

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月28日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23740381

研究課題名（和文） コマチアイトからみたマンテルプルームの脱ガス史—スピネル中メルト包有物からの制約

研究課題名（英文） Degassing history of mantle plume: inferred from melt inclusions in Cr-spinel of komatiites

研究代表者

清水 健二 (SHIMIZU KENJI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・研究員

研究者番号：30420491

研究成果の概要（和文）：マンテルの脱ガス史の解明のため、27億年前及び35億年前に産するコマチアイトに含まれるクロムスピネル中のメルト包有物の研究を試みた。しかしながら、これらに含まれるメルト包有物は非常に小さく、用いる予定であったウッズホール海洋学研究所の2次イオン質量分析計(SIMS-1280)では分析不可能であった。今後は海洋研究開発機構に新規導入された Nano-SIMS を用いてこれらのメルト包有物を分析する予定である。本研究に関連する3つの論文を国際誌に掲載した。

研究成果の概要（英文）：In order to constrain degassing history of the Earth's mantle, I conducted studies on melt inclusions within Cr-spinel from 2.7 Ga and 3.5 Ga komatiite. However, those melt inclusions are not large enough to analyze with the secondary ion micro spectrometry (SIMS-1280) at Woods Hole Oceanographic Institution. I will analyze them with newly installed Nano-SIMS at JAMSTEC. Three peer review papers which are related to this study are published.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：火成岩地球化学

科研費の分科・細目：数物系科学・地球惑星科学・地質学

キーワード：メルト包有物、コマチアイト、揮発性成分

1. 研究開始当初の背景

マグマの生成条件はその揮発性成分の含有量により、大きく変わることが実験岩石学により示唆されている。また、密度の高い塩基性・超塩基性マグマを地表に噴出させる原動力として、地殻中でのマグマ中の二酸化炭素や硫黄の脱ガス作用が挙げられる。環境変動イベントと巨大火山岩体が同時代であることから、噴火に伴う火山ガスの大量放出が大気海洋組成に影響を及ぼし地球規模の表層環境変動がもたらされたという可能性も指摘されている。よって、地球史を通じてのマンテルの熱的物質的変動や大気海洋組成の変動に束縛条件を与える上で、これらの変動

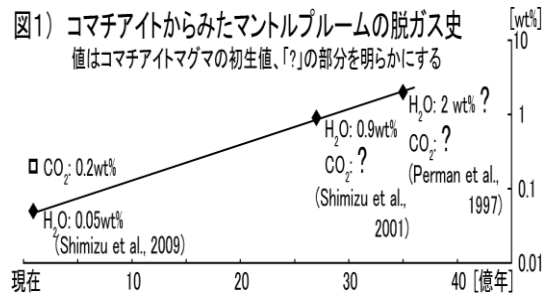
幅が最も大きいと思われる太古代の火山岩の揮発性物質の含有量を見積もることは必要不可欠である。最も適した試料は超塩基性火山岩であるコマチアイトである。なぜならこれらは太古代緑色岩帯に主に産し、噴出した地球深部起源の未分化の火山岩なので各年代のマンテルプルームの情報を直接的に取り出すのに有効だからである。しかし、これらのマグマが無水か含水かさえ論争中で、地球史を通じてマンテル中の揮発性成分が減っているのか増えているのかさえない。なぜなら、マグマ中の揮発性成分の定量的な見積もりは困難を極める。というのも揮発性成分は高圧でないとマグマ中に溶

け込まず、地表もしくは浅海底で噴出した場合、脱ガスしてしまい初生値からは大きく異なってしまう。また、ごく僅かでも変質の影響があると見積もれない。有効な手法として深海底で噴出し、その場で回収した火山ガラスや鉱物が成長するときに取り込まれたメルト、特にカンラン石中のメルト包有物の揮発性成分の2次イオン質量分析計(SIMS)を用いた局所分析が挙げられる。実際にこれらの定量分析を精度良く、同時に行える研究室は世界でもごく僅か(ワシントンカーネギー研究所、ウッズホール海洋研究所など)である。しかしながらこの分析手段を用いても実際に未脱ガスマグマの揮発性成分の見積もりの成功例はごく最近の火山岩に関しても稀である。特にマグマ中の二酸化炭素は低圧ではほとんど溶け込まないので、それを直接分析して見積もることはほぼ不可能であった。研究代表者はクロムスピネルという火山岩に微量に含まれる酸化鉱物に注目した。クロムスピネルはマグマの結晶分化において最も早期から晶出する鉱物であり、後期には晶出しにくい。つまり、クロムスピネルは初期のマグマの情報を保持している可能性が高い。さらにクロムスピネルは結晶構造が密で硬く、変質の影響を受けにくく、メルトに含まれる揮発性物質のカプセルとして優れているということを研究代表者は提唱した。実際に27億年前のジンバブエ産コマチアイトに含まれるカンラン石中、クロムスピネル中のメルト包有物から見積もった初生マグマの含水量を較べると5倍程度クロムスピネルのものの方が多くなり、27億年前のコマチアイトは含水条件下で生成し、超高温を必要としないということを示唆した。

また、研究代表者は本研究をコロンビアの9千万年前のゴルゴナ島火山岩に応用し、ウッズホール海洋研究所のSIMSを用いてメルト包有物の揮発性成分の分析を行った。その結果、クロムスピネル中のメルト包有物からカンラン石のメルト中の二酸化炭素の最高報告濃度をはるかに上回るより未脱ガスのメルトを発見した。クロムスピネル、カンラン石とは異なりメルトを包有時の圧力を保持し、二酸化炭素を非常に多く含むものがあるものもあり、未脱ガスに近いメルトを保持している可能性がある。この結果などから9千万年前のコマチアイトは比較的無水で二酸化炭素に富むマントル起源であることを示唆した。

2. 研究の目的

研究代表者は初生マグマに含まれる揮発性成分を見積もるのに非常に有効なクロムスピネルのメルト包有物という試料を見出し、その試料準備過程を確立し、分析法を学んで



きた。本研究手法を地球史において鍵となる太古代に噴出した地球深部起源と思われる2つの火山岩群に応用して、それぞれのマグマの揮発性成分(水、二酸化炭素、硫黄、フッ素、塩素)の初生値を見積もり、これまでの結果と併せて地球深部からのマントルブルームの水、二酸化炭素の脱ガス史について制約を与えることを目的とする(図1)。それら年代(と岩石)は大陸地殻が多く形成された35億年前(南アフリカ、バーバートン緑色岩帯のコマチアイト)、地球史上最も火成活動が活発だったと思われる27億年前(ジンバブエ、ベリングウェ緑色岩帯のコマチアイト)である。過去の研究ではH₂OのみでCO₂のデータがないもの、H₂Oも岩石学的に見積もった直接的でないものなので、これらに応用し、(図1)で示す「?」の部分をはっきりさせる。

3. 研究の方法

本研究は27億年前と35億年前のコマチアイトに含まれるクロムスピネル中のメルト包有物の揮発性成分、主要、微量成分を分析し、これまでに行った研究結果と併せて、マントルブルームの脱ガス史に関して制約を与えるというものである。本研究で用いる岩石試料は、すでに採取・選定してあるので、研究期間中に海洋研究開発機構にて大量にクロムスピネルを分離して、焼き鈍し実験を行い、メルト包有物が均質化する適切な温度を見つける。均質化したメルト包有物の揮発性成分と主要成分、微量元素組成をそれぞれ、ウッズホール海洋研究所の二次イオン質量分析計(SIMS)と海洋研究開発機構の電子線マイクロ分析計(EPMA)、レーザー照射型誘導結合プラズマ質量分析計(LA-ICP-MS)を用いて順に分析し、データをまとめ、公表する。なお、SIMS分析に用いる標準試料は自前で用意する。SIMSの分析では、マトリックスを合わせ想定される濃度の付近の標準試料が必要である)。しかしながら、想定される揮発性成分の濃度の範囲は広く(例えば H₂O=0.01-2

wt%, CO₂=100-4000ppm)、既存のスタンダードガラスのみでは正確な濃度測定は困難である。そこで、これまでに様々な揮発性成分濃度の均質なスタンダードガラスを東京工業大学のピストンシリンダーで作成した。これらの水、二酸化炭素、フッ素、塩素、硫黄の濃度をガラスを粉末化して定量分析する。水、二酸化炭素に関しては真空中で粉末を酸化剤(酸化銅 II)とともに燃焼してマノメトリーを用いて定量分析する。フッ素、塩素、硫黄に関しては、加水熱分解法を用いてこれらの成分を回収し、イオンクロマトグラフを用いて定量分析する。前処理、分析に必要な装置は海洋研究開発機構にあり、手法は研究代表者が確立しつつあるのでそれを応用する。

4. 研究成果

(1) 本研究で明らかになった問題点

メルト包有物を均質化した際にホストのクロムスピネルを通じて水(水素)が逃げることが分かった。焼き鈍し時間が短時間(10分以内)のメルト包有物でも、焼き鈍すことをしなかったメルト包有物の含水量のおよそ半分程度になってしまっていた。

また、コマチアイトの含まれるクロムスピネル中のメルト包有物は最大でも15 μ m程度と非常に小さく、SIMS-1280で分析可能な30 μ m以上のメルト包有物を見つけることができなかった。

東京工業大学のピストンシリンダーを用いて作成したスタンダードガラスをFTIR(フーリエ変換型赤外分光光度計)を用いて水、二酸化炭素濃度の均質性チェックを行った。本分析の解像度である0.1mmスケールでは、揮発性成分の濃度において均質であったが、SIMSの分析スケールでは(0.01mm)特に二酸化炭素に関して不均質なものもあった。

(2) 今後の解決法

急冷結晶が晶出しているメルト包有物でも、含水量の範囲は焼き鈍していないガラス質のメルト包有物と同様であることが分かった。今後はクロムスピネルを焼き鈍すことはせずに、分離したクロムスピネルをそのままマウントしてメルト包有物を探す。

10ミクロン程度のメルト包有物の揮発性成分を分析するには海洋研究開発機構高知コア研究所に平成23年度後半に導入されたNano-SIMSを用いる予定である。Nano-SIMSは、他のSIMSよりも高真空度で微小領域(直径10 μ m以下)の分析ができる。しかしながらこの装置で揮発性成分の分析法の確立している研究所は世界中でも1カ所のみ(カーネギー地球物理研究所)であり、非常にチャレンジングな研究である。今後は、ウッズホ

ール海洋学研究所で習得した分析技術を生かし、高知コア研究所の技術研究員と共同でNano-SIMSによる揮発性成分の分析手法の確立に着手する予定である。

そのためには、まず分析目的成分(水、二酸化炭素、フッ素、塩素、硫黄)の濃度が既知なスタンダードガラスが必要であるが、ピストンシリンダーを用いて作成したものは不均質であった。今後は中央海嶺玄武岩など深海底で噴出し、脱ガスが少なく、均質である可能性が高い試料を選び、SIMSで均質性をチェックする。均質な火山ガラスだと確認した試料の揮発性成分濃度をこれまで確立した分析法(水、二酸化炭素濃度はマノメトリー分析、硫黄、塩素、フッ素濃度は加水熱分解後イオンクロマトグラフ分析)を用いて決定する。

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3件)

(1) Prytulak, J., Nielsen, S.G., Ionov, D.A., Halliday, A.N., Harvey, J., Kelley, K.A., Niu, Y.L., Peate, D.W., Shimizu, K., Sims, K.W.W., 2013, The stable vanadium isotope composition of the mantle and mafic lavas, Earth Planet. Sci. Lett., 査読あり、365, 177-189, doi.10.1016/j.epsl.2013.01.010

(2) Sano, T., Shimizu, K., Ishikawa, A., Senda, R., Chang, Q., Kimura, J.I., Widdowson, M., Sager, W.W., 2012, Variety and origin of magmas on Shatsky Rise, northwest Pacific Ocean, Geochim. Geophys. Geosyst., 査読あり、13, Doi 10.1029/2012gc004235

(3) Suzuki, K., Senda, R., Shimizu, K., 2011, Osmium behavior in a subduction system elucidated from chromian spinel in Bonin Island beach sands, Geology, 査読あり、39, 999-1002, Doi 10.1130/G32044.1

[学会発表](計10件)

(1) 清水健二、清水孚道、常青、木村純一、佐野貴司、シャツキーライズの玄武岩質ガラスに見られる脱水したリサイクル物質の痕跡?地球化学会、九州大学、2012年9月11日

(2) 清水健二、清水孚道、佐野貴司、松原典孝、Will Sager, 玄武岩質ガラスの二酸化炭素、水含有量から推定される145Ma シャツキーライズの隆起および沈降、地球惑星連合大会、

幕張メッセ、2012年5月23日

(3) 清水健二、清水孚道、ボニナイト質メルト包有物から読む、沈み込み帯形成初期の流体の挙動、地球惑星連合大会、幕張メッセ、2012年5月20日

(4) Sano, T., Shimizu, K., Ishikawa, A., Senda, R., Chang, Q., Kimura, J., Middowson, M., Sager, W., Magma variety and geochemical stratigraphy of Shatsky Rise, American Geophysical Union Fall Meeting, アメリカ、サンフランシスコ、2011年12月8日

(5) Shimizu, K., Sano, T., Chang, Q., Kimura, J-I., Geochemical study of fresh volcanic glasses from ~145 Ma Shatsky Rise, The Goldschmidt Conference, チェコ、プラハ、2011年8月16日

(6) Husen, A., Almeev, R., Shimizu, K., Sano, T., Natland, J., Koepke, J., Holtz, F., Geothermobarometry of basaltic glasses from Tamu Massif, Shatsky Rise oceanic plateau, The Goldschmidt Conference, チェコ、プラハ、2011年8月16日

(7) 清水健二、佐野貴司、清水孚道、Uplift and subsidence of Shatsky Rise: inferred from volatiles in fresh volcanic glasses, 地球惑星連合大会、幕張メッセ、千葉県、2011年5月27日

(8) 佐野貴司、石川晃、仙田量子、清水健二、常青、木村純一、Magma variety and Stratigraphy of Ori Massif, Shatsky Rise, 地球惑星連合大会、幕張メッセ、千葉県、2011年5月27日

(9) 三好雅也、佐野貴司、清水健二、Boron and chlorine contents of Shatsky Rise, North Pacific, and their implications for the alteration of oceanic plateau, 地球惑星連合大会、幕張メッセ、千葉県、2011年5月27日

(10) 吉崎もと子、渋谷岳造、鈴木勝彦、清水健二、中村謙太郎、大森総一、高井研、丸山茂徳、コマチアイトの熱水変質実験による水素発生、地球惑星連合大会、幕張メッセ、2011年5月24日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清水 健二 (Shimizu Kenji)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部
ダイナミクス領域・研究員

研究者番号：30420491

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし