

# アパタイトのアニーリングと 3次元トラック長測定

精谷正雄・山下透・岩野英樹・檀原徹  
(京都フィッション・トラック)

## 1. はじめに

岩体の熱史解明のためにアパタイトのフィッション・トラック長を測定することが流行っている。メルボルンを中核とする世界の主流派は、水平方向に伸長する confined track の長さを測定している。confined track とは、track-in-track あるいは track-in-cleavage として、結晶内でトラックの両端が観察できるものである。一方ドイツの Wagner は、観察面に投影された semi-track の長さを測ることにより、confined track データを補足することができると論じた。semi-track とは、トラックの一端が観察面によって切られているものである。いずれの方法でも、観察面に水平な面内で2次元の長さのデータを採れば良い。

最近われわれは、トラックの3次元的な長さを手軽に測定できる安価なシステムを作成した。トラック長の3次元測定自体は別に新しい試みではないが、それがルーチンとして行えるようになったのは大きな前進である。そこでさっそく、この3次元トラック長測定システムをアパタイトに適用し、従来の2次元的なデータと比較してみた。

## 2. 実験

実験に用いた試料は Fish Canyon Tuff より抽出したアパタイトである。まず一群のアパタイトを 450°C で2時間アニールして自発トラックを消し、熱中性子フルエンス約  $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-2}$  を照射して誘発トラックを形成した。そのアパタイトをさらにいくつかのアリコートに分け、それぞれを 200-375°C の異なる温度で1時間アニールした。アニールしていない自発及び誘発トラックを含むアリコートもそれぞれ用意した。

アパタイトを研磨して内部面を出した後に、7%  $\text{HNO}_3$ 、20°C、30秒の条件でエッチングし、各アリコートのトラック密度と semi-track 長を測定した。さらに10秒間エッチングを追加し、各アリコートの confined track 長を測定した。各アリコートで 30-60 粒子を測定対象にした。3次元トラック長測定システムの詳細については、ニュース・レター本号において山下透他によって述べられているので、ここでは省略する。

## 3. 結果と考察

### 3-1. トラック密度

誘発トラック密度は当初約  $3 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$  であったが、アニーリング温度 350-375°C にかけて急減し、375°C で約  $7 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$  になった。ちなみに自発トラック密度は約

$1.5 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$  であった。

### 3-2. トラック長

アニールしていない自発及び誘発トラックを含むアリコートの confined-track 長のヒストグラムを、それぞれ図 1 a、b に示す。両者の平均長に、標準誤差以上の有意な差が認められる。

図 1 と同じアリコートにおける semi-track 投影長のヒストグラムを図 2 a、b に示す。また図 3 a、b は、深さ方向の長さも考慮した semi-track 全長のヒストグラムである。いずれの場合も、平均トラック長を求めるに当たって、長さ  $3 \mu\text{m}$  以下のトラックを外した。その理由は、(1) 短いトラックはバルク・エッチングの影響で計数効率が落ちるためにデータが不安定であり、(2) 短いトラックはデータ解析上さほど有用ではなく、除去することによってむしろ解析感度が向上するからである。一方足切り基準を上げすぎると、解析可能な温度範囲が狭くなる。confined-track データで認められたような自発及び誘発トラック間の平均トラック長の有為な差は、semi-track 投影長(図 2)では認め難いが、semi-track 全長(図 3)では検出できた。

図 4 は、アニーリング温度上昇にともなう誘発トラック平均長の減少を、 $1\sigma$  標準誤差とともに示したもので、confined track 長、semi-track 全長それぞれについてプロットした。アニーリング効果を示すパラメータとして、semi-track 全長の平均値は、confined track 平均長に比べてけっして引けをとらない分解能が得られた。特にアニーリングが進んだ  $375^\circ\text{C}$  の段階では、計測トラック本数をかせげる semi-track データの方がむしろ優位に立つ。

### 3-3. トラック方位

semi-track 長の 3 次元計測にともなって、各トラックの c 軸からの真の角度が計算できる(図 5)。すなわち、従来の 2 次元データに比べてずっと豊富な方位的情報が得られるわけである。図 5 c より、アニーリングの異方性は  $375^\circ\text{C}$  で顕著になり、c 軸方向に伸長したトラックがより短くなることが読み取れる。

## 4. おわりに

semi-track 全長データは、semi-track 投影長データに比べてアニーリング効果のモニターとしての分解能が高く、平均トラック長という観点では confined track データにも劣らない分解能が認められた。confined track 長データに対する semi-track 全長データの利点をさらに挙げると、(1) データ取得が効率的で、(2) 各トラックのエッチング程度が比較的均一で、(3) 試料ごとのジオメトリ要素の差が小さく、(4) 方位データが豊富である。トラック密度が低くて confined track 本数をかせぎにくい試料では、semi-track 全長測定のアプローチが特に有効だと考えられる。一方、semi-track 全長データを処理して熱史解析につなげるまではまだ到っておらず、今後の課題である。

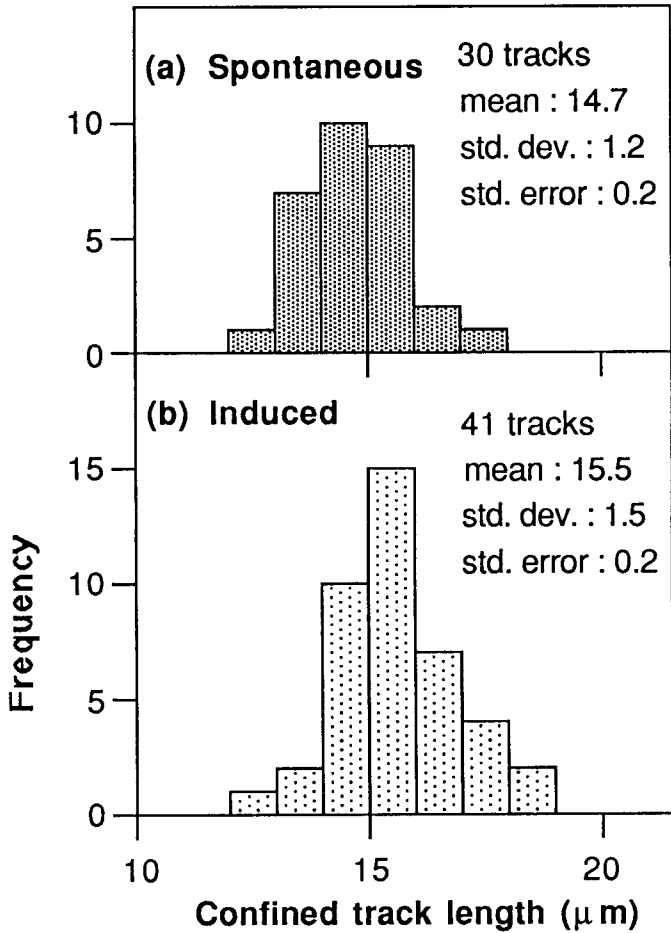


Figure 1. Histograms of confined track lengths of spontaneous and induced tracks in the Fish Canyon Tuff apatite

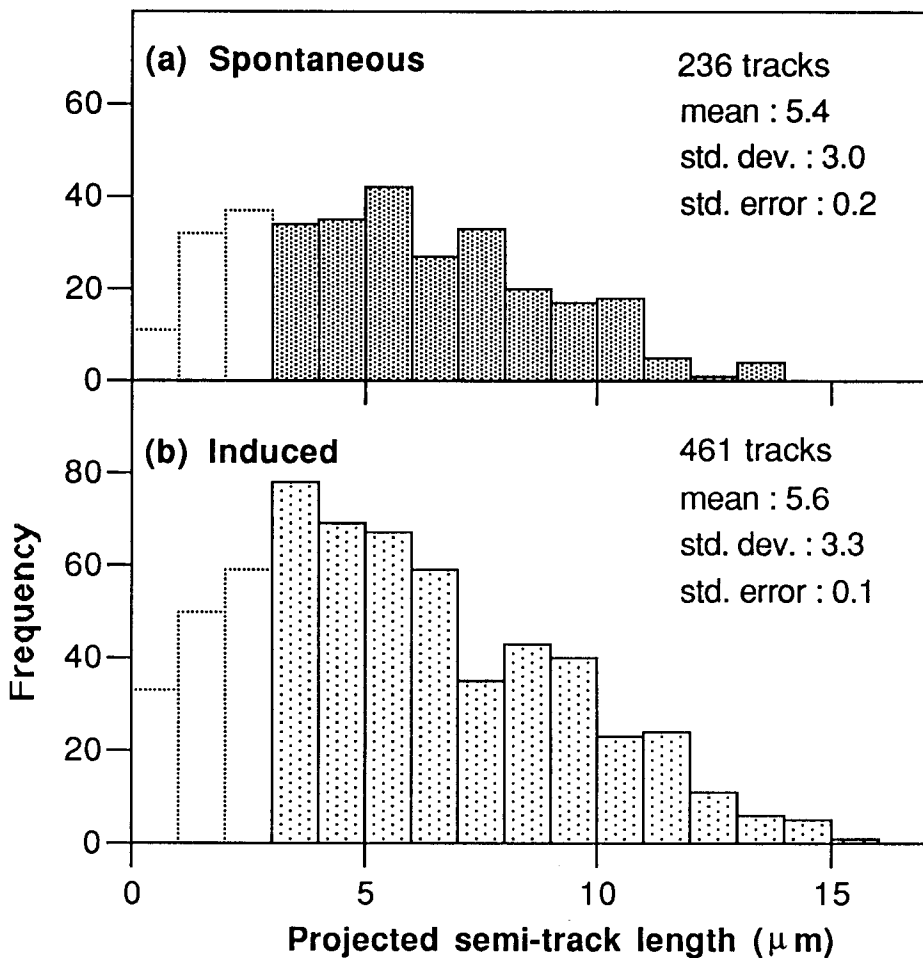


Figure 2. Histograms of projected semi-track lengths of spontaneous and induced tracks in the Fish Canyon Tuff apatite

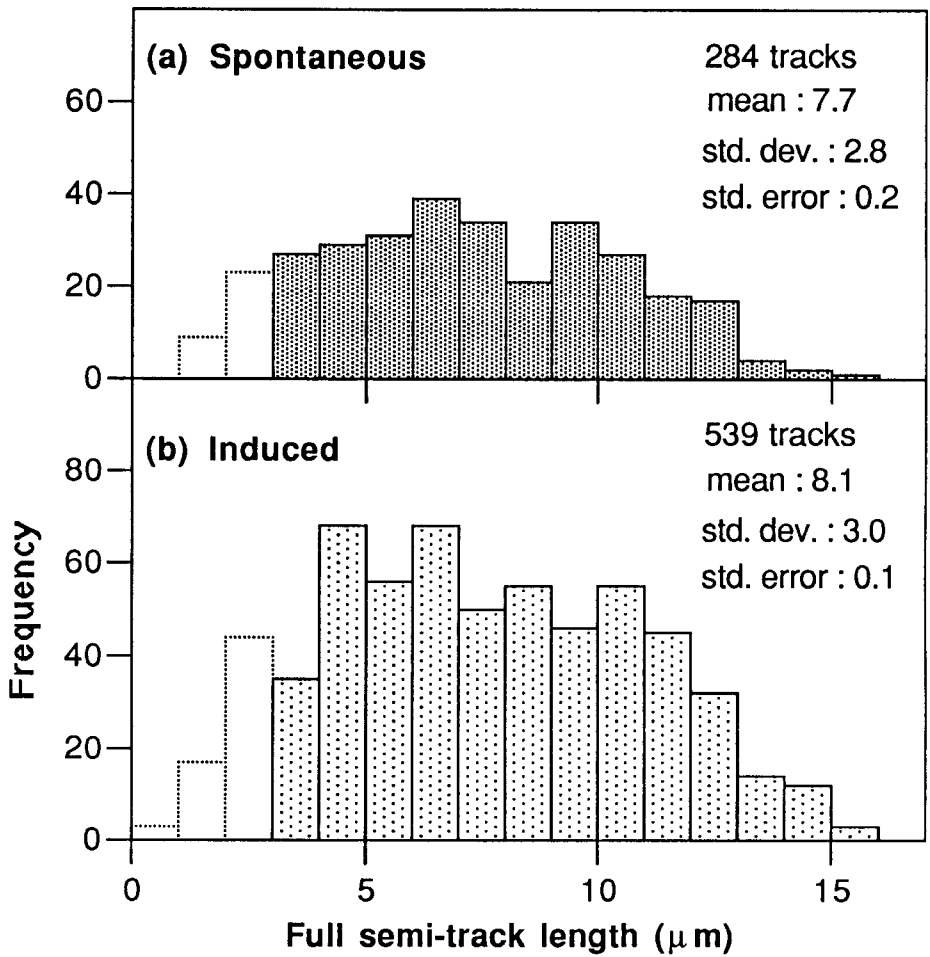


Figure 3. Histograms of full semi-track lengths of spontaneous and induced tracks in the Fish Canyon Tuff apatite

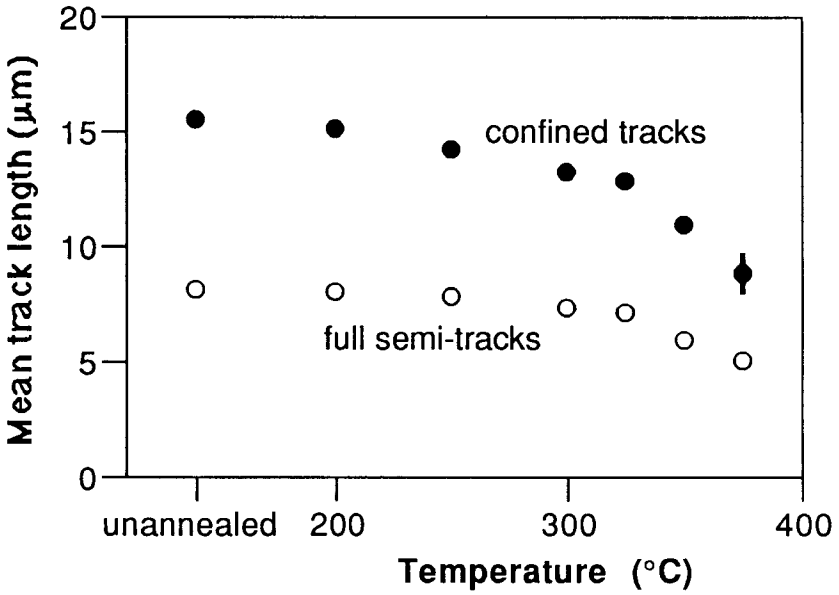


Figure 4. Relationship between the mean induced-track lengths and annealing temperature for confined tracks and full semi-tracks in the Fish Canyon Tuff apatite.

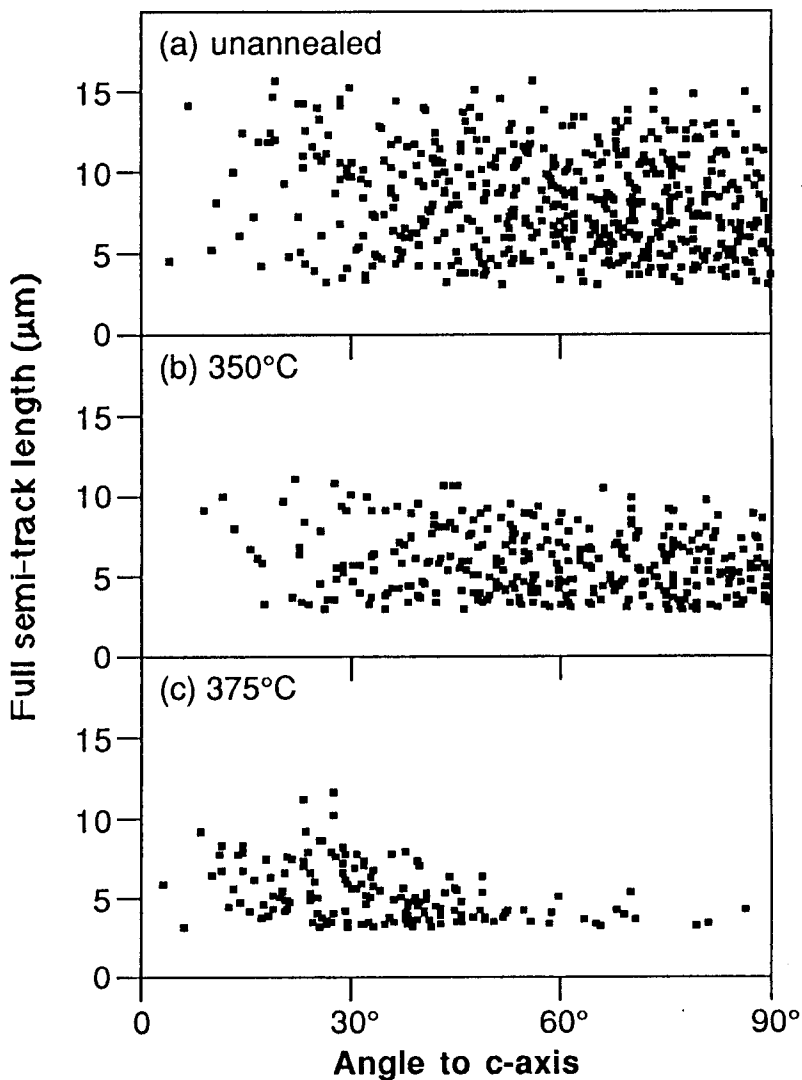


Figure 5. Relationship between full semi-track lengths and the true angle from the c-axis for different aliquots of the Fish Canyon Tuff apatite.