

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13636

研究課題名（和文）高温マグマプロセス解明に向けたジルコンPCMR年代測定法の開発

研究課題名（英文）Development of zircon pre-crystallization magma resident time dating for investigation of high-temperature magma processes

研究代表者

坂田 周平（Sakata, Shuhei）

東京大学・地震研究所・助教

研究者番号：20772255

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：地表で観察されるマグマが固まった岩石に含まれるジルコンと呼ばれる鉱物はウラン・トリウム・鉛の同位体を用いてその結晶化から現在に至るまでの時間を測定することができる。本研究では従来法をさらに一歩進め、トリウムと鉛のペアから計算される年代とウランと鉛より求まる年代を組み合わせることで、鉱物が結晶化する以前の時間情報を定量化する手法を開発した。この手法により地下深くで発生したマグマが上昇し、その途中で鉱物が形成されるまでの時間を定めることができると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本は世界有数の火山大国であり、火山噴火のメカニズムを明らかにすることは学術的にも防災の観点からも重要である。しかし、火山地下のマグマ溜まりよりさらに下部、すなわち「火山の根」がどうなっているのかについては未だ不明な点が多い。本研究は火山の根においてマグマが上昇するスピードの履歴を鉱物に保存される情報から読み取ろうとするもので、火山の地下でのマグマの動きに関する直接的な証拠を提供すると期待される。

研究成果の概要（英文）：The mineral zircon, which is found in magma-solidified rocks observed on the earth's surface. Zircon can be dated using isotopes of uranium, thorium, and lead to determine the time from its crystallization to the present. In this study, we took the conventional method one step further and developed a method to quantify the time before the mineral crystallization by combining the age calculated from thorium-lead pairs and the age obtained from uranium and lead. This method is expected to allow us to determine the time from when magma generated deep underground rises to the surface to when minerals are formed along the way.

研究分野：地球年代学

キーワード：マグマの上昇速度 ジルコン 放射年代学 地球化学

1. 研究開始当初の背景

花崗岩は大陸地殻の本質的な構成岩石であり、部分溶融による花崗岩メルトの発生から、メルトの上昇・冷却・定置といった一連の過程がどのような時間スケールで進行するのかを明らかにすることは、大陸地殻 - マントル間での物質的・化学的分化の過程を理解する上で重要である。花崗岩形成、特に高温 (>600 °C) でのプロセスに時間軸を設定する上で鍵となる手法が高い閉鎖温度 (約 900 °C) を持つジルコン鉱物の U - Pb 年代測定法である。ジルコンは花崗岩に普遍的に含有され、この U - Pb 年代の時間分解能は通常年代値の 0.5 ~ 3% 程度である。そのため、ジルコン U - Pb 法を用いて花崗岩メルトの時間変化を追跡するには年代値の若い花崗岩試料が望ましい。しかしながら深成岩という性質上、多くの花崗岩は形成直後には地表に露出しておらず、これまで実施されてきた花崗岩研究も比較的古い (数千万年 ~ 数億年前) 試料を扱ったものが主流であった。そのような中、最近になって富山県黒部川花崗岩体の一部が世界で最も若い年代 (約 80 万年前) を持つことが報告され (Ito et al., 2013)、花崗岩形成過程を詳細な時間軸に沿って調べることが可能になると期待されている。しかし、既存の鉱物年代測定法から得られる情報はメルト中での鉱物晶出時から現在までの時間であり、閉鎖温度の異なる他の地質年代時計 (例えば黒雲母 K - Ar 法: ~400 °C) を組み合わせても、ジルコン晶出時点より後の期間の時間分解能を向上することしかできない。すなわち、地下深部での物質的・化学的分化において極めて重要な部分溶融に関する時間情報は従来の鉱物年代測定法では原理的に得ることはできない。そのため部分溶融からマグマ溜まりの形成に該当する時間を定量的に決定する新手法の登場が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は部分溶融による花崗岩メルト発生時からジルコン晶出が始まるまでの期間を定量化する新たな年代測定法 (Zircon Pre-Crystallization Melt Resident time dating; ジルコン PCMR 年代測定法) の原理を構築し、天然試料への応用が可能な分析手法を開発することである。

3. 研究の方法

ジルコン PCMR 年代測定法の基本的な原理については、すでに申請者らの研究によって提案されており、以下の式で表される。

$$\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}^*_{\text{Zircon}}}{{}^{238}\text{U}_{\text{Zircon}}} \right) = e^{\lambda_{238}t} - 1 + \frac{\lambda_{238}}{\lambda_{230}} \left[f_{\text{Th/U}} \left\{ 1 + e^{(\lambda_{238} - \lambda_{230})T} \left(f_{\text{Th/U}}(p.m.) - 1 \right) \right\} - 1 \right] \left(1 - e^{-\lambda_{230}t} \right) e^{\lambda_{238}t}$$

ジルコンの結晶化年代 (${}^{208}\text{Pb}/{}^{232}\text{Th}$ より決定)、 ${}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U}$ 、晶出時の鉱物 - メルト間での Th/U に関する元素分別項 ($f_{\text{Th/U}} = [\text{Th}/\text{U}]_{\text{zircon}} / [\text{Th}/\text{U}]_{\text{melt}}$)、メルト発生 (部分溶融) 時の Th/U 固液分別項 ($f_{\text{Th/U}}(p.m.) = [\text{Th}/\text{U}]_{\text{solid}} / [\text{Th}/\text{U}]_{\text{initial melt}}$) を決定することで PCMR 年代 T を算出することが可能である。若いジルコン試料では放射壊変起源の鉛同位体の存在量が極めて小さいため、鉱物粒子をバルクで分解して測定する湿式分析法の開発を行う。湿式法での分析において最も重要かつ障壁となるのは ${}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U}$ 、 ${}^{208}\text{Pb}/{}^{232}\text{Th}$ が精確に定められた標準溶液の有無である。一般には同位体希釈法により標準溶液の同位体組成を決定するのが最も精確であると考えられるが、U や Th の同位体スパイクの所持や使用に関する国内法規制が厳しいという問題がある。そこで本研究では、同位体組成既知の標準ジルコンを全分解することで同位体比較用標準液を作成することとする。一方、鉱物単粒子の湿式バルク分析においては特に分析対象となる鉛の量が極めて小さく、分解過程で混入する鉛のブランクをどれだけ低減できるかが課題として考えられ、定量的な分析が困難となる可能性も考えられる。その場合、湿式法と比較して鉛ブランクの混入が少ないレーザーアブレーション法による固体直接分析法によって分析を進める。

4. 研究成果

当初湿式分解によるジルコン結晶粒子のバルク分析法を整備する予定であったが、予備実験の結果必要な U-Th-Pb 同位体分析の精度を確保することが現状では困難であると判断した。そこで、多粒子のジルコンに対してレーザーアブレーション法による直接分析を行うことで必要なサンプリング量を稼ぎ、火山噴出物試料の平均的な同位体情報を取得することで PCMR 年代の算出を試みた。実測しなければならない値は結晶の ${}^{208}\text{Pb}/{}^{232}\text{Th}$ 年代 (結晶化年代)、 ${}^{206}\text{Pb}/{}^{238}\text{U}$ 比、Th/U 比及び親メルト中の Th/U 比である。試料は島根県簸川(ひかわ)郡佐田町上橋波横見 E132° 40' 54", N35° 11' 22" より採取した約 10 万年前に噴出したとされる島根県三瓶火山の噴出物を用いた (三瓶木次テフラ: SK)。また親メルト組成を決定するために同試料より分離した火山ガラスの分析を行った。Th-Pb 同位体分析の結果、SK ジルコン試料の結晶化年代として 103.4 ± 7.8 ka が得られた (図 1)。これは海洋酸素同位体ステージと層序の対比から長橋 (2007) により見積もられた SK 噴出年代 (99 ka) と誤差範囲で一致するものの、平均値としてはわずかに古い年代を示し、ジルコン結晶が噴出前に地下で結晶化・滞留しているという考えと

整合的な結果となった。SK ジルコンと同じテフラより分離した火山ガラスについても同時に Th/U 測定を行ったところ、それぞれ $(Th/U)_{zircon} = 0.201 \pm 0.094$ 、 $(Th/U)_{glass} = 1.22 \pm 0.12$ という値が得られ (図 2)、ジルコン-メルト間の Th/U 分配比は 0.165 ± 0.079 となった。この値は室内部分溶融実験より報告されている値と概ね一致する (750 -800 において $f_{Th/U} = 0.16-0.25$, Rubatto and Hermann, 2007; Watson and Harrison, 1983) 結果となった。ジルコン PCMR 年代を決定するには残る未知数として部分溶融時の岩石 - メルト間での Th/U 分配 (上式中の $f_{Th/U}(p.m.)$) が必要となるが、この値は実測が困難であり岩石溶融実験等の知見を利用して見積もりを行った。しかし現時点で仮定の $f_{Th/U}(p.m.)$ 値 (0.5 - 2.0 程度) を用いて PCMR 年代を計算したところ 100%以上の誤差が発生することが明らかとなり、およそ定量的な議論には耐え得ないことが判明した。特に PCMR 年代に大きな誤差を伝播するのは $^{208}Pb/^{232}Th$ 年代であり、この年代測定の精度を向上させるための改善が必要である。現時点で最も現実的な手法は測定粒子数を現在の 10 倍程度まで増加することである。これにより PCMR 年代の誤差は現在の 1/3 程度まで抑制できると考えられ、地下深部で発生したマグマからジルコンが結晶化するまでの時間について新たな知見が得られると期待される。

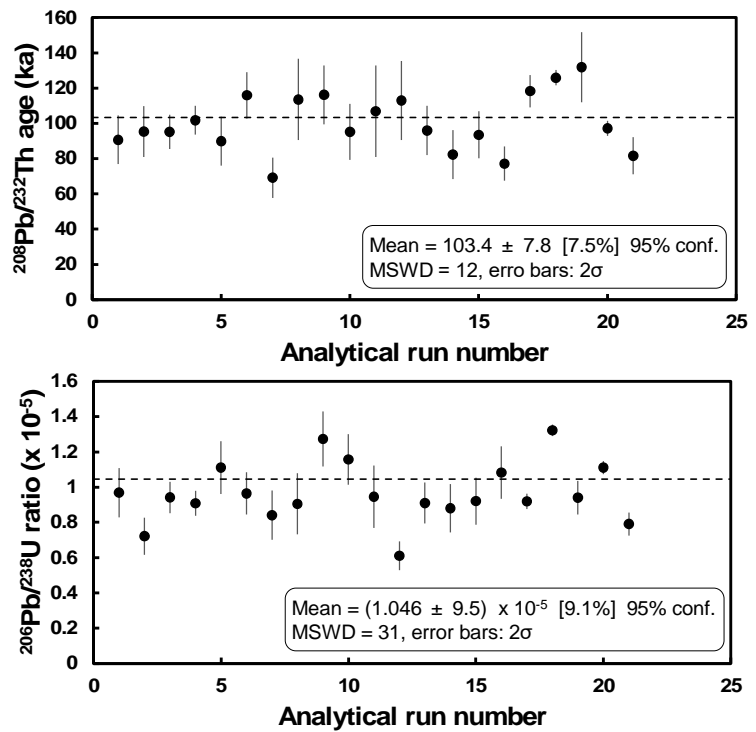


図1 三瓶木次テフラジルコンのTh-Pb年代および $^{206}Pb/^{238}U$ 比

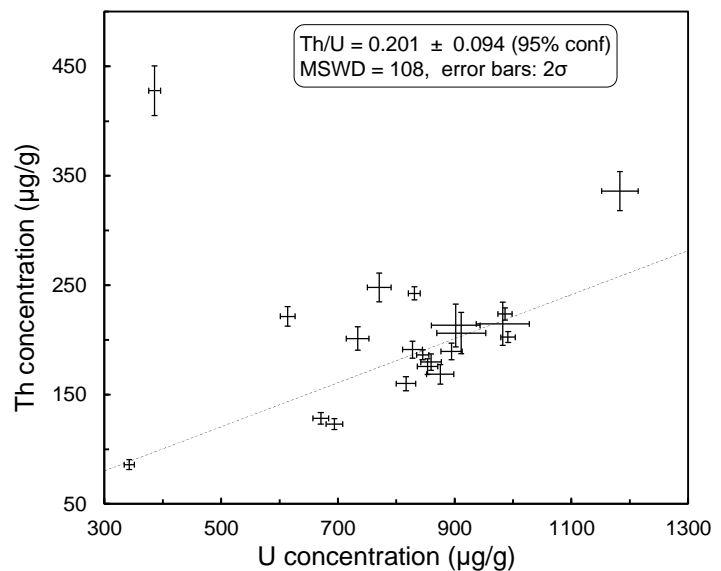


図2 三瓶木次テフラジルコン中の Th/U 比

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 坂田周平
2. 発表標題 高温マグマプロセス解明に向けたジルコンウラン系列年代測定法の再編
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年～2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------