

2つの λf - λf の再検討-

岩野英樹*・檀原 徹*

2つの λf

FT法におけるゼータ値はいくつかの物理定数の積として与えられている。それら1個1個の定数を用いて年代算出するのが絶対較正であり、既知年代をもつ年代標準試料を測定して決めたゼータ値で年代算出するのがゼータ較正である。現在のFT年代測定はすべての手法についてゼータ較正(アパタイトのみ絶対較正が可能)が勧告されている。それは、ゼータ値に含まれる定数のうち ^{238}U の自発核分裂壊変定数(λf)と熱中性子線量測定に関わる定数(B)が不確定なためであることはよく知られている。特に地質時計としての基盤となる壊変定数が確立していないことは、FT法が信頼性に欠けるといふ批判の最大要因であったといえる。壊変定数はこれまで多くの研究例から、最も確からしい値として $7 \times 10^{-17} \text{yr}^{-1}$ と $8.5 \times 10^{-17} \text{yr}^{-1}$ の2つの値に分かれていた。唯一であるはずの λf はどちらなのか、あるいはどちらでもないのがFT法における長年の論争であったが、この解決を避けてFT法を標準化するために他の年代測定法に依存したゼータ較正が導入された(Hurford, 1990)。

しかしながら2つの λf はそれぞれ測定に裏付けられた根拠をもち、実際にそれぞれの λf

を用いた年代測定においてK-Ar法などと比較して妥当な結果が得られてきた。これらの違いはいったいどこにあるのか？ これまでの研究例からおおよそ次のような傾向が指摘できる。

- ① $\lambda f = 7 \times 10^{-17} \text{yr}^{-1}$: ジルコン・アパタイトの外部ディテクター法 (Naeser et al., 1977, Naeser et al., 1981, Hurford & Green, 1983)
- ② $\lambda f = 8.5 \times 10^{-17} \text{yr}^{-1}$: ガラス・アパタイトのポピュレーション(あるいはサブトラックション)法 (Wagner et al., 1975, Thiel & Herr, 1976, Van den haute et al., 1988)

つまりこれは誘導トラックを外部ディテクターで検出するか否かの違いといえる。

最近著者らは外部ディテクター(白雲母)と鉱物のトラック形成のしきい値(registration threshold)の違いを明らかにした (Iwano et al., 1992, 1993; Iwano and Danhara, 1994)。つまりジルコン・スフェーン・アパタイト中のエッチャブルなトラックの先端にそれぞれ $2 \mu\text{m}$, $1.3 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$ の unetchable track range が存在することが、白雲母に対する鉱物ごとのカウント効率を物理的に変化させてしまうのである(表1)。この事実は、トラック検出感度が相対的に高

* (株)京都フィッション・トラック

表1. マイカに対するカウント効率とunetchable rangeの長さの関係

鉱物	カウント効率	unetchable range	$L_{counted}/L_{total}$
マイカ	(1)		
アパタイト	0.92 ± 0.03	$\sim 1 \mu m$	0.89
スフェーン	0.88 ± 0.03	$\sim 1.3 \mu m$	0.83
ジルコン	0.76 ± 0.02	$\sim 2.0 \mu m$	0.73

い白雲母ディテクターを誘導トラック検出に用いた測定($\lambda f=7 \times 10^{-17} y^{-1}$ を支持)にも影響していたことを示唆する。すなわちFT法の原理原則に従って、自発・誘導トラック密度を同じカウント効率(同一物質・同一ジオメトリー)で測定できる手法に支持される $\lambda f=8.5 \times 10^{-17} y^{-1}$ がより確度の高い値であると考えられる。

例えばジルコンの年代測定を考えよう。ジルコンと白雲母では約25%も検出効率が異なることがわかっている(zircon/mica \approx 0.75: Iwano et al., 1992)。仮にジルコンを外部ディテクター法とポピュレーション法で年代測定した場合、外部ディテクター上の誘導トラック密度はジルコン中と比較して約25%も多くカウントされるので、同じ定数を用いて年代算出してもポピュレーション法による年代値は外部ディテクター法より25%も古くなってしまうことになる。この差異は2つの λf のひらき(約20%)にほぼ匹敵し、 λf 値の選び方でその差異を補っていたのではないだろうか? というのが筆者らの仮説である。つまり、ジルコンの外部ディテクター法は $\lambda f=7 \times 10^{-17} y^{-1}$ で見かけ上うまく機能し、方法論上あまり用いられなかったジルコンのポピュレーション法は $\lambda f=8.5 \times 10^{-17} y^{-1}$ で機能するということである。

ゼータ較正值

現在 λf に関して身近に扱えるものとしてゼータ値がある。著者の一人(岩野)が求めた鉱物ごとおよび手法間ごとのゼータ値は有意に異なる値となっており(表2左)、その傾向は鉱物ごとのカウント効率の違いと調和的である。しかし、ゼータ値には鉱物ごとのカウント効率だけではなく、他にも影響を与える要素が含まれている(表3)。

そこで各鉱物ごとに求められたゼータ値について比較的影響の大きい要素①トラック形成のしきい値にかかわるカウント効率差(表1のデータ)、②アパタイトの自発トラック長短縮化(Gleadow et al., 1986のデータ)、③Th/U存在比(Durango apatiteのみ: 本多ほか, 1990のデータ)について補正を行った(表2右)。ただし、使用した立教大原子炉RSRとオレゴン州立大原子炉サーマルカラム(TC)のAuに対するカドミ比はそれぞれ ~ 3 と14であり、熱化状態の最低条件(Green & Hurford, 1984)を満たすので、両原子炉のゼータ値への影響は小さいと仮定した。また、ジオメトリーファクターは理想値を用いた。測定システムに関する要素は、同一測定者が同一システムを用いているため考慮していない。

結果として、補正後のゼータ値はスフェーン

表2. 鉱物-手法ごとのゼータ値

手法 / 鉱物	原子炉	$\zeta \pm 2\sigma$ (未補正)	$\zeta \pm 2\sigma$ (補正後)
P O P / A P	OSU, TC	277 \pm 10	248 \pm 10
E D M / A P	OSU, TC	304 \pm 8	252 \pm 18
E D M / S P	OSU, TC	333 \pm 10	293 \pm 22
E D 1 / Z R	Rikkyo, RSR	352 \pm 6	268 \pm 14
E D 2 / Z R	Rikkyo, RSR	334 \pm 8	254 \pm 14

P O P : ポピュレーション法 E D M : 外部ディテクター法
 E D 1, E D 2 : それぞれ結晶内部面, 結晶外部面を用いた外部ディテクター法

表3. ゼータ値に影響を与える要素

要 素		計算式への 影 響	影 響 の 有 る 対 象	影 響 の 程 度
カウント効率	トラック形成のしきい値	ρi	外部ディテクター法	~ 25% * ¹
	ジオメトリファクター	ρs	外部ディテクター法	影響あり * ²
原子炉 特性	熱化状態	$\rho i \cdot \rho d$	熱化状態の悪い 原子炉	~ 5% * ³
年代標準 試料	自発トラックの短縮化	ρs	アパタイト	~ 10% * ⁴
	Th/U存在比	ρi	アパタイト スフェーン	~ 3% * ⁵
	標準年代値	T std	測定手法 (K-Ar, Rb-Sr等) 測定鉱物	~ 2% * ⁶
測定システム	解像度	$\rho s, \rho i,$ ρd	顕微鏡(観察倍率) レンズ(Dry, Oil)	影響あり * ⁷
	トラック識別基準	$\rho s, \rho i,$ ρd	測定者個人	影響あり * ⁸

* ゼータ値: $\zeta = T \text{ std} \cdot \rho s / \rho i \cdot 1 / \rho d$ (簡略式)

T std: 標準年代値, $\rho s, \rho i$: 試料の自発, 誘導トラック密度, ρd : 標準ガラスの誘導トラック密度

*1: Iwano et al., (1992), *2: 研究者によって意見が異なる (Reimer et al., 1970; Gleadow & Lovering, 1977等), *3: Tagami & Nishimura, (1992), *4: Gleadow et al., (1986), *5: 本多ほか (1990), *6: 年代標準値の誤差, *7: Green, (1985) など, *8: 例えば Fish Canyon Tuff apatite の ρs の違い (Naeser et al., 1980)

を除き誤差内で一致した。スフェーンについては特にジオメトリーファクターの検討を要すると考えている。補正前約20%の違いが認められたアパタイトのポピュレーションのゼータ値とジルコンの外部ディテクター法のゼータ値が、補正後一致することは、2つの λ がポピュレーション法と外部ディテクター法でそれぞれ機能していた状況をうまく説明し、著者らの仮説を裏付ける。

第一近似として、ディテクターと鉱物間のトラック検出効率の違い等を補正することにより、鉱物間そして手法間で共通の較正基準が示され

た。表2に示されたおよそ250という見慣れないゼータ値からはたして $\lambda = 8.5 \times 10^{-17} \text{y}^{-1}$ が導き出されるのか？これを解くカギはB値にある。以下次号に続く。

*1: Iwano et al., (1992), *2: 研究者によって意見が異なる(Reimer et al., 1970; Gleadow & Lovering, 1977等), *3: Tagami & Nishimura, (1992), *4: Gleadow et al., (1986), *5: 本多ほか(1990), *6: 年代標準値の誤差, *7: Green, (1985)など, *8: 例えばFish Canyon Tuff apatite の ρ sの違い(Naeser et al., 1980)