



東北大学

平成21年12月3日

報道機関 各位

東北大学大学院理学研究科

超高压力条件での SiO₂ ガラスの高密度化メカニズム解明 -地球深部に「重い」マグマの存在-

<概要>

東北大学大学院理学研究科の村上元彦准教授（比較固体惑星学講座）らは、200万気圧を超える極限的超高压力条件において SiO₂ ガラスの高精度弾性波速度測定に成功し、SiO₂ ガラスが圧力約 140 万気圧以上の条件でより高密度な構造に変化し、従来予想されていたよりもずっと「重く」なることを突き止めました。本実験は、四十数億年前の原始地球がマグマの海（マグマオーシャン）に覆われていた時代、マグマ（SiO₂ ガラス）が地球深部の超高压力条件において、どのようなメカニズムで高密度化を達成していくかを模擬したもので、圧力約 140 万気圧に相当する地下約 3000km もの深さ（現在の地球外核—マントル境界の深さに相当）以深においてマグマの構造は著しく高密度になり、地球深部において重力的に安定な非常に「重い」マグマが存在していたことを強く示唆する結果となりました。本結果は、原始地球のマグマオーシャンからの地球の分化の歴史に非常に大きな制約を与えるとともに、今後、超高压力条件における新物質合成の開拓にもつながることが期待されます。

今回の研究成果は、米国物理学会発行の学術雑誌「Physical Review Letters」に受理され、オンライン版で近日中に公開されます。本研究は、イリノイ大学地学科の Jay D. Bass 教授と共同で行われ、文部科学省科学研究費補助金 若手研究（A）（研究代表者：村上元彦、課題番号 18684029）、挑戦的萌芽研究（研究代表者：村上元彦、課題番号 21654075）、及び東北大学グローバルCOEプログラム（変動地球惑星学の統合教育研究拠点）の支援を受けました。

<研究の背景>

四十数億年前の原始地球は全地球が一旦熔融するほどの高温状態にあり、マグマの海（マグマオーシャン）に覆われていたと考えられています。またマグマオーシャンからの冷却の歴史（分化）のなかで、鉄などの重い物質は重力的に深部へ沈降し核を形成し、また軽い岩石層はマントルを形成したと考えられています。従って、マグマオーシャン中の物質の密度関係（重い・軽い）を明らかにすることは地球の層構造（図参照）を決定する上で非常に重要です。とりわけマグマ自体の構造や密度は物質の浮沈を決定するために必要不可欠な情報となります。しかしながら、地球深部は超高压力の世界であり、地球中心部は深さ約 6400km、圧力約 360 万気圧にも及び、そのような極限的な超高压力条件においてマグマの構造や密度を直接測定することはこれまで非常に困難でした。このような実験的な困難さから、マグマオーシャンからの物質分化の理解はほとんど進んでいませんでした。

<研究内容と成果>

本研究では、液体であるマグマと同様に原子配列に秩序を持たず、またマグマの最も単純な成分を有する SiO₂ ガラスをマグマの模擬物質として用い、地球深部に相当する超高压力条件（圧力 207 万気圧まで）における弾性波速度を決定しました。物質中を波が伝わる速さ（弾性波速度）は物質の物性（密度・構造・硬さ）を強く反映しているため、圧力の上昇に伴った弾性波速度の変化を詳細に測定することで、SiO₂ ガラスの構造の変化を明らかにすることが可能となります。本研究では、近年、村上准教授らが開発し、超高压力条件での弾性波速度測定を可能にした超高压下ブリルアン散乱分光法という手法を用いて測定を行いました。測定用試料（SiO₂ ガラス）は先端を平坦にカットした対向する 2 つの単結晶ダイヤモンドの間に封入し（図参照）、圧縮することで地球深部に相当する超高压力を発生させ、超高压力状態の試料にレーザー光を照射し、試料を通過した散乱光の微少な波長の変調を測定することによって、試料の弾性波速度を決定しました。測定の結果、圧力約 140 万気圧で約 2 倍以上の急激な速度上昇率の増加を確認し、207 万気圧までほぼ線形に速度が上昇することを確認しました。従来、SiO₂ ガラスの構造は約 40 万気圧以上で Si-O 配位数が 6 となり、より高压条件でも配位数は安定すると考えられていましたが、今回観察された急激な速度上昇は、この予想に反し、Si-O 配位数の上昇（6 以上）を伴った構造変化である可能性が高いことを示しました。

<波及効果と今後の展開>

この研究成果は、圧力約 140 万気圧に相当する地下約 3000km もの深さ（現在の地球外核—マントル境界の深さに相当）以深においてマグマの構造が著しく高密度になり、地球深部において重力的に安定な非常に「重い」マグマが存在すること強く示唆するものとなりました。この結果は原始地球のマグマオーシャンからの地球の分化の歴史に非常に大きな制約を与えるものと言えるでしょう。また現在の地球の核—マントル境界は深さ約 3000km であり、最近の地震波の観測では核—マントル境界に地震波が急激に遅くなる領域が存在することが指摘され、核—マントル境界におけるマグマの存在が活発に議論されています。今回の研究結果から、高密度化が出現する圧力はまさに核—マントル境界の圧力に相当しており、マグマオーシャン以来、重力的に安定な高密度マグマが現在の地球の核—マントル境界に残存しているという、近年提唱された「高密度マグマオーシャン」仮説の議論にも大きく影響することが示唆されます。また超高压力条件でのガラス物質の高密度化現象の発見は、今後、地球科学のみならず、超高压力条件における新物質合成の開拓などへの応用も期待されます。

<論文題目および著者名>

掲載論文：Spectroscopic evidence for ultrahigh-pressure polymorphism in SiO₂ glass

著者：Motohiko Murakami¹ & Jay D. Bass²

1) 東北大学大学院理学研究科地学専攻

2) イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校地学科

投稿誌：Physical Review Letters (2009年11月30日受理)

(お問い合わせ先)

東北大学大学院理学研究科地学専攻 比較固体惑星学講座

准教授 村上元彦

電話番号：022-795-5789 (or 6662)

電子メール：motohiko@m.tains.tohoku.ac.jp

ホームページ：<http://www.ganko.tohoku.ac.jp/bussei/member/Murakami>

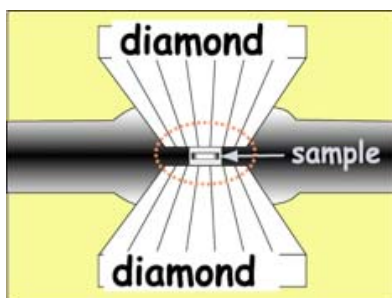
参照図

現在の地球の層構造の模式図（圧力と深さの関係）



ダイヤモンドアンビルセル(DAC)高压発生装置と超高压状態の試料 (SiO₂ ガラス) の図

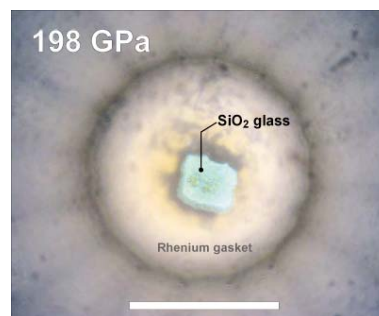
[ダイヤモンドは最も硬い物質であるとともに広い電磁波領域 (X線、赤外光、可視光) において透明であるという特徴を持っています。この“透明”なダイヤモンドの窓を通して我々は超高压力状態の物質の様々な表情 (物性) を捉えることができます。]



ダイヤモンドアンビルセル高压発生装置の概念図



ダイヤモンドアンビルセル高压発生装置の全体図



198 万気圧の超高压力状態の試料の写真。スケールは 100 ミクロン 試料のサイズは約 30-40 ミクロン