

# ジルコンとマイカディテクター上のトラックの1対1対応

岩野英樹・糟谷正雄・山下透・小倉直子・檀原徹

(京都フィッシュン・トラック)

## はじめに

フィッシュン・トラック年代測定は自発および誘発トラックのカウントが基礎になっている。しかしながら、自発および誘発トラックそれぞれのカウント効率はいろいろな要因で変化しうる。例えば材質（鉱物）、結晶軸からの方位、放射線損傷、エッチング、観察条件、トラック同定基準などの違いである（Wagner, 1981）。また、これまでのトラックカウント効率の議論は、外部面／内部面あるいは鉱物／ディテクターといったトラック密度比を基にしており、上に挙げた種々の要因が分離されないままの議論であった。

今回、異なる材質（鉱物）間でのトラックのカウント効率を詳しく比較するために、外部ディテクター法で広く用いられているジルコンとマイカのペアで誘発トラックの1対1対応を行った。1対1対応によって、どんなトラックが両者で対応でき、どんなトラックが片方にしか検出されないかをトラック一本一本のレベルで見ることができ、検出効率の差の原因についてより詳しく調べることができる。

## 実験方法

ジルコンは、大阪層群のピンクタフと年代標準試料の Buluk Member Tuff のものを用いた。実験用に2つのセットを用意した。1つはジルコンをあらかじめアニールして自発トラックを消し、PFAシートに埋込んで研磨した。もう1つはアニールせずにPFAシートに埋込み、外部面の自発トラックを事前にエッチングしておいた。それらのPFAシートに外部ディテクターのマイカを貼合わせ、熱中性子照射を行い誘発トラックを作った。照射後ジルコンとマイカをそれぞれエッチングした。とくに事前にアニールしたジルコンは段階エッチングを行い、トラックの異方が解消したことを確認した。誘発トラックは高品位モニターで観察し、透明紙上に投影したトラックをトレースした。事前にアニールしていないセットは2度目のエッチングの前に自発トラックをトレースしておいた。ジルコン、マイカそれぞれの透明紙を重ね合わせることによって、誘発トラックの1対1対応を行った。Buluk Member Tuff のアニールしたジルコンとマイカのセットはそれぞれのトラックについて3次元トラック長測定も併せて行った。

## 結果と考察

### アニールしたジルコン

KOH: NaOH エッチャント(225°C)で60時間エッチングした後のデータをTable 1に示す。Fig. 1の顕微鏡写真に示されるように、ジルコンとマイカのそれぞれのトラックの口は良く一致し、1対1対応は曖昧なく行われた。その結果、対をもたないトラックはジルコン上に数本(疑似トラックと考えている)しかないのに対して、マイカ上では全体の25%も存在した。また、マイカ上の対をもたないトラックは、

Fig. 1 bを見てわかるように相対的に短いトラックであった。

対をもたないトラックがマイカに極めて多く存在するのは、ジルコンのアンダーエッチングあるいはエッチング異方性によるものではないと考えられる。なぜなら、ジルコン上のトラックの方向分布は等方的で、異方性が解消されているからである。ジルコンのバルクエッチングが原因だとすれば、マイカ上の対をもたないトラックは水平方向のものが多くなるはずだが、そのような現象は認められない。また、ジルコン中での核分裂片のチャネリングという可能性も挙げられるが、それではマイカ上の対をもたないトラックが短いことを説明できない。

マイカ上の対をもたないトラックの存在を説明する原因として最有力なのは、ジルコン中でのフィッシュン・トラック形成のしきい値がマイカよりも大きいことがあげられる。Fleischer(1975)はしきい値の大小を評価するために、トラックを保持する相対的な感度としてaverage stress ratioを鉱物毎に示し、ジルコンの方がマイカよりもしきい値が大きいとしている。しきい値に差があると、あるエネルギーを持った核分裂片がマイカにはetchableなトラックを作るにもかかわらず、ジルコンにはetchableなトラックを作らない場合が起こりうる。言い換えれば、ジルコン中のetchableなトラックの先端にunetchableな部分が存在することになる(Fig. 2)。

### アニールしなかったジルコン

このセットはジルコンをアニールしていないため、アルファおよびアルファ反跳損傷が残された状態で実験が行われた。ピンクタフは36時間、Buluk Member Tuffは32時間ジルコンの再エッチングをした。トラックの異方性が解消していることも確認した。結果をTable 2に示す。対をもたないトラックがピンクタフのジルコンで1%、Bulukで6%存在したが、これらは2回目のエッチングで新たに出現した自発トラックの可能性が高い。また、アニールしたセットと同様に、マイカには対をもたない短いトラックが全体の25%も存在した。このことから、マイカに比べてジルコンの検出効率が小さいのは、ジルコンの放射線損傷蓄積の有無に関係ない現象であることが明らかになった。

### 3次元トラック長

アニールしたBulukのジルコンとマイカのセットについては3次元トラック長測定を行った(Fig. 3)。マイカ上の対をもたないトラックの大部分は $4\mu\text{m}$ より短いことがわかる。

ジルコンとマイカで対をもつトラックについて、縦軸にジルコン、横軸にマイカの3次元トラック長をとってプロットし、この分布を直線で近似した(Fig. 4)。ここで、ジルコンのトラック長はバルクエッチング効果( $0.3\mu\text{m}$ )を補正している。ジルコンとマイカの3次元トラック長には逆相関があり、1対1対応がうまく行われたことを示す。対をもたないマイカ上の短いトラックはFig. 4にプロットできないが、本来はジルコン中の $11\mu\text{m}$ より長い空白の領域にプロットされることが期待される。

Fig. 4の回帰直線のy切片 $12.7\mu\text{m}$ は、ジルコン中でのetchableなトラック全長

と片端にある unetchable な部分の和を表しており、同じセットで測定したジルコン中の confined track 長 27 本の平均値  $10.7 \pm 0.6 \mu\text{m}$  ( $1\sigma$ ) を用いれば、unetchable な部分は約  $2.0 \mu\text{m}$  となる (Fig. 2)。つまり片端にそれぞれ  $2.0 \mu\text{m}$  の unetchable な部分があり、ジルコン中の核分裂片の全飛跡は少なくとも  $14.7 \mu\text{m}$  と推定できる。

unetchable な部分を含めた核分裂片の全飛跡に対する etchable なトラック全長との比  $10.7 \mu\text{m} / 14.7 \mu\text{m} = 0.73$  は、1 対 1 対応実験結果から求めたジルコン/マイカのトラックカウント効率  $0.75$  とほぼ一致する。このことからジルコンのカウント効率が低いのは、ジルコン中のフィッション・トラックの先端に unetchable な部分が存在することでもうまく説明できる。

## まとめ

ジルコンのトラックのカウント効率は、ジルコンのアルファおよびアルファ反跳損傷蓄積の有無に関わらずマイカの約  $0.75$  倍であり、これはフィッション・トラック形成のしきい値がジルコンの方がマイカよりも大きいことによると結論づけられる。その根拠として

- ① ジルコンのトラックに異方性がない。
- ② マイカだけにあるトラックは短い ( $4 \mu\text{m}$  以下)。
- ③ ジルコン中のトラックの先端に  $2 \mu\text{m}$  の unetchable な部分がある。これによってジルコンのカウント効率の減少をうまく説明できる。

ジルコンとマイカだけに限らず、トラックの 1 対 1 対応は、異なる鉱物間のフィッション・トラック形成のしきい値を比較する上でたいへん有効なテクニックといえる。

## 文献

- Fleischer R.L., Price P.B. and Walker R.M. (1975) Nuclear tracks in solids: Principles and applications Ch.1, pp3-49, Univ. California Press, Berkeley.
- Mark D.M. and Church M. (1977) On the misuse of regression in earth science. Math. Geol. 9, 63-75.
- Wagner G.A. (1981) Fission-track ages and their geological interpretation. Nucl. Tracks 5, 15-25.

Table 1. Fission track data for the pre-annealed batch.

Sample	No. of grains	Zircon		Mica	Ratio of counting efficiencies (zircon/mica)
		No. of tracks [10 <sup>5</sup> cm <sup>-2</sup> ]		No. of tracks [10 <sup>5</sup> cm <sup>-2</sup> ]	
Pink	17	462 (5)*	[8.65]	601 (144)* [11.3]	0.77 (0.76)**
Buluk	18	656 (2)*	[6.80]	868 (214)* [9.00]	0.76 (0.75)**

\* Numbers in parentheses are the numbers of uncorrelated tracks.

\*\* Values in parentheses exclude the uncorrelated tracks in zircon.

Table 2. Fission track data for the re-etched batch.

Sample	No. of grains	Zircon		Mica	Ratio of counting efficiencies (zircon/mica)
		No. of tracks [10 <sup>5</sup> cm <sup>-2</sup> ]			
		1st etch	2nd etch		
Pink	26	14 [0.24]	421 (4)* [7.30]	550 (133)* [9.53]	0.77 (0.76)**
Buluk	28	387 [5.56]	421 (25)* [6.05]	528 (132)* [7.59]	0.80 (0.75)**

\* Numbers in parentheses are the numbers of uncorrelated tracks.

\*\* Values in parentheses exclude the uncorrelated tracks in zircon.

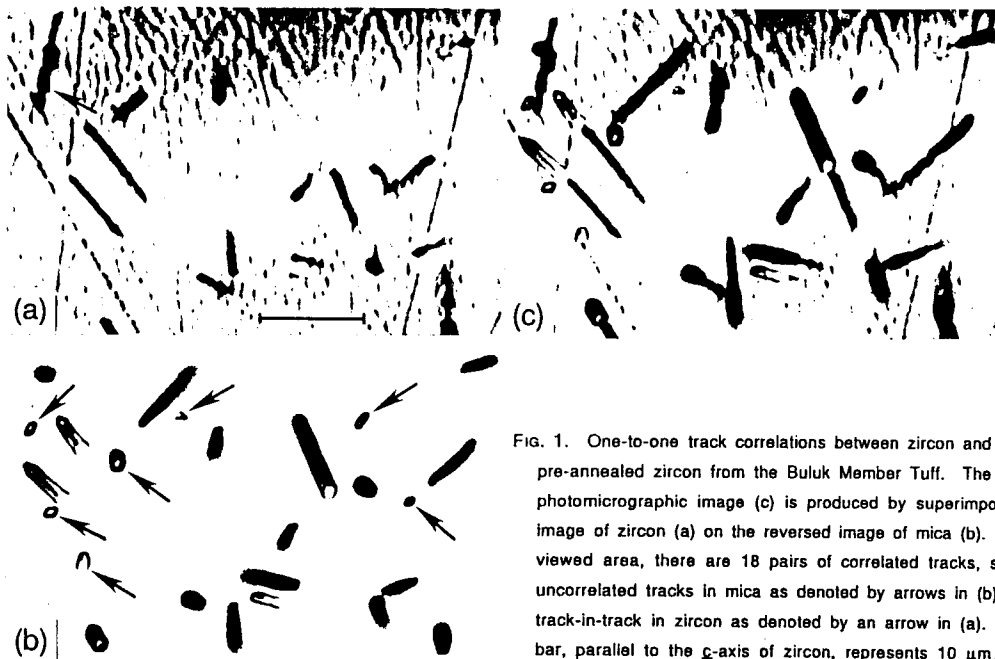


FIG. 1. One-to-one track correlations between zircon and mica for a pre-annealed zircon from the Buluk Member Tuff. The photomicrographic image (c) is produced by superimposing the image of zircon (a) on the reversed image of mica (b). In the viewed area, there are 18 pairs of correlated tracks, seven uncorrelated tracks in mica as denoted by arrows in (b), and one track-in-track in zircon as denoted by an arrow in (a). The scale bar, parallel to the  $\xi$ -axis of zircon, represents 10  $\mu$ m.

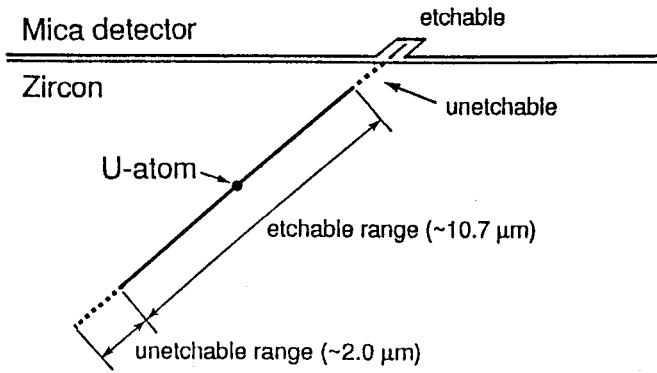


FIG. 2. Schematic illustration of a pair of induced tracks in zircon and mica for the case that the track is etchable only in mica.

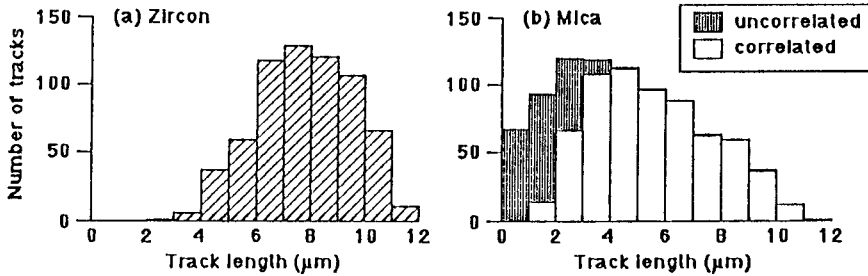


FIG. 3. Histograms of the three-dimensional lengths of induced tracks for the pre-annealed batch of the Buluk Member Tuff: in (a) zircon and (b) mica. The shaded area in (b) represents the number of tracks found only in mica.

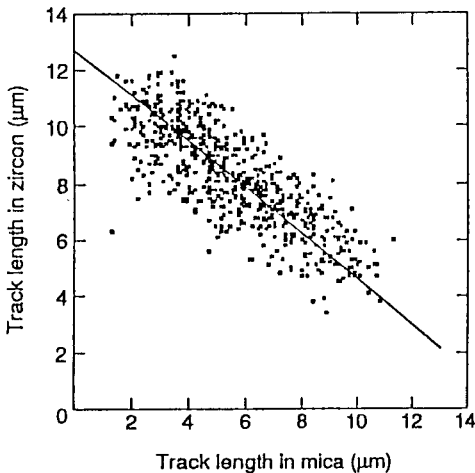


FIG. 4. Relationship between the three-dimensional track-length in zircon and that in mica for each of the correlated tracks in the pre-annealed batch of the Buluk Member Tuff. Each of the track length in zircon was corrected based on an estimated bulk etching of 0.3  $\mu\text{m}$ . The solid line is the reduced major axis (Mark and Church, 1977), obtained from functional analysis.