

岡山大学記者クラブ 御中

令和4年11月30日

岡山大学

地球の最深部にマグマは眠っているのか？ ～触れるマグマ＝ガラスの超高压実験からの知見～

◆発表のポイント

- ・ 原始地球の大部分はマグマに覆われていたと考えられているため、マグマの性質を知ることは地球の成り立ちを知る手掛かりとなります。
- ・ 鉄を含むガラスは高温のマグマを凍結した、言うなれば触れられるマグマであり、鉄を含むガラスを研究することで、マグマの性質を理解することができます。
- ・ 鉄を含むガラスが地球深部で重くなることから、地球のマントル最深部にマグマが眠っている可能性があります。

一般的にマグマは岩石よりも軽く、火山噴火などで地表へと上昇してきます。近年、地球深部でマグマが岩石よりも重くなるのではないかとという研究報告がなされました。地球内部は深くなるにしたがって圧力が増加しますが、地球のどの深さ（＝圧力）でマグマが重くなるのかは分かっていません。マグマが岩石よりも重くなる深さが地球最深部よりも深い条件でしか起きなければ、マグマは浮いてきます。逆に、それよりも浅い部分で起きるのならば、地球が誕生した太古の昔から、マグマが地球の最深部に眠っている可能性があります。実際に高温のマグマを扱うのは難しいことから、触れられるマグマといえる鉄を含むガラスの超高压実験を行いました。その結果、鉄を含むガラスの構造が地球最深部よりも低い圧力（浅い深さ）で変化し、密度が高くなる（重くなる）ことが示唆されました。これによって地球の最深部にマグマが溜まっている可能性が高まりました。誕生初期、地球の直径の3分の1近くがマグマの海に覆われていたと考えられています。地球最深部のマグマはこの名残と考えられ、超高压下でのガラスの性質を知ることは、地球がどのようにできあがってきたかを知る手掛かりとなります。

本研究成果は、令和4年6月29日、米国の科学雑誌「*Geophysical Research Letters*」に掲載されました。

■発表内容

<導入>

皆さんは、液体と固体、どちらが沈んでいくと考えますか？ある人はキンキンに冷えたジュースに浮かぶ氷を、またある人は温かいコーヒーに入れた角砂糖が沈んでいく様子をイメージされるかもしれませんが、もちろん、どちらも正しく、どの物質が沈むかは、基本的には両者の密度の大小が関係します。地球の成り立ちを知るためには、この浮き沈みの関係を知ることが重要になってきます（図1）。

地球の中にある液体といえば、火山噴火の際のマグマを真っ先に思い出し、地球の深部はドロドロのマグマで満たされていると想像する方が多いかと思えます。しかし、実際には硬い岩石が詰ま

PRESS RELEASE

っており、現在の地球においてマグマはマイナーな存在です。一方、40数億年前には、地球の大部分はマグマの海（マグマオーシャン^{注1}）に覆われていたと考えられており、時間と共に冷え固まって現在の姿になっていると考えられています。マグマオーシャンの中では、密度が大きいものは下に沈み、密度が小さいものは上に浮いてくることになります。マグマが火山から噴出するように、一般的に地表付近ではマグマは周囲の岩石よりも小さい密度を持ちます。

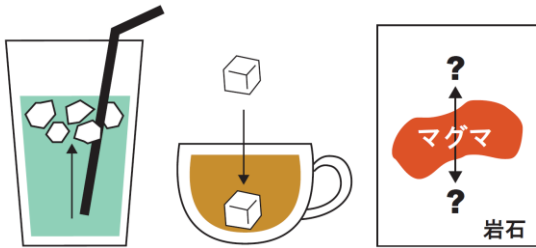


図1. ジュースと氷、コーヒーと角砂糖、マグマと岩石の浮き沈みのイメージ図。

<背景>

近年、この密度関係が地球深部で逆転し、マグマの方が岩石よりも重くなるとの報告がなされました。実際、地震波速度観測データによると、地球の最深部に地震波速度の異常な部分が存在することが分かっており、周囲の岩石とは違う鉱物もしくはマグマが存在することでこの異常が説明できるとされています。マグマは地震波速度異常の原因として有力視されていますが、本当にマグマが安定的に存在できるのか否かは分かっていません。地球の深部というのは超高压高温の世界で、深くなるにしたがって圧力が増加していきます。この密度の逆転は、マグマが圧力をかけると縮みやすい（圧縮されやすい）性質を持っていることに由来します。しかし、この密度の逆転が起こる圧力（＝深さ）については明らかになっていません。地球の岩石層（マントル^{注2}）は深さ2900 km、圧力135万気圧^{注3}であり（図2）、密度の逆転がマントルの最高圧力である135万気圧よりも低い圧力で起きていればマグマは沈み（マントル最深部にマグマが溜まる）、135万気圧よりも高い圧力で起こるならばマグマは浮いてしまう（マントル最深部にマグマは存在できない）、ということになります。

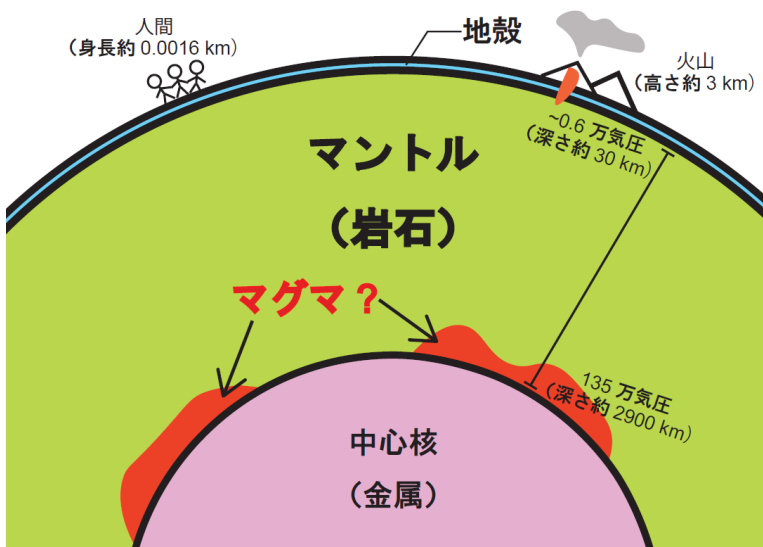


図2. 地球深部の断面図。人間や火山はマントルに比べてかなり大きく描いています。

<研究内容、業績>

マントル最深部を再現し、そこに存在するであろう物質のふるまいを観察するには超高温高温実験が必要となります。一方で、超高温高压を安定的に発生させることはそう簡単ではありません。高压を発生させるには周囲を硬い物質（ダイヤモンドや超硬合金）で取り囲み、力を加えなければなりません。特に高温のマグマは周りの物質と反応してしまい、圧力が保持できないなどの技術的な困難さが伴います。そこで本研究ではマグマを模したガラスを研究対象とし、超高温実験を行いました。

ガラスは高温下にあるマグマをそのまま常温でフリーズ（凍結）させたもので、ガラスは私たちが直接接触することができるマグマであるとも言えます。そのため、ガラスの超高温下でのふるまいを観察することで、マグマの性質を知ることができます。マグマには鉄成分が含まれているため、鉄を含むガラスの超高温下での弾性波速度^{注4}測定実験を行いました。その結果、マントル最深部の圧力で、弾性波速度の圧力に対するトレンドの変化が見られました。このトレンド変化は、ガラスの構造が変わり、密度が高くなることに由来します。また鉄が入ることで、鉄が入っていないガラスと比べて、より低圧の 106 万気圧でトレンド変化が起こることが明らかになりました（図3）。この値がマントルの底の圧力 135 万気圧よりもかなり低いことから、マグマがマントルの最深部に存在することを矛盾なく説明することができます。この結果は令和 4 年 6 月 29 日、米国の科学雑誌「*Geophysical Research Letters*」に掲載されました。

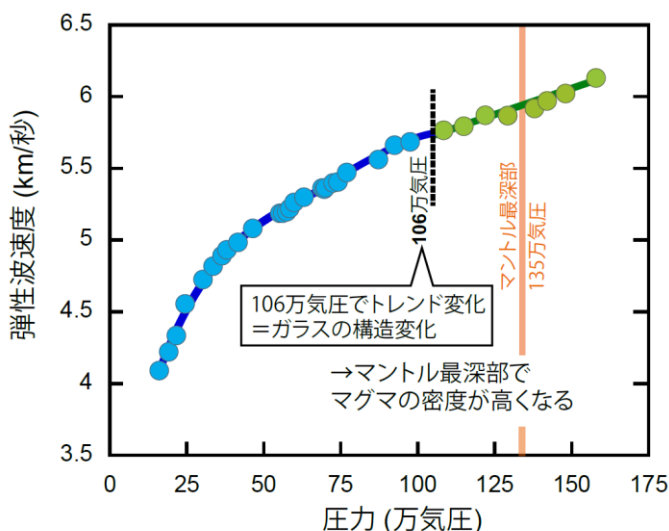


図3. 鉄成分を含むガラスの弾性波速度が圧力に対してどのように変化するか調べた図。

<展望>

原始地球の大規模が、熔解したマグマオーシャンを経て、地球が冷え固まって形成されたとすれば、最下部マントルに存在するかもしれないマグマは、マグマオーシャンの名残である可能性があります。ゆえに、超高温実験でマグマやそのマグマを模したガラスの性質を調べていくことは、地球がどのようにできあがっていったかを知る重要な手掛かりとなります。地球最深部にマグマが存在するか否かは、地球内部における未解決問題の一つにすぎません。実際、マントルにどんな岩石

PRESS RELEASE

が詰まっているのかも、細かくは分かっていません。火山や地震の震源のもっと下には、まだ拓くべき大きなフロンティアが広がっています。今、皆さんが腰かけている地面の下に何が眠っているのか、私を含め、人類はまだ知らないのです。

<略歴>

1987年生まれ。東北大学理学部卒業、東北大学大学院理学研究科博士課程修了。博士（理学）。専門分野は地球惑星科学。東京大学大学院理学系研究科、スイス連邦工科大学チューリッヒ校研究員を経て現職。

■補足・用語説明

（注1）マグマオーシャン：惑星形成初期に表面を覆っていたとされるマグマの海。近年の研究で、地球は現在のマントル^{注2}最深部までマグマオーシャンに覆われていたと報告されています。

（注2）マントル：地球を含む惑星・月などの衛星の深部の岩石層。地球の場合は地殻の下（約30 km）から中心核の上（約2900 km）に存在し、地球の大部分（地球の体積の約8割）を占めます。

（注3）大気の圧力＝1気圧。圧力釜の内部圧力は2気圧程度まで、世界一深い海であるマリアナ海溝では約1千気圧。

（注4）弾性波速度：物質の中を伝搬する振動の波の速度。この速度は密度などに依存します。

■論文情報

論文名：Acoustic Wave Velocities of Ferrous-Bearing MgSiO₃ Glass up to 158 GPa With Implications for Dense Silicate Melts at the Base of the Earth's Mantle

掲載紙：Geophysical Research Letters

著者：Mashino, I., Murakami, M., Kitao, S., Mitsui, T., Masuda, R., Seto, M.

DOI：10.1029/2022GL098279

<お問い合わせ>

岡山大学 惑星物質研究所

特任助教 増野 いづみ

（電話番号）0858-43-3761