

若い火成岩中のジルコンの U-Th 測定と年代測定法の考察

石原 崇*・長谷部徳子**・荒井章司*

Measurement of uranium and thorium concentration of zircon in young igneous rocks and prospects for disequilibrium dating

Takashi Ishihara*, Noriko Hasebe** and Shoji Arai*

* 金沢大学理学部地球学教室, Dept. Earth Sciences, Kanazawa Univ.

** 金沢大学自然計測応用研究センター, Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa Univ.

はじめに

近年, 測定装置の改良等によって今までは困難であった年代測定が可能になってきている。

LA-ICP-MS による同位体分析は, 一度に多数の元素を測定できること, 測定速度が速いこと, 試料準備が簡易であるという利点があり, 年代測定に有用である。

そこで本研究では, 比較的若い火山岩の ^{234}U - ^{230}Th 年代測定に, LA-ICP-MS 分析を利用できるか検証するために, 雲仙普賢岳で採取された, 1993年に噴出した火砕流堆積物から分離したジルコンのウラン・トリウム測定を行った。それらの濃度から以下に述べる方法で年代値を求め, ジルコンの晶出年代とした。それが噴出年代とどのような関係となるかを吟味した。

年代測定法について

^{238}U 系列の放射性核種の内, 半減期が第四紀の年代測定に適していると考えられる ^{234}U , ^{230}Th を用いる年代測定法を考える。マグマ溜りでは永年平衡が成り立っているので, 放射性核種は量比が一定で壊変を続ける。しかし, ジルコンが晶出する際に, ^{238}U に対して ^{230}Th を少なく取り込むので, ジルコンでは永年平衡が成り立たなくなる。そこで以下のような3通りの考え方で結晶の晶出年代を求める。

(1) ジルコン晶出時に入る ^{230}Th の量を無視できると考えた場合。

$$\frac{\lambda_{230} \text{}^{230}\text{Th}}{\lambda_{234} \text{}^{234}\text{U}} = 1 - e^{-\lambda_{230}t} \quad \dots (1)$$

(2) 最初に含まれている ^{230}Th の量を考慮し, 一定の割合でマグマ溜りから ^{230}Th が入ってくると仮定した場合, 以下の式で晶出年代 t を求めた (Farley et al., 2001)。 D_{230} はマグマと鉱物の ^{230}Th の比の値で定義される値で, ^{232}Th と ^{230}Th の分別が起こらないことから, (2) 式のように表せる。

$$D_{230} = \frac{^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}_{(\text{zircon})}}{^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}_{(\text{magma})}} \quad \dots (2)$$

D_{230} は鉱物毎に違う値を取り, ジルコンでは大体 0.2 の値を取り, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}_{(\text{magma})}$ は 3 前後の値を取る場合が多いとされている (Farley et al., 2001)。 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}_{(\text{magma})}$ の値を見積もる際には, 火山ガラスの値で代表することが多い。ジルコン中の ^{230}Th 量は時間が経つにつれて, ^{238}U (続いて ^{234}U) の壊変によって生成されるので, 増加量を考えて以下のように表わされる。

$$\frac{\lambda_{230} \text{}^{230}\text{Th}_{(\text{zircon})}}{\lambda_{238} \text{}^{238}\text{U}} = e^{-\lambda_{230}t} (D_{230} - 1) + 1 \quad \dots (3)$$

(3) アイソクロンを用いて, 最初の ^{230}Th の量と年代値を求める場合, 全ての試料が同じ年代値を持つと仮定し, $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ を座標軸に取ってアイソクロンを描くと, 傾きから結晶の晶出年代を, 図の切片から最初の ^{230}Th の量を求めることが出来る。

$$\frac{\lambda_{230}^{230}\text{Th}}{\lambda_{232}^{232}\text{Th}} = \left(\frac{\lambda_{230}^{230}\text{Th}}{\lambda_{232}^{232}\text{Th}} \right)_0 e^{-\lambda_{230}t} + \left(\frac{\lambda_{238}^{238}\text{U}}{\lambda_{232}^{232}\text{Th}} \right) (1 - e^{-\lambda_{230}t}) \quad \dots (4)$$

実験方法

岩石の鉱物分離をした後、包有物がない大きなジルコンの結晶を選び、テフロンシートに埋め込んで3 μm のダイヤモンドペーストで研磨した。その後、レーザーの直径やパルス周波数について測定条件を変えながら、LA-ICP-MS測定を行った。同様の測定を、 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}_{(\text{magma})}$ の値を求める為に、火山ガラスについても行った。標準試料としてNIST610ガラス、比較試料としてNIST612ガラスを用いた。内部標準同位体として ^{29}Si を用いた。

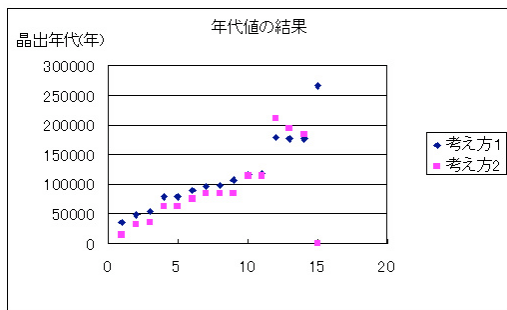


図1. 若い粒子年代から順に並べた年代測定結果。横軸は粒子番号。

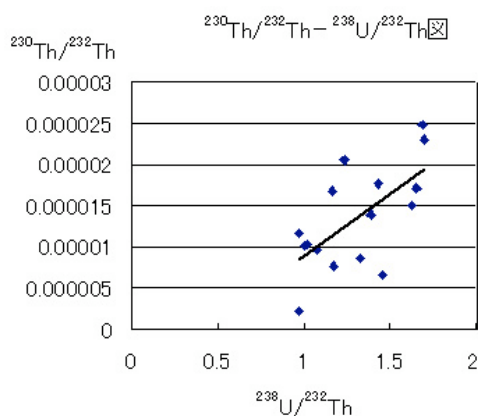


図2. アイソクロン法によるプロット

測定結果

LA-ICP-MSによる各元素の検出限界を求めたところ、含有量の少なかった ^{234}U 、 ^{230}Th もレーザー照射の条件を適切に選べば検出限界を超えてシグナルを得られることが分かった。また、NIST612の濃度測定を行い既知の値と比較した所、数%以下の精度で分析が行っていたと確認できた。

LA-ICP-MSで出た各元素の濃度を利用して求めた年代を年代順に整理して並べた結果を図1に示した。雲仙科学掘削プロジェクトによると雲仙火山の最下部の噴出物が約50万年前の軽石質火砕流堆積物であり、その後火砕流が1-27万年の時間的範囲に渡って噴出していることが示されている。今回得られた晶出年代のばらつきはその火砕流の年代の範囲内に分布している。また、全ての粒子が同時に結晶晶出しているのではなく、幾度かに分かれて結晶晶出が起きていると考えることができそうであるが、今後誤差の評価をきちんと行い測定粒子数を増やすことが必要である。

また、方法(3)に従い、図2のようにアイソクロンを引いたところ、 ^{230}Th の初期量が負の値を取るという、実際に起こり得ない結果となった事も、結晶晶出が一度に起こっていない事を裏付けている。付記することとしては火山ガラスの分析の結果、 D_{230} の値は既報値とほぼ等しくなることも分かった。

謝辞

本研究の一部は住友財団環境研究助成によって行った。

文献

Farley, K.A. et al., 2001, The effects of secular disequilibrium on (U-Th)/He systematics and dating of Quaternary volcanic zircon and apatite. EPSL 201, 117-125