

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24654170

研究課題名(和文)珪酸塩メルトの超高压下複合分光測定から探る「深い」マグマオーシャンのダイナミクス

研究課題名(英文) Dynamics of deep magma ocean explored by the ultrahigh-pressure multiple spectroscopic data on silicate melts

研究代表者

村上 元彦 (Murakami, Motohiko)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50401542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地球深部条件におけるマグマの物性(構造、熱伝導率)をブリュアン散乱分光法やラマン散乱分光法、近赤外-紫外領域光吸収法等の分光学的手法と放射光を利用した測定を組み合わせることを目的として研究を行った。まず、地球深部に相当する超高压力条件での、マグマの模擬物質の弾性波速度測定及び構造の情報を抽出するための測定システムを整備し、圧力100万気圧を越える条件での測定に成功した。また、光吸収測定では圧力80万気圧を越える条件で測定を行うことが可能となった。このシステムを利用して、マグマの模擬物質の構造が100万気圧を越えて超高密度化し、熱伝導率が劇的に減少することを発見した。

研究成果の概要(英文)：We have conducted the high-pressure Brillouin scattering and Raman scattering measurements on silicate glasses to extract the physical properties of silicate magmas such as its structure and thermal conductivity combined with synchrotron facility. Using newly developed measurement system for sound velocity and structural data, we succeeded to measure the sound velocity and Raman scattering data above 100 GPa, and the optical absorption data above 80 GPa. The results demonstrated that the silicate glasses as the analog of silicate melts drastically densified above 100 GPa, and the radiative thermal conductivity significantly decreased with pressure.

研究分野：超高压力実験

キーワード：地球深部

1. 研究開始当初の背景

今から四十数億年前、極低温の宇宙空間の中に、高温のマグマに覆われた火の玉のような原始地球が誕生して以来、地球は現在に至るまで冷却の歴史をたどってきました。この冷却過程において、地球深部に蓄えられた熱は、種々の熱伝達機構（伝導、対流、放射）を通して地球の表層へ伝えられ、私達が地表で目にするプレート運動や大陸の形成、あるいは火山活動等の様々な地質学的な現象を引き起こす原動力となっているといえます。したがって、この冷却の歴史を理解すること、つまり地球内部の熱が地表へどのように輸送してきたかを明らかにすることは、地球の進化を解明することにつながるといえます。約 6,400 km の半径を有する地球の内部は主として、マントルと呼ばれる岩石層と、鉄を主成分とする核と呼ばれる層に分けられた成層構造を成していると考えられています。そして、地表から約 2,900 km の深さに位置するマントルの底は、岩石層である固体のマントルの鉱物と液体の鉄を主成分とする外核が接する「物質」の境界面であるとともに、高温の核から低温の岩石相へと熱が伝わる地球最大の「熱」の境界面でもあります。したがって、マントルと核の境界面での熱の伝わり方を明らかにすることは、地球のマントルの対流、ひいては地表の火山活動の根源を理解するうえで大変重要です。深さ約 2,900 km にある地球のマントルの底は、私達が直接手にすることも目にもすることもできない謎に満ちた世界です。しかし、地震の発生に伴って地球内部を伝わっていく波（地震波）の速度分布を詳細に解析することで、マントル底部の構造や物性に関する知見が徐々に得られつつあります。そして、地球のマントルの底には、地震波の伝わる速さが異常に遅くなる領域（地震波超低速度層）がわずかにあり、それらは主に南太平洋とアフリカ大陸の真下に多く観測されています（図 1）。



図 1 地震波低速度層の分布（赤色）

地震波の速度が周囲より遅くなる要因は、1) 非常に「重い」ものが存在する、2) 非常に「柔らかい」ものが存在する、あるいは、3) 非常に「熱い」ものが存在する、などが考えられます。このような条件を最も良く満たすものとして、マントルの底には「重いマ

グマ」が存在しているというモデルが近年提唱されています。また、この重いマグマは、高温のマントルの底に現在に至るまで固化せずになんか残っている四十数億年前の地球誕生時に地球を覆っていたマグマの海（マグマオーシャン）の名残とも考えられています。

一方、近年の地震学的な観測によると、南太平洋とアフリカ大陸の下には、核からの熱を受けて高温になったマントル成分が「スーパーホットブルーム」と呼ばれる巨大な上昇流として存在していることが知られています。このスーパーホットブルームは、地表での火山活動へ非常に大きな影響を与えており、アフリカ大陸の大地溝帯（グレート・リフト・バレー）の形成や、南太平洋に点在するハワイ・タヒチ・サモア諸島等のホットスポットと呼ばれる火山活動の源であると考えられています（図 2）。

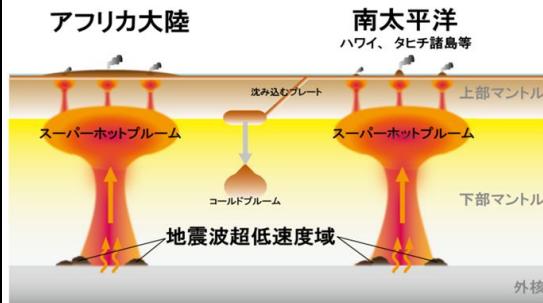


図 2 地球内部の対流様式概念図

このようなマントルと核の境界面での熱の輸送機構解明の重要性から、マントル底部に存在する鉱物相、あるいは外核の構成物質である鉄のマントル深部条件での熱の伝達機構に関する研究がこれまで数多く行われてきました。しかし、マントル底部にごくわずかに存在するとされる重いマグマの熱の伝わり方に注目した研究はこれまでなく、前述したマントル底部の重いマグマの存在と、スーパーホットブルームの発生の関係を説明するモデルの提案には至っていませんでした。

2. 研究の目的

上記した問題を解決するために本研究では、地球深部条件におけるマグマの物性（構造、熱伝導率）をブリュアン散乱分光法やラマン散乱分光法、近赤外-紫外領域光吸収法等の分光学的手法と放射光を利用した測定を組み合わせることを目的としました。

3. 研究の方法

このような問題を明らかにするために、私達の研究グループは、マントル底部に存在するとされる重いマグマと同じ成分（ケイ素、マグネシウム、鉄等の酸化物）を持つガラス物質をマグマの模擬試料として、「ダイヤモンドアンビルセル」という超高压力発生装置（図 3）を用いて、マントル深部に相当する 80 万気圧までの超高压力条件における再

現実験を行いました。

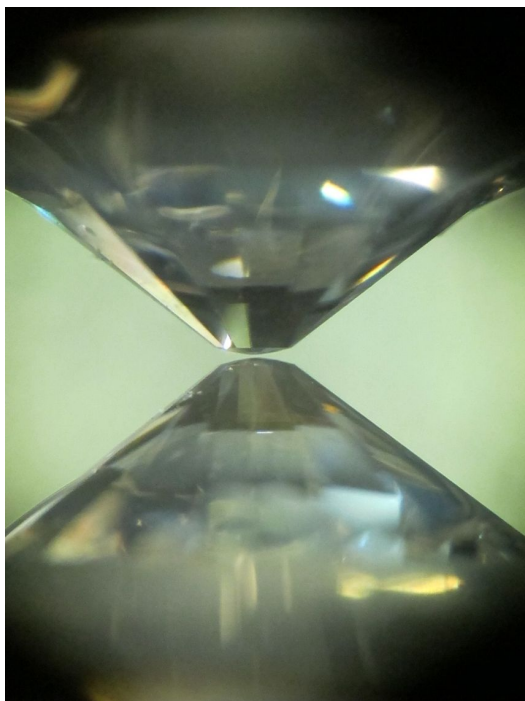


図3 ダイヤモンドアンビルセル装置の中心部の写真、先端径約 300 μ 以下

4. 研究成果

その結果、圧力を上げるにしたがって試料の色が著しく「暗く」なることを発見しました(図4)。

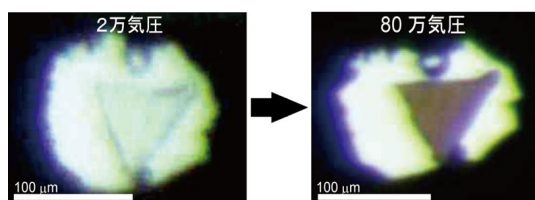


図4 高压条件での試料の色の变化

さらに、大型放射光施設 SPring-8 の日本原子力研究開発機構ビームライン (BL11XU) における放射光メスbauer分光測定を行った結果、圧力の増加にしたがって試料中に含まれる鉄の電子状態が緩やかに変化し、これが深さとともに徐々に試料が「暗く」なっていく原因であることを突き止めました。物質が持つ色は、物質の熱の伝わり方(放射熱伝導率)を反映する指標であり、一般に、物質の色が暗くなればなるほど熱は伝わりにくくなると考えられます。そして、本実験結果から予想されるマントル底部における重いマグマの放射熱伝導率は、周囲を取り囲むマントルの鉱物よりも5倍から25倍程度小さく、熱が伝わりにくくなることが明

らかになりました。周囲よりも熱を伝えにくい重くて「暗い」マグマ(「ダークマグマ」)は、核からマントルへの均質な熱の輸送を妨げ、たとえその存在がごくわずかであっても、核とマントルの境界での熱流量に著しい不均質構造をもたらすものと予想されます。その結果、このマントルに生ずる大きな熱流量の差によって、マントル底部に根っこを持つスーパーホットプルームが生み出されるものと考えられます(図5)。

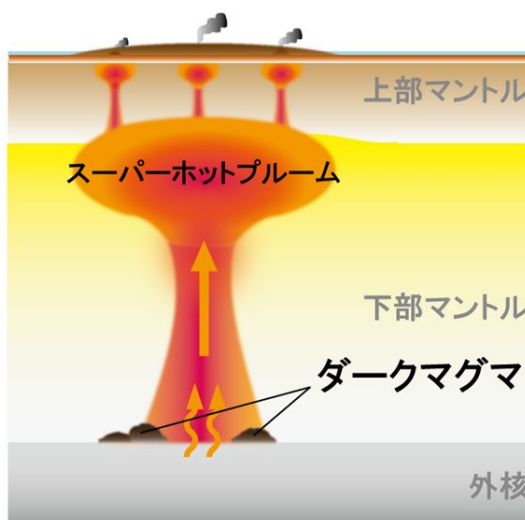


図5 地球マントル底部でマントル上昇流発生の鍵を握るダークマグマ

この仮説は、マントル底部での地震波超低速度層とスーパーホットプルームの発生という地球科学の二つの大きな謎に対して整合的な説明を与えるものであり、地球の進化史を理解するうえで、非常に重要な制約を与えると考えられます。

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 1 件)

M. Murakami, A. F. Goncharov, N. Hirao, R. Masuda, T. Mitsui, S-M. Thomas, C. R. Bina. High-pressure radiative conductivity of dense silicate glasses with potential implications for dark-magmas. Nature Communications, 5:5428, (2014)
doi:10.1038/ncomms6428 査読有

〔学会発表〕(計 1 件)

M. Murakami. Structure and optical absorption of silicate glasses under ultra-high pressures, SED12014, Kanagawa 8/8, 2014

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 元彦 (MURAKAMI, Motohiko)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：50401542