

鉱物中に生じたフィッシュン・トラック(F T)はエッチング法により光学顕微鏡下で認識されるが、はじめのエッチング面を切る潜在(Latent)フィッシュン・トラック(L F T)の中にはエッチングを行なっても観察されないものがある。フィッシュン・トラック年代測定を行なうには、L F Tの密度を正確に求める必要があり、検出できないL F Tや誤って計数されるノイズがあれば適当な修正を加える必要がある。

エッチング後に鉱物面上で観察または識別されないL F Tは、次の三種の類に分けられる。

(1)エッチング面からの伏角 θ が、臨界角 θ_c より小さいトラック：エッチング時間 t の間にエッチング面は $V_e \cdot t$ だけ移動する(V_e : バルクエッチング速度)。トラックのエッチング速度を V_r とすると、 V_r のエッチング面に垂直方向の成分は $V_r \sin \theta$ なので、 $V_r \sin \theta \leq V_e$ であるトラックは出現しない。この効果はエッチング効率 η と呼ばれ、核分裂源が三次元分布をする場合(いわゆる thick source)、 $\eta = 1 - \cos^2 \theta_c$ と表わされる。ガラスのような V_e が大きい物質では η が0.6以下になることもあるが、ジルコンやアパタイトでは通常 $V_e/V_r < 0.01 \sim 0.1$ なので η は0.99以下にならない。

(2)異方エッチングにより出現しないトラック：この影響はGLEADOW(1978)によりスフェーンについて報告され、鈴木達郎(1980)、雁沢(1982)、M. SUZUKI(1984)などによりジルコンについて詳しく検討された。ジルコンについてはC軸方向の V_e に対しそれに垂直方向の V_e が小さいため、自発トラック密度 ρ_s が小さい場合、例えば 10^5 cm^{-2} 程度では20~40%のトラックが検出されないとされた。渡辺他(1987)は ρ_s が 10^4 cm^{-2} 、SUMII et al. (1988)は ρ_s が 10^6 cm^{-2} のジルコンについて、十分なエッチングを与えることにより、トラック密度増加が一定(プラトー)になり方位分布の異方性はほぼ解消され、エッチング異方性による補正が必要ないことを述べた。しかし、雁沢(1982)の言うように、トラック密度の高いものでは密度増加が一定になる前に計数不可能となるため、検出トラックの異方分布による補正が必要かもしれない。主として α トラックによる鉱物の損傷量がエッチング特性に影響を与えられているとされており(GLEADOW, 1981)、個々の実験条件下での長時間にわたる段階エッチングを個々のトラックを識別しながら行なう必要がある。第1図に鮮新世ジルコンの自発及び誘発トラックの段階エッチングの結果を示した。エッチング面の移動により新たに出現したトラックは、このようなトラック増加曲線のプラトー領域で出現し長さがTINT長に近いものと考えられる。L F Tに対するこれらの寄与(prolonged etching effect)を評価し、場合により補正を行なうことが必要となる。

(3)ショートトラック：ジルコンを除くほとんど全ての鉱物のF T年代測定に鉱物の結晶内部面(4π 面)が用いられる。研磨して得られた 4π 面を切るL F Tの核分裂源は面の両側にあるので、理想的には0から最大長(10数 μm)までのトラックが同じ確率で出現する。しかし使用する顕微鏡のトラック検出限界のため浅いトラックは確認されず、油浸対物レンズを用いると見えないトラックがさらに増加する。また、およそ $1 \mu\text{m}$ より短い点状のエッチピットは、F Tとして識別するための判断基準が不足し、計数誤差の原因を生む。正確な

LFTを求めようとするとき、ショートトラックの問題は大きな障害となる。ショートトラックの影響を詳しく評価するには、鉱物試料を互いに密着させ照射を行い、同一の誘発トラックが両側でどの程度識別できるかを検討する方法などが考えられる。外部効果(後述)を無視できる火山岩のジルコンでは結晶外部面を用いることができるので、この影響を無視できる。

理想的なLFTを求めるためには、トラックの検出効率に見かけ上影響を与える次のような要素が考えられ、注意が必要である。

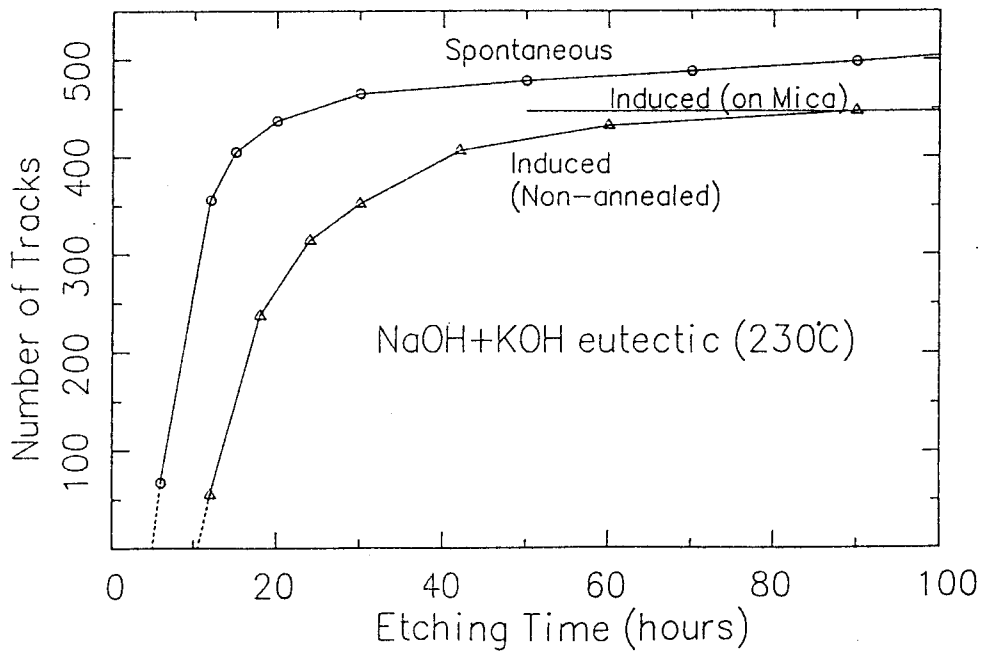
(4) 外部効果: 鉱物の結晶表面(2π 面)を用いる場合、核分裂源となるウランが結晶の周囲や表面(結晶粒間)に存在していれば、自発トラックと誘発トラックの核分裂源が対応せず年代を古く見積ることがある。このような影響は外部効果と呼ばれ、測定に用いる鉱物結晶とその周辺のウラン濃度の比が小さい場合、外部効果が大きくなる。K. SUZUKI(1988)は花崗岩中のジルコン結晶表面(粒間)にウランの異常濃集(付着)を認め、FT年代測定にジルコンの結晶表面を使うべきでないと主張した。鉱物表面に付着するウランは塩酸処理により取り去ることができるので、酸処理前後のウラン濃度がE P M Aにより分析されている。用いられたジルコンはウラン濃度が~数千ppmの異常に高いもので、酸処理後に濃度が半分以下になる粒子もある。通常年代測定に用いるウラン濃度がおよそ500ppm以下のジルコンでは、トラック長分布の点からそのような異常濃集は認められない。すなわち粒間に核分裂源を持つ半分長のトラック頻度は特に多くない。今回、結晶面の酸処理前後のウラン濃度の変化を、いくつかのジルコン試料の同一粒子・同一領域についてトラック法を用いて検討した。結晶表面にマイカを貼り熱中性子照射およびエッチング後の誘発トラックの計数からウラン濃度を求めたが、酸処理前後の濃度変化は認められなかった(第2図)。これらより火山岩のジルコンでは通常外部効果を無視できるが、高ウラン濃度のジルコンは注意が必要である。

(5) ディテクション: 誘発トラックの検出に白雲母のような外部ディテクターを用いる場合、試料面への密着が不十分だと誘発トラックの検出効率が落ち、年代を古く見積ることになる。圧着し過ぎると雲母の表面が剥がれ同様の影響がでる。

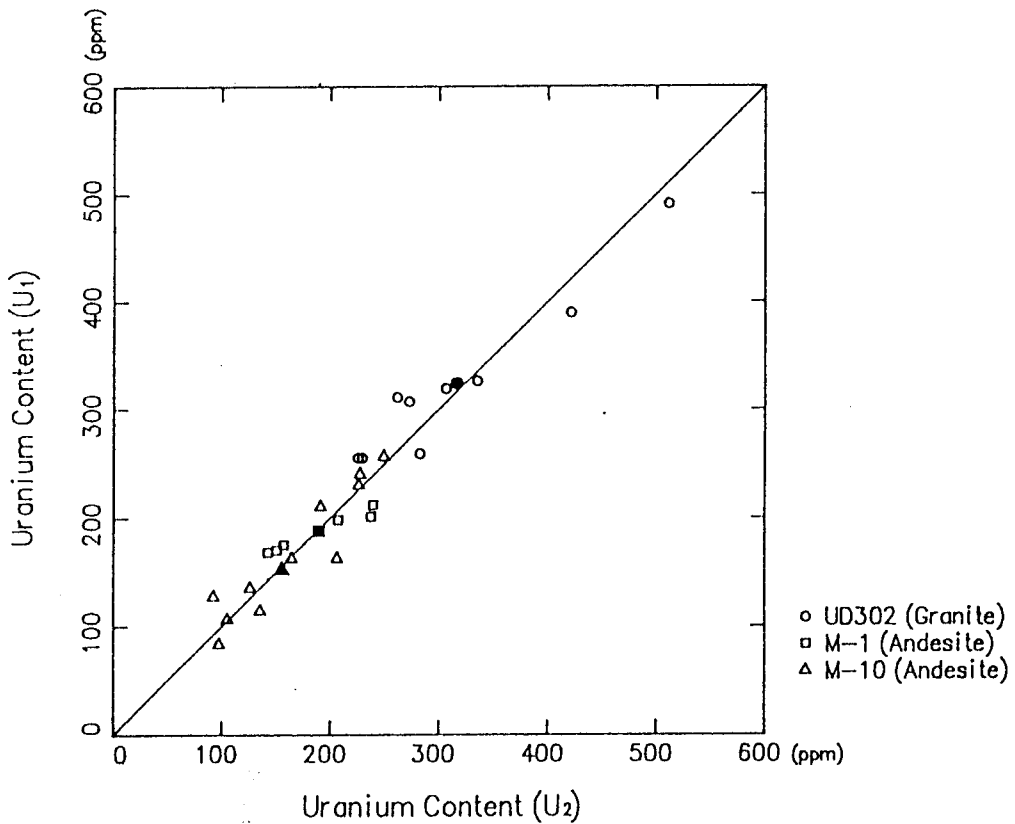
(6) 浸液: 顕微鏡の対物レンズに浸液を用いると分解能は増すが、観察面の上下で屈折率差が小さくなりトラックを検出する能力は落ちる。

(7) 研磨: 結晶内部面を用いる場合、研磨によりジオメトリーを完全に 4π にする必要がある。 4π に達していないと自発トラックの検出が見かけ上不足し、年代を若く見積ることになる。

国際的な同意を得つつある zeta calibration 法は、用いる標準試料と測定試料の両方でLFTが正しく評価されているか、同等の検出効率が寄与していれば利用できる。現段階では年代標準試料の種類が限られており、それらのFTの各検出効率や化学組成等の詳細な検討さえ十分行なわれていない。Zeta値は鉱物間、手法間、測定者間で異なり、また同種の鉱物と同じ手法を用いても α トラック蓄積量や化学組成等により変化する。広範囲に渡る優れた年代標準試料を増やし、それらの各検出効率を検討することにより、多様な試料の年代測定に対応することができる。Zeta calibration法は他の放射年代測定法に従属した方法であり過渡的なものであろう。上述したような各検出効率やドージメトリー等を詳細に検討し、他の方法から独立した方法を目指す必要がある。



第1図 段階長時間エッチングによる鮮新世ジルコン結晶外部面の自発・誘発トラック増加曲線。外部検出材(マイカ)上で計数した同一領域の誘発トラック数も図中に示した。



第2図 ジルコン結晶表面の粒子ごとのウラン濃度。塩酸処理前 (U_2) と処理後 (U_1) 熱中性子照射を行い、マイカ上の誘発トラック密度より求めた。白抜き記号は各粒子に対応し、黒記号はそれらの平均値を示す。