

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 年度～2011 年度

課題番号：22740344

研究課題名（和文）核マントル境界領域におけるマントル物質の融解関係と元素分配の決定

研究課題名（英文）Melting phase relation and element partitioning in mantle materials under the lowermost mantle condition

研究代表者

館野 繁彦 （TATENO SHIGEHICO）

東京工業大学・大学院理工学研究科・特任助教

研究者番号：30572903

研究成果の概要（和文）：マントル深部で起こり得る、溶融に伴う分化を議論するため、超高压下におけるマントル物質の融解相関係、および、鉱物-メルト間の元素分配を明らかにした。かんらん岩においては 110GPa までペロフスカイトが、さらに高压下ではポストペロフスカイトがリキダス相であることが分かった。部分溶融液との鉄の元素分配に明瞭な圧力依存性があり、深部マントル条件では、重力的に安定なメルトを作るために十分な鉄がメルトに溶け込むことが明らかになった。

研究成果の概要（英文）： Deep mantle melting has profound implications for chemical differentiation in early earth. Phase relation of peridotite was investigated to lowermost mantle condition. The results shows that liquidus phase changes from perovskite to post-perovskite at 110 GPa. Determined iron partitioning between perovskite/post-perovskite and partial melt indicates strong iron enrichment in melt, suggesting dense melt in the deep mantle conditions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：高温高压実験・ダイヤモンドアンビルセル・下部マントル

1. 研究開始当初の背景

形成初期の地球は、集積時の重力エネルギー

一の解放や消滅核種の放射壊変エネルギーにより地球表層から深部に向け、大規模な溶

融を被ったとされている。さらに、集積末期に起こったとされる火星サイズの天体の衝突(ジャイアントインパクト)により、地球が再び全溶融した可能性もある。その後、冷却に伴うマグマの結晶分化が起こり、現在のマントルの成層構造にいたる。その初期条件を理解する上で、超深部マントルにおける物質の融解現象の理解は重要である。また、近年マントル最下部の地震波観測により超低速度領域の存在が明らかになっている。メルトの存在がその起源である可能性が指摘されているが、その物質学的な制約はない。この圧力下におけるマントルの融解を理解することは、超低速度領域の起源の特定にも重要である。しかしながら、マルチアンビルプレスによる 33GPa までの融解実験よりも高圧におけるマントル物質の融解についての実験はこれまで全く行われていなかった。マントルの最下部におけるマントル物質の融点は、は 136GPa,4500K にもおおよとされており、このような超高压超高温の同時発生を実験により行うことは困難であった。

2. 研究の目的

代表的なマントル物質である、橄欖岩、および中央海嶺玄武岩についての、超高压下における融解実験を行う。融解相関係を明らかにし、さらにリキダス相鉱物と部分熔融液との間の元素分配を決定する。実験結果に基づき、マントルの化学的進化について議論する。

3. 研究の方法

ダイヤモンドアンビルセル装置を用いた高圧発生を行った。高圧下のかんらん岩に近赤外レーザー(Ybファイバーレーザー)を照射し、溶融させた。実験圧力範囲は 30GPa

から 136GPa までであり、下部マントル全域を網羅している。分析は、高温高压下のその場観察を大型放射光施設 SPring-8 にて行った。X線回折測定により、安定相の確認および融解の判定を行った。実験後、脱圧開放した試料の化学分析の前処理として、アルゴンイオンビームを用いて試料をイオン研磨した。得られた試料に対し、電界放出型電子銃が装備された電子線マイクロアナライザー

(FE-EPMA)を用いて化学分析を行った。組織観察から、試料の融解を確認した。リキダス相鉱物と部分熔融液の組成分析を行い、両相間の元素分配を決定した。

4. 研究成果

橄欖岩、中央海嶺玄武岩の両出発物質において、融解に特徴的な組織を観察した。FE-EPMAによる元素マッピングにより、各実験圧力条件における融解相関係を決定した。融解に特徴的な組織として、試料室内の温度勾配に従った相の分離が見られた。マルチアンビル型高圧発生装置の実験によると、これは温度勾配に沿った結晶の晶出順序を表しており、この組織から融解相関係を理解できる。33GPaにおける融解実験では、ペロフスカイトがリキダス相、続いてフェロペリクレイス、Caペロフスカイトが晶出した。加えて得られた化学組成もマルチアンビルによる同圧力の実験結果と調和的であった。このことは、ダイヤモンドアンビルセルを用いた本融解実験の妥当性を十分に示している。110GPaまでの結果は同様にリキダス相がペロフスカイトであった。より高圧下では、マグネシウムポストペロフスカイト、カルシウムペロフスカイト、フェロペリクレイスの順に結晶が晶出する融解相関係を得た。なお、このリキダス相の変化は放射光X線回折実験により確かめられている。マグマオーシャンから最初に結晶化する鉱物がペロフスカイト(またはポストペロフスカイト)であることが明らかに

なった。部分溶融液の分析から、共融点組成は圧力とともによりMgに富むことが分かった。また、部分溶融液とそれに接するリキダス相（マグネシウムペロフスカイトとマグネシウムポストペロフスカイト）の間の元素分配を決定した。特に、鉄の分配については明らかな圧力依存性が見られた(図1)。メルトは圧力とともに鉄に富み、ペロフスカイト/ポストペロフスカイトは鉄に枯渇する。鉄の分配は、両相の密度差をコントロールするパラメーターである。理論予測によると、超高压下のメルトと結晶の密度差は $MgSiO_3$ の同一化学組成においてはほぼ等しい。従って、鉄に富んだメルトは深部マントル条件において周囲の岩石よりも密度が大きいことを定性的に示している。地震波観測によると、マントルの底は融解しており、マグマの存在が示唆されている。本研究では、これを強く支持する結果が得られた。

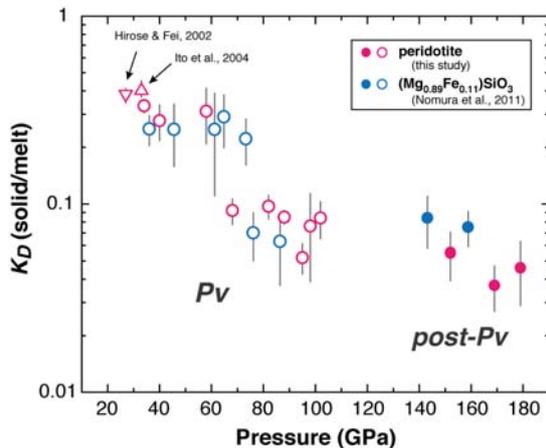


図1. ペロフスカイト/ポストペロフスカイト-メルト間のFe-Mg分配の圧力依存性

さらにナトリウムの分配係数も正の圧力依存性があることが明らかになった。すなわちナトリウムなどの元素が結晶により強く分配される。これは、メルトの構造が高压下ではより稠密になることが知られているため、結晶に元素がより分配されるようになると考えられる。

また、中央海嶺玄武岩についても136GPaまで融解関係を明らかにした。全マントル領域にわたってカルシウムペロフスカイトがリキ

ダス相として安定であることを確認した。以上の実験結果に基づき、マントル深部におけるメルトの重力的安定性とその組成について議論が可能になった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

(1) Nomura, R., Ozawa, H., Tateno, S., Herlund, J., Muto, S., Ishii, H., Hiraoka, N., Spin crossover and iron-rich silicate melt in the Earth's deep mantle. Nature 473, 199-202, 2011. (査読有)

(2) Tateno, S., Hirose, K., Ohishi, Y., Tatsumi, Y., The structure of iron in Earth's inner core. Science 330, 359-361, 2010. (査読有)

(3) Ozawa, H., Hirose, K., Tateno, S., Ohishi, Y., Phase transition boundary between B1 and B8 structures of FeO up to 210 GPa. Physics of the Earth and Planetary Interiors 179, 157-163, 2010. (査読有)

[学会発表](計5件)

(1) 舘野繁彦, The structure of iron-nickel alloy in Earth's inner core, Misasa-2012 and Geofluid-2, 2012/3/21, 三朝, 鳥取 (招待講演)

(2) 舘野繁彦, The structure of iron alloy at the Earth's inner core, 地球惑星科学連合大会, 2011/5/26, 幕張, 千葉 (招待講演)

(3) Tateno, S., Hirose, K., Ohishi, Y., Tatsumi, Y., The crystal structure of iron at the inner core, American Geophysical Union Fall Meeting,

2010.12.14, San Francisco, USA

(4) 館野繁彦, 廣瀬敬, 大石泰生, 地球中心核における鉄の結晶構造, 高圧力学会・高圧討論会, 2010.10.22, 仙台

(5) Tateno, S., Hirose, K., Sata, N., Ohishi, Y., HCP iron at the center of the Earth: A diamond-anvil cell study, The 20th general meeting of the International Mineralogical Association, 2010.8.26, Budapest, Hungary (invited)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

館野 繁彦

(TATENO SHIGEHICO)

東京工業大学・大学院理工学研究科

・特任助教

研究者番号：3 0 5 7 2 9 0 3