

## 最も融けにくいマンタル鉱物の超高压下での融点決定に成功

国立大学法人 愛媛大学

地球深部ダイナミクス研究センター(GRC)の木村友亮研究員(現東北大学・日本学術振興会特別研究員)、大藤弘明教授、西真之助教、入船徹男教授の研究チームは、ダイヤモンドを用いた超高压発生装置(DAC)<sup>(※1)</sup>と、独自に開発したCO<sub>2</sub>レーザー<sup>(※2)</sup>両面加熱システムを組み合わせ、地球の下部マンタル<sup>(※3)</sup>の主要鉱物であるペリクレース(MgO)に対し、過去最高圧力である50万気圧までの融点<sup>(※4)</sup>の正確な決定に成功しました。得られた融点(50万気圧で5600℃)は、これまでの実験値より1500℃近くも高く、ペリクレースがマンタル鉱物<sup>(※5)</sup>の中で最も高い融点を持つことを明らかにしました。この結果は、太古の地球に存在したマグマオーシャン<sup>(※6)</sup>が冷え固まる際、最初にペリクレースが固化してマグマから取り除かれることを意味し、現在も存在するマンタル最深部のマグマはマグネシウムが乏しいと推定されます。この研究成果は英ネイチャー出版のNature Communications誌・6月5日号にオンライン出版されます。

初期の地球はマンタル全体が溶けて表層までマグマの海(マグマオーシャン)<sup>(※6)</sup>が形成されていた(図1)。マグマは進化とともに冷えて固まり、現在ではマンタルの底の一部だけに初期マンタルの溶け残りがマグマの形で存在していると考えられています。このように、マンタルの進化はマグマの固化と密接に関わっています。

これまで、マンタルの進化過程を理解するためにマンタル鉱物の高圧力下での融点が数多く調べられてきました(図2)。しかし、下部マンタルで二番目に多く含まれるペリクレース(MgO)の融点のみ、未解決であったためにマンタル物質の融解関係は解明されませんでした。

愛媛大学GRC(現東北大学)の木村研究員らの研究グループは、鉱物からセラミックスやガラス、氷に至るまで、多くの物質を均一に加熱できるCO<sub>2</sub>レーザー光源を2台配備する新しい加熱手法の開発に成功しました(図3)。この装置とダイヤモンドアンビルセル(DAC)(図4)を組み合わせ、ペリクレース試料に高い圧力と温度を発生させ、回収した試料断面のナノメートルに至る微細な結晶組織を電子顕微鏡<sup>(※7)</sup>によって観察することで(図5)、従来よりも信頼性の高い融点の決定に成功しました(図6)。

得られた融点の圧力は過去最高の約50万気圧に達し、その融点はこれまでに計測された値より約1500℃も高い約5600℃であることがわかり、ペリクレースがマンタル鉱物の中で最も高い融点を持つことを明らかにしました。また、食い違っていた過去の低い融点では、融解ではなく高温下さらされることで起こる試料部の塑性変形<sup>(※8)</sup>に伴う現象を見誤っていた可能性を明らかにしました(図5)。

マンタル鉱物の中で最高融点を持つペリクレースは、マンタルがマグマから固まる早い段階で固化が進むため、現在も存在するマンタル最深部のマグマにはマグネシウムが乏しいことが明らかになりました(図1)。このように、超高压力下で記録的な高温の融点計測を可能にする新たな実験手法を用いた融解研究を推進することで、今後、マンタルだけでなく核<sup>(※9)</sup>の融解関係も明らかになり、地球の進化過程の理解が進むことが期待されます。

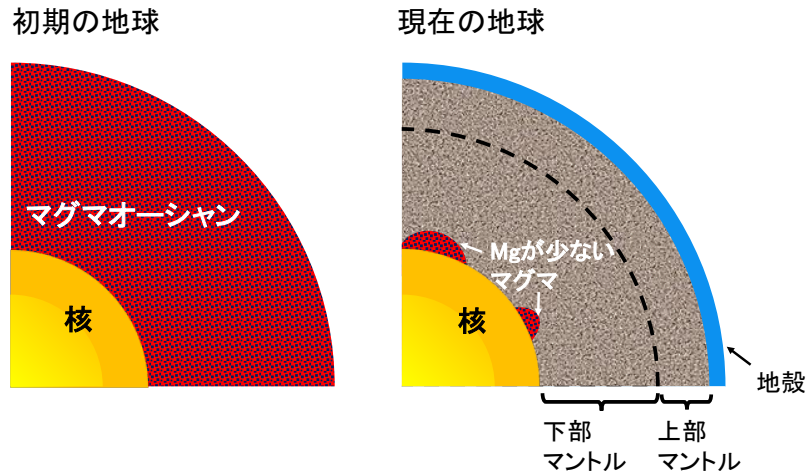


図 1. 初期と現在の地球の内部構造

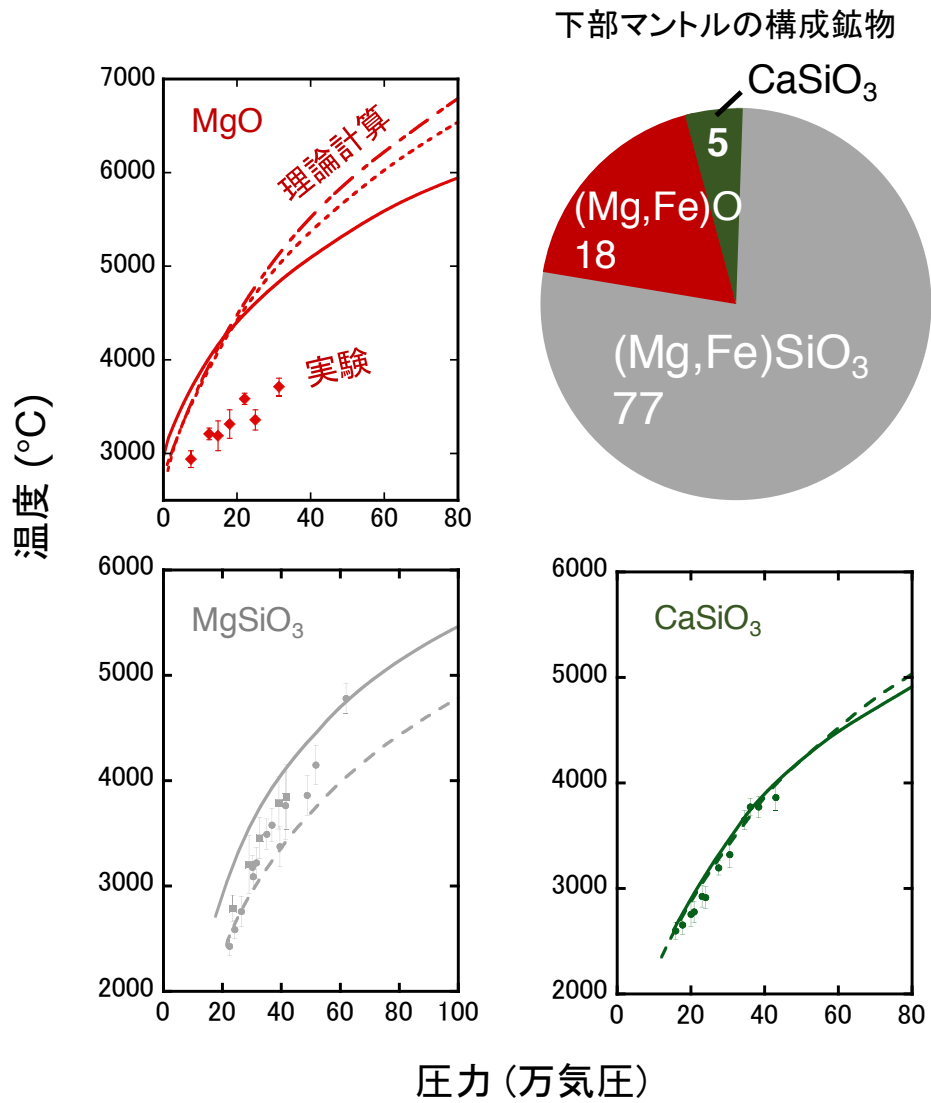


図 2. 下部マントルを構成する鉱物の比率と、過去のマントル鉱物の融点研究の結果

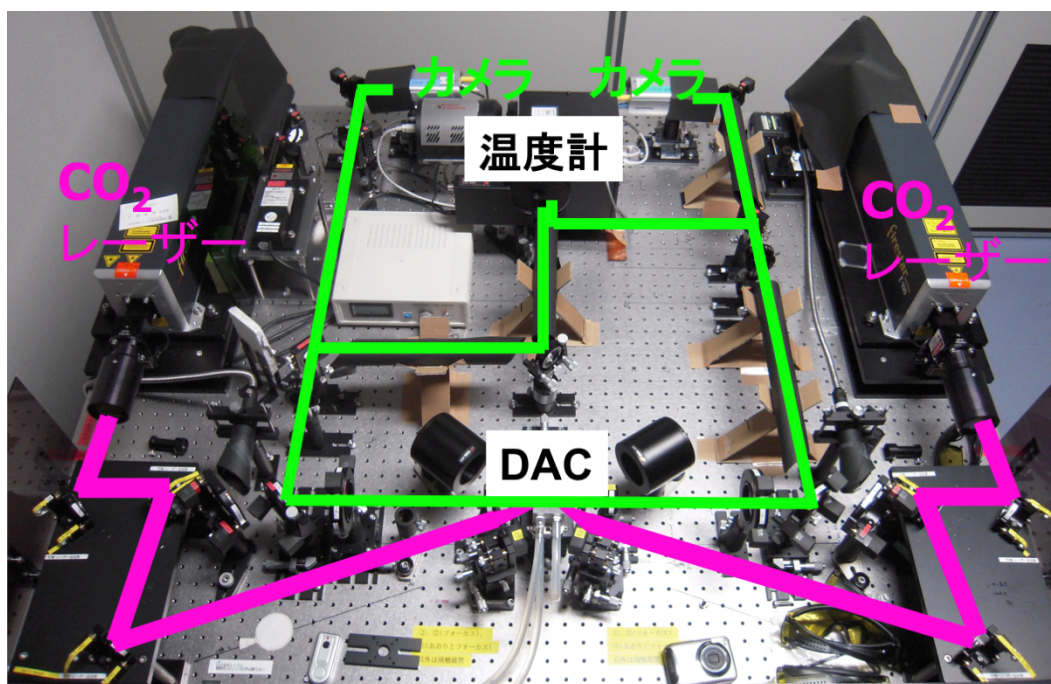


図 3. GRC の両側 CO<sub>2</sub> レーザー加熱装置と、CO<sub>2</sub> レーザーの加熱対象物

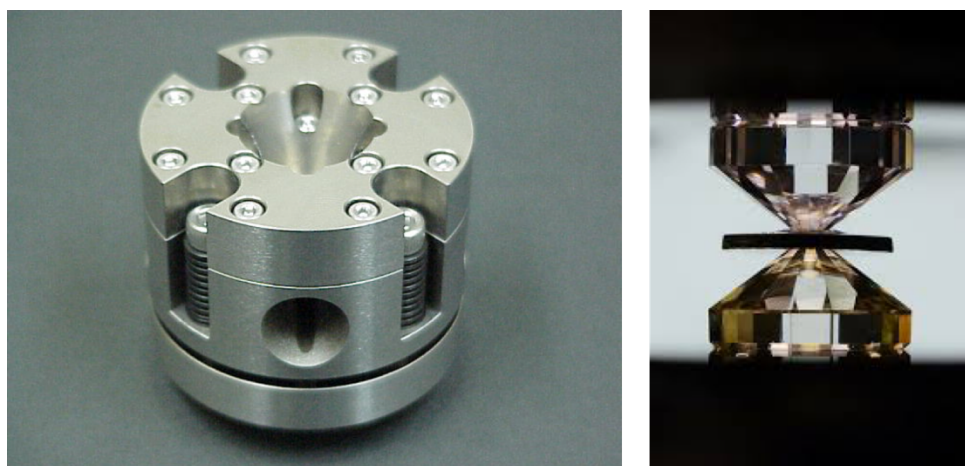


図 4. ダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置

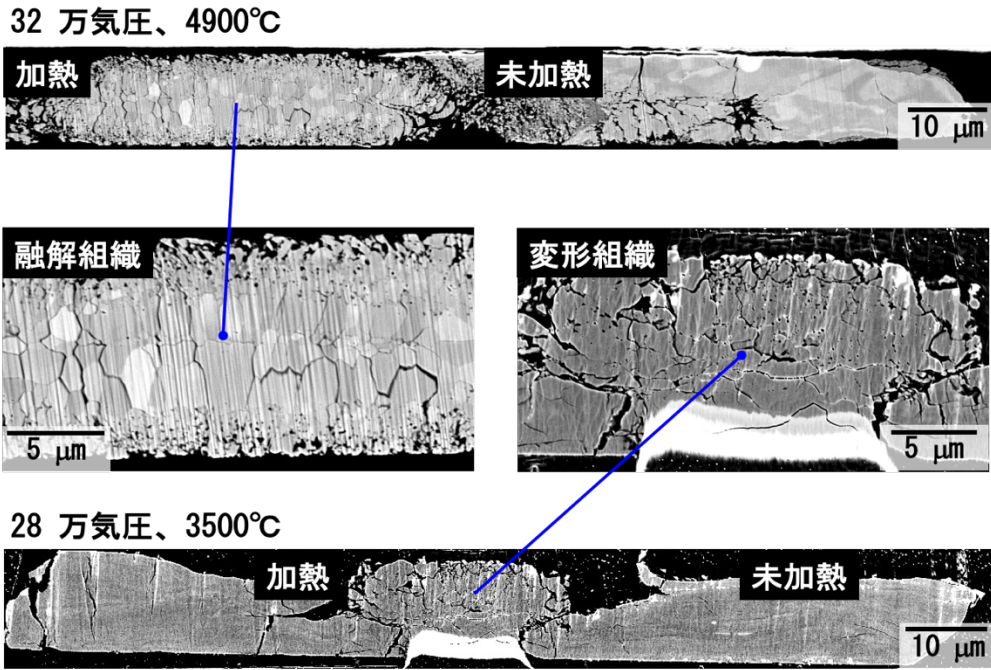


図 5. ペリクレス回収試料断面の走査型電子顕微鏡像

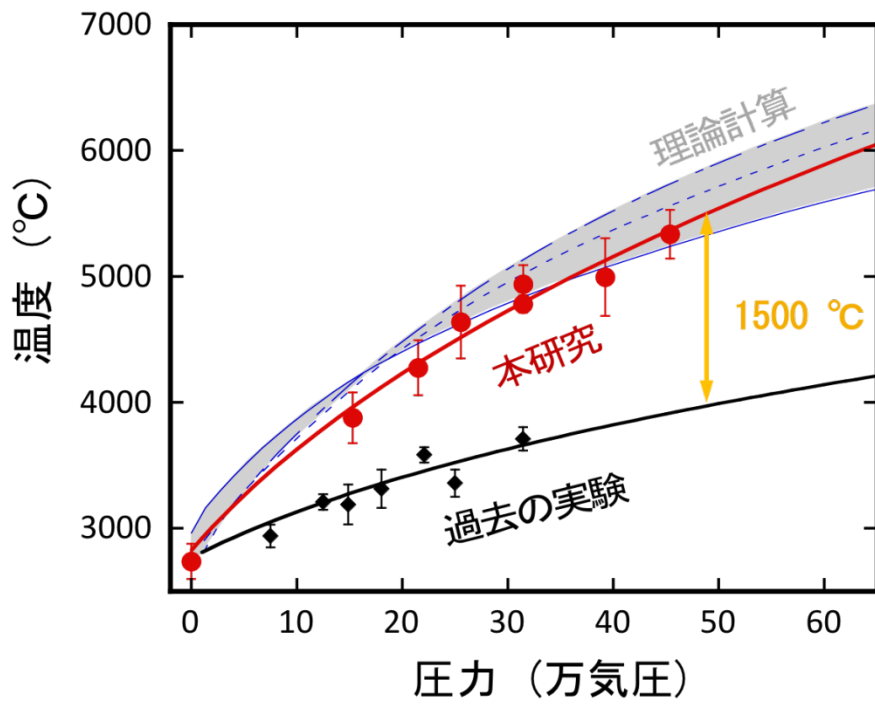


図 6. ペリクレスの融点計測結果

## 【用語説明】

### (※1) ダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置 (DAC)

底面が平らなダイヤモンドを向かい合わせに配置して高圧力を発生する装置。地球中心圧力(~365 万気圧)を超える圧力まで発生でき、地球を含む惑星内部の圧力環境の再現、物質の合成などに使用される。

### (※2) CO<sub>2</sub>レーザー

気体の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を媒質に使った 10.6 $\mu$ m を中心とする波長を持つレーザー。高圧実験でよく用いられる YAG レーザーとは異なり、珪酸塩鉱物、酸化鉱物、セラミックス、ガラス、氷、有機化合物など、多くの物質を効率的に加熱できる特徴がある。本研究では、これと DAC を組み合わせ、試料を両面から加熱する「CO<sub>2</sub> レーザー両面加熱システム」を世界で初めて構築し、高融点物質の融点決定を可能にした。

### (※3) マントルと核

地球は薄い地殻(深さ約 30 キロメートルまで)、マントル(深さ 30-2900 キロメートル)、核(2900-6400 キロメートル)の3層からできている。さらに、マントルは上部(30-660 キロメートル)と下部(660-2900 キロメートル)に、核は外核(2900-5100 キロメートル)と内核(5100-6400 キロメートル)に分類される。

### (※4) 融点

物質が固体から液体になり始める温度。氷の大気圧の融点は 0°C である。融点は圧力と共に変化するため、地球深部でのマントルの融点は大気圧中のそれとは異なる。

### (※5) マントル鉱物

マントルを構成する鉱物。下部マントルは主にブリッジマナイト((Mg,Fe)SiO<sub>3</sub>)、フェロペリクレス((Mg,Fe)O)、カルシウムペロフスカイト(CaSiO<sub>3</sub>)で構成されている。酸化マグネシウムは下部マントルで二番目に多く含まれるフェロペリクレスの鉄を除いた鉱物に該当する。

### (※6) マグマ

地球を構成する固体が溶融したもの。原始地球はその形成の最終段階で他の惑星と衝突して地球全体が高温になり、表層に至るまでマグマオーシャンが形成されたと考えられている。

### (※7) 電子顕微鏡

試料に電子を照射して拡大観察する顕微鏡。本研究では照射した電子ビームに対して試料から放出される二次電子を検出する電界放出型走査電子顕微鏡と、試料から透過する電子線を検出する透過型電子顕微鏡を用いて組織観察を行った。



### (※8) 塑性変形

固体物質が力を受けて変形する時、力がある限度より小さい場合は力を取り去ると元の形に戻る。この範囲を超えて変形を与えた時に、元の形に回復しなくなる変形を塑性変形という。以前の超高压下での融点決定実験では、試料部のこのような組成変形に基づく加熱効率の変化を融解と見誤っていた可能性が強いことが、本研究により明らかにされた。

#### 【掲載論文】

題名：Melting temperatures of MgO under high pressure by micro-texture analysis

邦訳：微細組織観察による高压下の MgO の融点

著者：木村友亮，大藤弘明，西真之，入船徹男

掲載誌：Nature Communications

電子版発行日：2017年6月5日 **(報道解禁：日本時間6月5日(月)18時)**

#### 【問い合わせ先】

愛媛大学広報室 E-mail: koho@stu.ehime-u.ac.jp, Tel : 089-927-9022

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター (GRC) Tel : 089-927-8197, Fax : 089-927-8167

木村友亮 (GRC 研究員 / 現東北大学・日本学術振興会特別研究員)

E-mail: tomoaki.kimura.c1@tohoku.ac.jp, Tel: 022-795-6687, 090-5137-4442

大藤弘明 (GRC 教授) E-mail: ohfuji@sci.ehime-u.ac.jp, Tel: 089-927-8611

西真之 (GRC 助教) E-mail: nishi@sci.ehime-u.ac.jp, Tel: 089-927-8153

入船徹男 (GRC 教授・センター長 / 東京工業大学地球生命研究所主任研究員)

E-mail: irifune@dpc.ehime-u.ac.jp, Tel: 089-927-9645, 080-3925-8848

#### 【関連分野の研究者】

東北大学 理学研究科地学専攻 地球惑星物質科学講座 教授 村上元彦

Email: motohiko@m.tohoku.ac.jp, Tel: 022-795-5789

東京大学 理学系研究科 附属地殻化学実験施設 教授 鍵裕之

Email: kagi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp Tel: 03-5841-7625