

ジルコンのART年代測定に向けた取り組み：Am線源を利用したART形成実験

中島大輝*・長谷部徳子*・横山明彦*・山田記大*・飯沼勇人**・高宮幸一**

Efforts toward ART dating in zircon: ART formation experiments
using Am sources

Taiki Nakashima*, Noriko Hasebe*, Akihiko Yokoyama*, Norihiro Yamada*,
Yuto Inuma** and Koichi Takamiya**

* 金沢大学, Kanazawa University

** 京都大学, Kyoto University

はじめに

アルファリコイルトラック (ART) は ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th およびその娘核種がアルファ壊変をする際に生じたエネルギーにより, 残った原子核が動いてできる損傷のことである。ウランやトリウムの壊変定数は決まっているため, 鉱物内のART数とウラン・トリウム濃度を測定することで年代を算出することができる。しかし, 年代既知のジルコンにART年代測定法を適用したところ, 期待される年代よりも若く算出された (早坂ほか, 2018)。その原因として, ART認定の不正確さによるART数の過小評価や, ARTの形成過程が不明なため経過時間とともにART数が増加しているのか分からないことが考えられる。そのことを確認するために, 本研究では鉱物表面に人工的にARTを形成する手法の確立を目指した。白雲母のARTのアニーリング挙動に関する実験も併せて行った。今回はART検出器として白雲母を用いた。白雲母は劈開面を観察することにより, ノイズや研磨の影響を考慮する必要がなくエッチングにより顕微鏡で容易にARTを観察することができる。

実験手法

照射実験

ARTを人工的に形成するためには, アルファ壊変する重元素を鉱物表面に作用させる必要が

ある。アルファ壊変によって原子核が鉱物方向へ移動し, 衝突することによりARTを形成する可能性がある。本研究では京都大学複合原子力科学研究所所有のある300 Bqの ^{241}Am 線源を使用した。真空容器の中に白雲母と ^{241}Am 線源の間に厚さ1 mmのガラススペーサーを置き, 様々な時間で照射を行った(1時間, 3時間, 6時間, 12時間, 2日, 4日, 1週間)。照射後は全ての試料をフッ酸で2時間エッチングし, 位相差顕微鏡を用いて観察を行った。観察のルールとしてそれぞれの試料をランダムに5箇所 ($34100 \mu\text{m}^2 \times 5$) 撮影し, 解析ソフト (ImageJ) を用いて画像の二値化を行い, ARTの個数と面積を測定した。

アニーリング実験

ARTの大きさは年代値を算出する際の重要な要素の一つである。しかし, 測定試料がどのような環境 (期間や温度) に置かれてきたかにより大きさは変化するため, ARTのアニーリング特性を理解することは重要である。照射実験の手法で3時間照射した白雲母試料を複数個用意し, 異なる温度 (100°C, 150°C, 200°C) と時間(30分, 1時間, 3時間, 5時間, 10時間, 20時間, 100時間, 352時間)でアニーリングを行った後, エッチング・観察を行った。

結果と考察

本研究では ^{241}Am 線源を用いて新たなART形成手法の確立に成功した。照射時間の増加に伴い白雲母表面に形成されたART面密度が直線的に増加していることが確認できた(図1)。1時間から12時間の照射期間ではARTを1つずつ識別可能であったが、2日から1週間の照射期間ではARTの重複により個数や面密度に影響があった。この結果から、2時間エッチングによる白雲母の測定年代上限は、ウラン濃度が1-10 ppm程度である場合、数万から数十万年前の試料であることが分かった。ARTの大きさはアニーリング温度と時間に依存し、2つのステップ(急速なアニーリングとゆるやかなアニーリング)に分けられることが示された(図2)。ARTのサイズ分布を比較したところ、人工的に形成したARTの方が天然のARTよりも大きくなった。人工的なARTは ^{241}Am から ^{237}Np への単一アルファ壊変により形成される。一方で、天然のARTは ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th からそれぞれ安定な ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb へと

複数壊変を起こすため後者の方が大きなトラックを形成すると考えられる。白雲母がカンブリア紀以前に産出したものであることを考慮すると(Richard and Forrest, 1950), 等温アニーリング実験の結果から、天然のARTは周囲の環境温度(27°C ~ 34°C)で長期間アニーリングされたものであると考えられる(図3, 表1)。

人工的なART形成手法の確立により、雲母以外の様々な鉱物におけるART特性を評価することが可能になった。今後はジルコンへの適用によりART年代測定法のさらなる発展が期待される。

引用文献

- 早坂ほか(2018) 原子間力顕微鏡を用いたジルコンの α リコイルトラック年代測定。フィッション・トラック ニュースレター, 31, 20-22
- Richard H. J and Forrest W. L. (1950) Physical characteristics of commercial sheet muscovite in the southeastern United States, USGS, 225

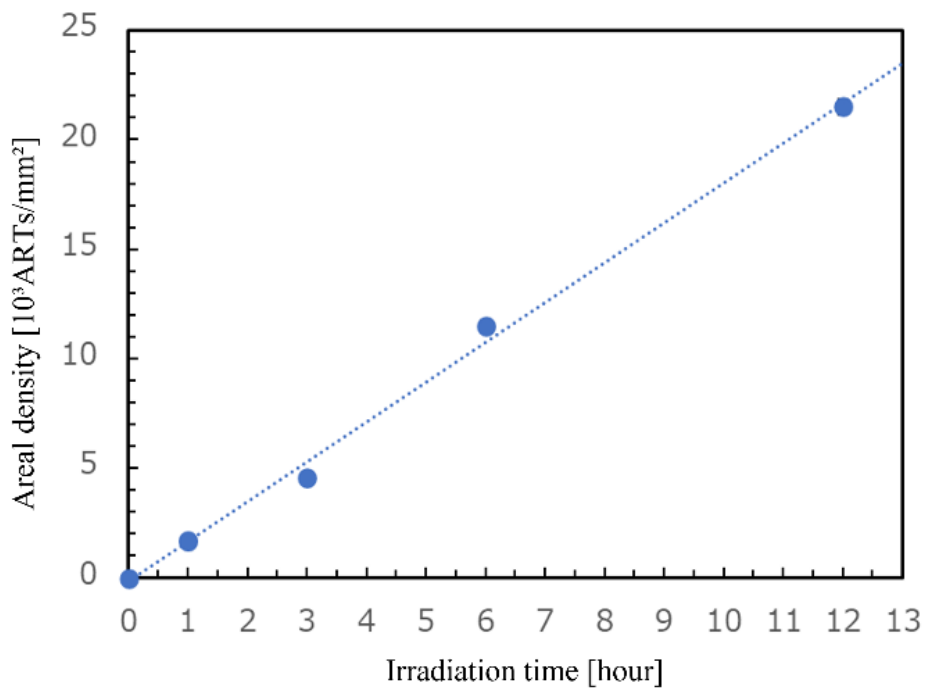


図1. 照射時間とART面密度の関係

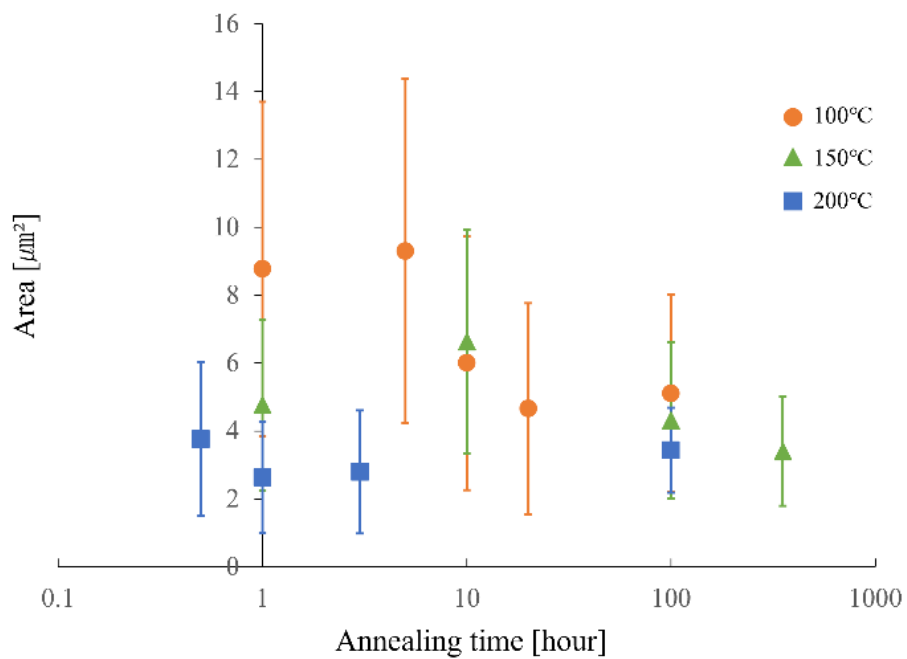


図2. アニーリング時間とARTサイズの関係

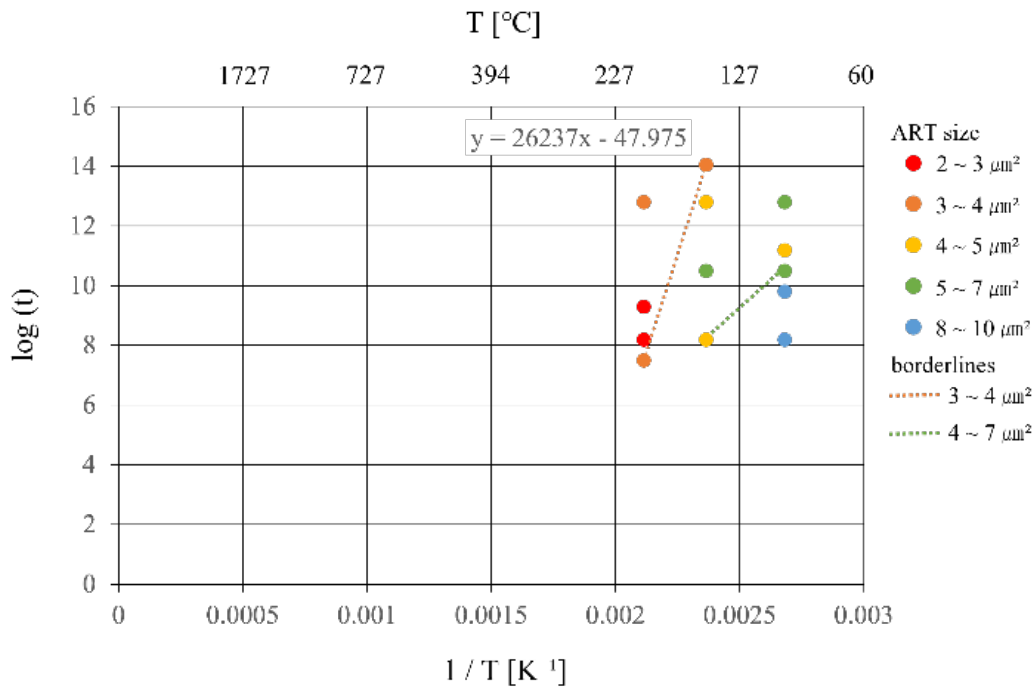


図3. アニーリング実験のアレニウスプロット

表1. 天然のARTが3-4 μm^2 なるまでの推定期間

Temperature ($^{\circ}C$)	Estimated period (10^8 year)
25.0	79.9
26.0	59.6
27.0	44.4
28.0	33.2
29.0	24.9
30.0	18.7
31.0	14.1
32.0	10.6
33.0	8.0
34.0	6.1
35.0	4.6