの高温熱容量測定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田和存、梶谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 クロムスピネルを含むケイ酸塩鉱物系の高圧相関係
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村文哉、赤荻正樹、梶谷浩
2. 発表標題 CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 系の高温高圧相転移
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤百花、糀谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 CaSiO <sub>3</sub> 高压相の熱力学的性質と高压相平衡関係
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhaodong Liu, Takayuki Ishii, Huang Rong, Tiziana Boffa Ballaran, Daniel Frost, Masaki Akaogi, Tomoo Katsura
2. 発表標題 Pressure, temperature and bulk composition dependence of the oxygen vacancy component in aluminous bridgmanite
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 赤荻正樹、藤村哲也、荒井俊人、岡野雅樹、糀谷浩
2. 発表標題 Mg <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub> , MgTiO <sub>3</sub> , MgTi <sub>2</sub> O <sub>5</sub> の高压相転移
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 糀谷浩、恒川有希、赤荻正樹
2. 発表標題 Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> ワズレアイトの高温熱容量測定と熱弾性パラメータの再評価
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Momoka Sato, Hiroshi Kojitani, Masaki Akaogi
2. 発表標題 Thermodynamic properties and high-pressure phase equilibrium relations of CaSiO <sub>3</sub> high-pressure phases
3. 学会等名 2019 Gakushuin-National Chiao Tung Univ. Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Vennari, F. Lin, M. Kunz, M. Akaogi, L. Miyagi, Q. Williams
2. 発表標題 Slip in, and strength of, natural pyrope and majoritic garnets at high pressures
3. 学会等名 Am. Geophys. Union, Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Akaogi
2. 発表標題 High-pressure phase transitions of AB <sub>2</sub> O <sub>4</sub> spinels and related minerals
3. 学会等名 4th International HiPeR symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Akaogi, Saki Hashimoto, Hiroshi Kojitani
2. 発表標題 High-Pressure phase transitions of zircon: phase relations based on thermodynamic measurements and application to the mantle
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 糀谷浩、野田昌道、井上徹、赤荻正樹
2. 発表標題 MgSiO <sub>3</sub> メジャライトの低温熱容量測定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤荻正樹、今野元気、轟隼人、曾根達也、糀谷浩
2. 発表標題 六方晶ペロブスカイト関連構造酸化物の高圧相転移
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 糀谷浩、野田昌道、井上徹、赤荻正樹
2. 発表標題 MgSiO <sub>3</sub> メジャライトの熱容量測定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fumiya Kimura, Hiroshi Kojitani, Masaki Akaogi
2. 発表標題 High-pressure high-temperature phase relations in the system KAlSiO <sub>4</sub> -MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : Stability field of hexagonal aluminous phase.
3. 学会等名 2018 National Chiao Tung Univ. - Gakushuin Univ. 4th Student Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶谷浩、野田昌道、井上徹、赤荻正樹
2. 発表標題 MgSiO <sub>3</sub> メージャライトの定圧熱容量測定
3. 学会等名 第54回熱測定討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤荻正樹、橋本紗季、梶谷浩
2. 発表標題 シェーライト型ZrSiO <sub>4</sub> 、コチュナイト型ZrO <sub>2</sub> のエンタルピー・低温熱容量測定と高圧相平衡関係
3. 学会等名 第54回熱測定討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤荻正樹、曽根達也、今野元気、轟隼人、梶谷浩
2. 発表標題 六方晶ペロブスカイト関連構造を持つアルカリ土類金属酸化物の高圧相転移
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 梶谷浩、野田昌道、井上徹、赤荻正樹
2. 発表標題 MgSiO <sub>3</sub> メージャライトの高温熱容量測定
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村文哉、梶谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 KAlSiO <sub>4</sub> - MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 系の高温高压相転移 ~ Hexagonal aluminous phaseの安定領域 ~
3. 学会等名 第59回高压討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤百花、梶谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 高温高压実験と熱容量測定によるCaSiO <sub>3</sub> の相転移境界の再検討
3. 学会等名 第59回高压討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉田和存、梶谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> - Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> 系およびMgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> - CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> 系の高温高压相関係
3. 学会等名 第59回高压討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳田誠、梶谷浩、真下茂、吉朝朗、橋本紗季、赤荻正樹
2. 発表標題 高压合成したReidite ZrSiO <sub>4</sub> 単結晶の精密構造解析と相転移機構
3. 学会等名 第59回高压討論会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 赤荻正樹、梶谷浩
2. 発表標題 ポストスピネル型及びニオブ酸リチウム型酸化物の高圧合成、結晶化学、安定関係
3. 学会等名 戦略的研究基盤形成支援事業中間報告会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Akaogi, Airi Kawahara, Hiroshi Kojitani, Kazuaki Yoshida, Yuki Anegawa, Takayuki Ishii
2. 発表標題 Reactions of chromite with olivine at high pressures with implications for ultrahigh pressure chromitites
3. 学会等名 Joint-Meeting of Japan Geoscience Union and American Geophysical Union 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroshi Kojitani, Masaki Akaogi
2. 発表標題 Thermodynamic calculations of high-pressure phase relations in the systems Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> and MgSiO <sub>3</sub>
3. 学会等名 Joint-Meeting of Japan Geoscience Union and American Geophysical Union 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤荻正樹、橋本紗季、梶谷浩
2. 発表標題 熱力学データに基づくZrSiO <sub>4</sub> ジルコンの高圧相平衡関係
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 糺谷浩、小島芽子、山崎萌波、濱田隆宏、赤荻正樹
2. 発表標題 -PbO <sub>2</sub> 型TiO <sub>2</sub> の熱力学的安定性
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Soda, D. Kato, D. Kobayashi, M. Komabuchi, T. Terabe, M. Kato, Y. Shirako, K. Niwa, M. Hasegawa, H. Kojitani, M. Akaogi, E. Ikenaga
2. 発表標題 Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy of Late Transition Metal Dioxides and Pernitrides
3. 学会等名 The 7th Intern. Conf. Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy (HAXPES 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤荻正樹
2. 発表標題 無機化合物高压相の熱力学諸量の測定と状態図の熱力学計算
3. 学会等名 日本学術振興会合金状態図第172委員会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuaki Yoshida, Hiroshi Kojitani, Masaki Akaogi
2. 発表標題 High-pressure high-temperature phase relations in the system Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> -MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3. 学会等名 2017 Gakushuin - National Chiao Tung Univ. Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 赤荻正樹、酒井翼、石井貴之、糀谷浩
2. 発表標題 スピネル型MnCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , MgV <sub>2</sub> O <sub>4</sub> の高圧相転移
3. 学会等名 第58回高圧討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 糀谷浩、小島芽子、山崎萌波、濱田隆宏、赤荻正樹
2. 発表標題 ルチル - -PbO <sub>2</sub> 型TiO <sub>2</sub> 相転移境界線の熱力学計算
3. 学会等名 第58回高圧討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉田和存、糀谷浩、赤荻正樹
2. 発表標題 Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> -MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 系の高温高圧相関係
3. 学会等名 第58回高圧討論会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計6件

1. 著者名 赤荻正樹	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善	5. 総ページ数 1534
3. 書名 化学便覧 基礎編 改訂6版 (分担執筆 18章)	

1. 著者名 赤荻正樹	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善	5. 総ページ数 363
3. 書名 熱量測定・熱分析ハンドブック 第3版 (分担執筆 p.25-27, p.186)	

1. 著者名 赤荻正樹、糺谷浩	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 664
3. 書名 鉱物・宝石の科学事典 (分担執筆 p.118-121)	

1. 著者名 赤荻正樹	4. 発行年 2018年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 236
3. 書名 図説 地球科学の事典 (分担執筆 p.62-63)	

1. 著者名 M. Akaogi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 -
3. 書名 Clapeyron's equation, In: W.M. White (Ed.), Encyclopedia of Geochemistry	

1. 著者名 M. Akaogi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 -
3. 書名 Calorimetry, In: W.M. White (Ed.), Encyclopedia of Geochemistry	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<a href="https://www-cc.gakushuin.ac.jp/~901334/homepage/AkaogiHP-English.htm">https://www-cc.gakushuin.ac.jp/~901334/homepage/AkaogiHP-English.htm</a>
---

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
連携研究者	梶谷 浩  (Kojitani Hiroshi)  (60291522)	学習院大学・理学部・助教    (32606)	

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			
ドイツ	Bayreuth University			
米国	University of California			
米国	Harvard University			
フランス	Le Mans Universite			