

ジルコン中の FT のエッチング・アニーリング特性における残余 FT ダメージの影響

森聰*・長谷部徳子*・田上高広**

Effect of remnant fission track damages on etching and annealing characteristics
of fission tracks in zircon

Satoshi Mori, Noriko Hasebe and Takahiro Tagami

1. はじめに

FT のエッチング・アニーリング特性は、化学組成やトラック密度などのいくつかのファクターによって影響を受ける。これらのファクターの中にはすでに明らかにされ FT 法を使う上で当然のことになっている事もあり、最も有名な例としてはジルコンの場合 α ダメージの蓄積がエッチング効率に影響を与えることである (Gleadow, 1978)。またアパタイトにおいては化学組成も FT のアニーリング温度に影響を与えるファクターである (Green et al., 1986; Green, 1995)。Yamada et al. (1998) によって自発トラックのトラック密度の違いによってアニーリングの違いがでてくると報告されている。彼らの実験において観察されたトラック長の短縮の違いとして次のような要因が考えられる。1) 放射線損傷の量による違い、2) α ダメージの蓄積によるサンプル間のエッチング特性の違い、3) 化学組成や fluid inclusion の量による結晶自体の特性の違い、4) 他のまだ知られていないファクターが考えられる。放射線損傷の量による違いという要因の中に Hasebe et al. (1994) が提案したものがある。様々なサンプルを用いて、自発トラックを完全にアニーリングさせると、一般的に α ダメージが消えるためエッチング特性がすべての試料で同じになる。しかし高い自発トラック密度を持っていたサン

プルだけ、早くエッチングされるという結果が示されており、そこで残余 FT ダメージの存在を提案している。この残余 FT ダメージというものは、FT がすべてアニーリングされ、見た目 (エッチングした状態) 上で FT がないように見えるときの潜在的に鉱物中に残っている核分裂によるダメージ (エネルギー) である。そこで本研究ではジルコン中の FT のエッチング・アニーリング特性における残余 FT ダメージの影響を調べるために、同じサンプルを用いトラック長解析を行った。

2. 測定方法

試料はジルコン中の自発トラック密度が $\sim 0.5 \times 10^6 / \text{cm}^2$ をもつ流紋岩を用い、この試料から分離したジルコンを 6 つに分け、原子炉で 0 分、20 分、1 時間、3 時間、7 時間、20 時間照射した (Fig.1)。照射した結果 $\sim 0.5 \times 10^6$, 4×10^6 , 7×10^6 , 20×10^6 , $> 50 \times 10^6$, $> 10 \times 10^7$ ($/\text{cm}^2$) の誘導トラック密度が生じ、これらのすべての誘導トラックをアニーリングさせるために $1044 \pm 2^\circ\text{C}$ で 2 時間加熱した。これらの試料をそれぞれ測定しやすい $\sim 7 \times 10^6 / \text{cm}^2$ の誘導トラック密度をもつように再び原子炉で 1 時間照射した。次に 6 つの試料をそれぞれ 4 つに分けて加熱させないものと約 600°C で 1 時間加熱させたものと約 650°C で 1 時間加熱させたものと約 700°C で 1 時

*: 金沢大学大学院自然科学研究科, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa Univ.

** : 京都大学大学院理学研究科, Graduate School of Science, Kyoto Univ.

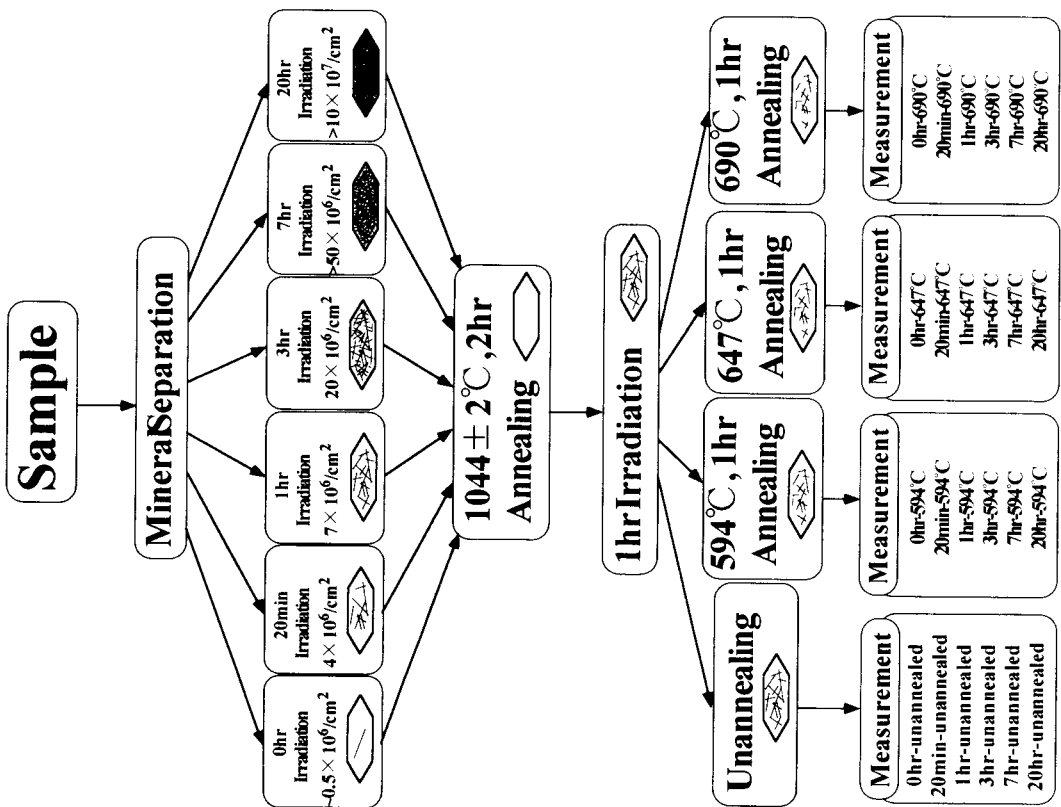


Fig. 1 Schematic representation of the experimental procedure

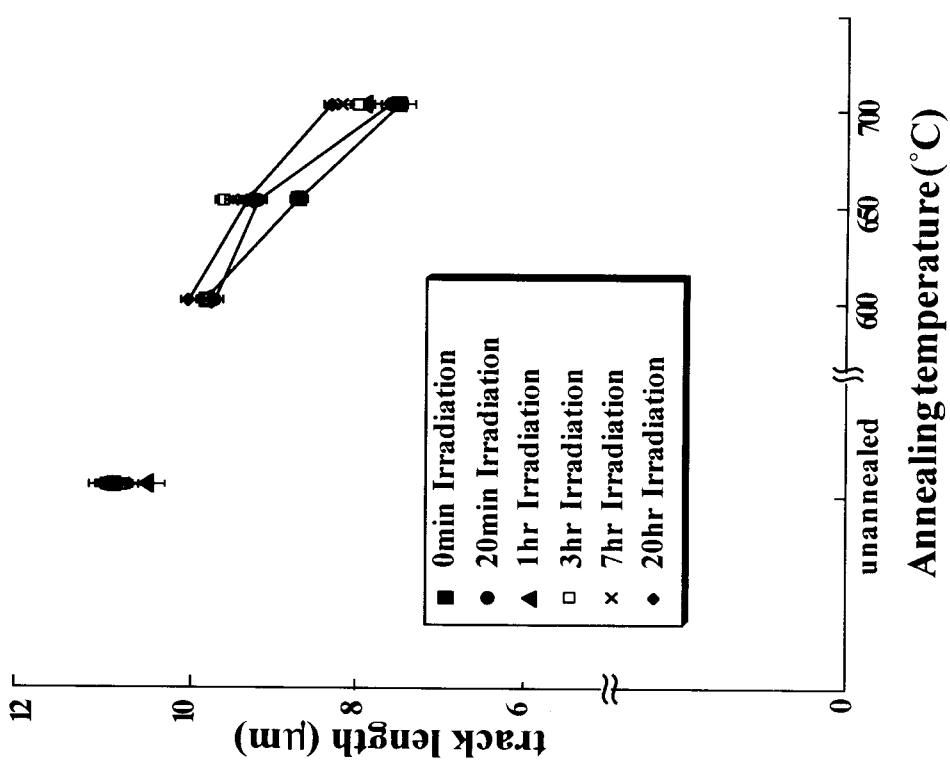


Fig. 2 Variation in HCT length in the different samples vs. temperatures for 1 hour isothermal annealing. Data, whose orientation angles are $>60^\circ$ to the c-axis, are selectively plotted. Error bars represent $\pm 1 \sigma$.

間加熱させたものに分けた。その結果試料は別々の処理をうけた24種類となり、それぞれについてトラック長測定を行った。

3. 測定結果・考察

Fig.2 は、縦軸にトラック長を横軸にアニーリング温度をとってプロットしたものである。アニーリングさせていないサンプルや600℃で1時間加熱させたものについては、互いに差がなく同じあたりにプロットされるため、照射時間に関係なくFTダメージの影響も少ないと思われる。しかし650℃と700℃で1時間加熱させた試料については、短時間照射のものほど比較的短く測定される傾向があり、逆に長時間照射したものでは長く測定される傾向がある。

この測定されたトラック長の差の要因としては、2つ考えられる。1つ目は、残余FTダメージの大きいものほど熱アニーリングに対して高い抵抗力を持っているという事で、2つ目は残余FTダメージの大きいものほどエッチング速度が速くなるということである。このことは、 α ダメージの蓄積が多いほどエッチング速度が速くなるという性質からも可能性があると思われる。ここでどちらの影響か、考えてみると、加熱していないサンプルや600℃で1時間加熱したサンプルにおいて、互いに違いがないという事は、トラックの端におけるエッチング特性が、サンプル間で違いがないという事を示している。このため高い温度で加熱したサンプルにおいて見られる違いはギャップゾーンでのエッチング特性の違いによって生じたのではないかと考えられる。トラック長分布を見ても、ギャップゾーンが生じている場合、短いトラックが含まれており、幅の広い分布になると思われるが、すべてアニーリングしていないトラックのトラック長分布が短い方にシフトした幅の狭い単峰型の分布を示している(Fig.3)。よってギャップゾーンのエッチングが平均トラック長の違いを生じさせている重要な役割を果たしていないことが言える。よって高い照射ダメージを被っているジルコン中のトラックほ

ど熱アニーリングに対して高い抵抗力を持っているという事が言える。また自発FTのアニーリング特性と誘導FTのアニーリング特性が似ていると報告されており、このことからわかるように Yamada et al.(1998)によって報告されたトラック長の短縮の違いは、自発トラック密度の違いによるもので、より高い自発トラック密度を持つサンプルほど熱アニーリングに対して高い抵抗力を持っていることがいえる。

よって古い試料ほどダメージを受けているのでアニーリングされにくい傾向があると予測され、堆積岩のようにそもそものトラック密度にばらつきのある試料においてアニーリングがおこる場合、トラック長が残余FTダメージの影響をうけている可能性がある。

4. 今後の課題

アパタイトではすでに明らかにされている化学組成や fluid inclusion の量などのほかの可能性のあるファクターも今後調べる必要があると思われる。そして結果的には、FT法による、より精密な上部地殻の温度履歴のモデル化ができるようになると思われる。

5. 参考文献

- Gleadow, A.J.W., Hurford, A.J. and Quaife, R.D., 1976. Fission track dating of zircon: Improved etching techniques Earth Planet. Sci. Lett., 33: 273-276.
- Green, P.F., 1995. AFTA Today. On track (The Newsletter of the International Fission Track Community), 5: 8-10.
- Green, P.F., Gleadow, A.J.W., Tigate, P.R. and Laslett, G.M., 1986. Thermal annealing of fission tracks in apatite, 1. A Qualitative description. Chem. Geol. (Isot. Geosci. Set.), 59: 237-253.

Hasebe, N., Tagami, T. and Nishimura, S., 1994. Towards zircon fission-track thermochronology: Reference framework for confined track length measurement. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 112: 169-178.

Yamada, R., Yoshioka, T., Watanabe, K.,

Tagami, T., Nakamura, H., Hashimoto, T. and Nishimura, S., 1998. Comparison of experimental techniques to increase the number of measurable confined fission tracks in zircon. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 1-9.

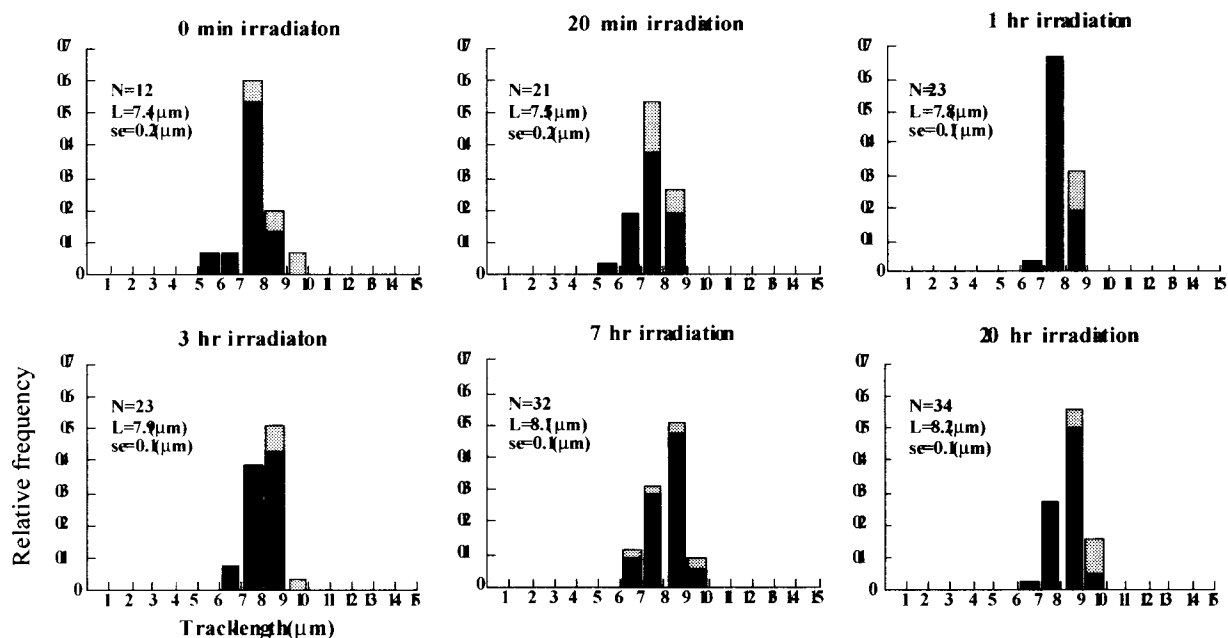


Fig. 3 Track length distribution patterns of 1 hour isochronal annealing experiments (700°C). Vertical axes indicate the relative frequencies of the number of tracks summed in each 1 μm interval. In these diagram, solid parts of the bars of tracks with angles to the crystallographic C-axis >60°, and hatched are of those ≤60°.