

鴈澤好博（北海道教育大学），本多照幸（武蔵工大原研）  
高見保清（立教大原研）

## A. はじめに

フィッション・トラック年代測定法は純粋な熱中性子フルエンスのみが、誘発核分裂トラックに寄与していると言う前提のもとに年代値が決定されている。しかし、実際の原子炉の中性子スペクトルは複雑で、核分裂は①  $^{235}\text{U} + \text{thermal neutron}$  による誘発核分裂トラックの他に、②  $^{235}\text{U} + \text{epithermal neutron}$ 、③  $^{238}\text{U} + \text{fast neutron}$  や④  $^{232}\text{Th} + \text{fast neutron}$  の核分裂が生成する。

筆者らは、これまで主に武蔵工大の照射溝や立教炉 R S R において、熱中性子フルエンスの絶対測定を試みたが、今回はさらに、立教炉のサーマルコラム（T C）や F 溝でも熱中性子フルエンスの絶対測定や誘発核分裂トラック密度（ $\rho d$ ）の測定を進め、両者の相関値（B 値）についての検討を進めた。本論ではこの結果について述べる。

## B. 実験

### a) 中性子照射

照射試料は、標準ガラス SRM962a, CN-1, JR1 を用い、ガラス研磨面に貼付した白雲母を外部ディテクターとした。Co モニターと合わせてポリ袋に封入した。

中性子照射は、2 種の照射場で行った。第 1 は、立教炉（TRIGA II 型, 100 kW）の F リング照射孔（F-24c）である。第 2 は立教炉の熱中性子柱（T.C.）である。これらの照射はいずれも裸及び Cd カバー照射を組み合わせておこなった。なお、Cd 照射は試料を 1 mm 厚のカドミウム（Cd）カプセルに封入したものである。

### b) 標準ガラスのトラック計測

標準ガラス上の誘発核分裂トラック密度は、標準ガラス上に貼付した白雲母（外部ディテクター法）で決定した。白雲母のエッチャントには 48% HF を用い、エッチング条件は室温で約 30-50 分間である。トラックの計測は NIKON OPTIPHOT を用いて、600 倍でおこなった。

## C. 結果および考察

### 1) 熱中性子フルエンスの決定

熱中性子束（ $\phi_{th}$ ）は、媒質温度に応じたマックスウェル分布を仮定することにより本多ほか（1986）の方法で決定した。その際、Au および Co の放射化断面積（ $\sigma_a$ ）は本多ほか（1986）の方法により補正し、実効断面積とした。また、カドミウム比（ $R_{cd}$ ）による補正および Cd が熱外中性子の束の一部（0.1~0.5 eV）を吸収するための補正（ $F_{cd}$ ）を行った。

## 2) 標準ガラスの誘発核分裂トラック密度と B th の決定

熱中性子だけから生成するフィッシュン・トラック密度 ( $\rho_{d \cdot th}$ ) を決定するため、裸照射と Cd フィルターを施した照射実験により、それぞれのフィッシュン・トラック密度 ( $\rho_{d \cdot th}$ ) を測定した。 $^{238}\text{U}$  と  $^{232}\text{Th}$  の影響を無視すれば  $\rho_{d \cdot th}$  は、次式で表すことができる。

$$\rho_{d \cdot th} = \rho_d - (1 - T_{cd}) \cdot F_{cd} \cdot (\rho_{d \cdot cd}) \quad (1)$$

ここで、 $\rho_d$ : Cd カバーしないガラスの  $\rho_d$  値,  $T_{cd}$ : 熱中性子の Cd カバーに対する透過率 (1mm 厚では  $10^{-6}$ ) ;  $F_{cd}$ : Cd が熱外中性子束の一部 (0.1 ~ 0.5 eV) を吸収するための補正係数 (2.04: 本多ほか, 1987);  $\rho_{d \cdot cd}$ : Cd カバーした標準ガラスの  $\rho_d$  値。

B th 値は上記の熱中性子フルエンス ( $\Phi_{th}$ ) と標準ガラスの  $\rho_{d \cdot th}$  から求めた (FLEISCHER et al., 1975)。

## D. 各照射場の B th の比較

### 1) 武蔵工大炉照射溝

武蔵工大炉照射溝で 962a の B th の測定が繰り返し行われた (Ganzawa et al., 1990)。これらは 20 分 ~ 360 分の裸照射と 60 分 ~ 300 分の Cd 照射を施したもので、 $\phi_{th}$  はほぼ  $5.3 \sim 6.6 \times 10^{11} \text{ ncm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$  の範囲にある。46 回の照射実験の結果得られた B th の平均は SRM962a で  $(7.49 \pm 0.32) \times 10^9$ , SRM613 で  $(7.65 \pm 0.33) \times 10^9$  である。なお、中性子フルエンスと誘発核分裂トラックで補正を行わない場合の B の平均はそれぞれ  $6.06 \times 10^9$ ,  $6.26 \times 10^9$  となる。

### 2) 立教炉サーマルコラム

立教炉 TC では 2 回の実験を行い、R912 では裸照射 6 時間、Cd 照射 6 時間の条件でまた、R932 では裸照射 6 時間、Cd 照射 18 時間の条件でおこなった。熱中性子フラックスおよびフルエンスは表 - 1 の通りである。照射位置が異なっているため、両実験のフラックスに約 7 倍の違いがある。また、誘発核分裂トラック密度は裸照射で  $10^4$  オーダーであるが、Cd 照射では  $10^2$  オーダーできわめて少ない。Cd 照射のトラック密度はバックグラウンドとほぼ同じであり、生成するトラックはほとんどないものと推定される。したがって、標準ガラスのカドミ比は R962a でも  $30 \gg$  となる。この結果に基づいて、本論では  $\rho_d$  をそのまま  $\rho_{d \cdot th}$  とした。

両実験の各々の標準ガラスの B th も表 - 1 に示した。R912 と R932 では前者の方が高い値をとっている。また、ガラスでは JR-1 > 962a > CN-1 の順となっている。それぞれの平均値は JR-1 で 8.67, 962a で 5.93, CN-1 で 2.16 である。

### 3) 立教炉 F リング

立教炉 F リングでは 20 分 ~ 60 分の 3 回の照射実験を行った。それぞれの熱中性子フラックスとフルエンスを表 - 2 に示した。標準ガラスの誘発核分裂トラック密度測定では  $\rho_{d \cdot cd}$  の値が高く、そのために標準ガラスの平均カドミ比は 962a で 5.08, JR-1 で 8.43, CN-1 で 11.13 の低い値をとる。F リングの場合、高速中性子や

表 - 1 立教炉 TC における Bth と  $\zeta$  a·th

	Code	$\phi$ th ( $\times 10^9$ )	$\Phi$ th ( $\times 10^{14}$ )	Irr. time (hrs)	$\rho$ d·th ( $\times 10^4$ )	Bth ( $\times 10^9$ )	$\zeta$ a·th
(R912)	962a	7.57	1.64	6	2.32	7.07	371.06
(R932)	962a	1.06	2.29	6	0.45	5.09	267.14
(R932)	962a	1.06	2.29	6	0.41	5.64	296.01
(R912)	JR-1	7.57	1.64	6	1.57	10.45	548.46
(R932)	JR-1	1.06	2.29	6	1.57	6.89	361.62
(R912)	CN-1	7.57	1.64	6	6.71	2.44	128.06
(R932)	CN-1	1.06	2.29	6	1.22	1.88	98.67
(R932)	961	1.06	2.29	6	4.19	0.55	28.87
(R932)	961	1.06	2.29	6	3.97	0.58	30.44
MIT	(962a)					7.49	392.3
MIT	(CN-1)					2.45	128.6

表 - 2 立教炉 fリング における Bth と  $\zeta$  a·th

	Code	$\phi$ th ( $\times 10^{12}$ )	$\Phi$ th ( $\times 10^{15}$ )	Irr. time (min)	$\rho$ d·th ( $\times 10^5$ )	Bth ( $\times 10^9$ )	$\zeta$ a·th
(R912)							
(CN-1)							
	Co-1	1.45	1.74	20	5.73	3.04	159.55
	Co-3	1.47	3.52	40	11.16	3.15	165.33
	Co-5	1.36	4.89	60	16.06	3.04	159.55
(962a)							
	Co-1	1.45	1.74	20	1.45	12.00	629.81
	Co-3	1.47	3.52	40	3.10	11.35	595.69
	Co-5	1.36	4.89	60	4.86	10.06	527.99
(JR-1)							
	Co-1	1.45	1.74	20	1.19	14.62	767.32
	Co-3	1.47	3.52	40	2.55	13.80	724.28
	Co-5	1.36	4.89	60	4.18	11.70	614.06
MIT	(962a)					7.49	392.3
MIT	(CN-1)					2.45	128.6

エピサーマル中性子の比率が高いので、熱中性子だけで生成するトラックと熱外領域の中性子で生成するトラックを区分する必要がある。したがって、 $\rho d$ は適切な補正が必要となる。表-2に示した $\rho d \cdot th$ は(1)式から仮に計算したものであるが、 $B_{th}$ 値は照射溝やTCの値と大きく異なっている。

#### 4) Bの照射場による違いについて

熱中性子フルエンスの絶対測定は、フィッション・トラック年代測定において必要であるが、その際、各照射場において正確な中性子スペクトルが決定されることが求められる。しかし、実際の照射場のスペクトルを明らかにして、熱中性子フラックスだけにより生成した誘発核分裂トラックを決定することは難しい。しかし、上記の実験から照射場の一般的なスペクトルとして、次のような相対的なスペクトル変化は明かである。

T C	Thermal>>epi=fast=0
R S R	Thermal>epi>fast
F ring	Thermal>fast>epi

このスペクトル変化に基づけば、TCでの繰り返し実験によって得られるBは補正のない値として、最も信頼できるはずである。しかし、現在のところ実験回数が少なく、立教炉のフラックスも低いので、安定した値は得られていない。また、Fリングではfast neutronの比率が高く、B値を決定するための適切なFcdは未決定である。

本来、どのような照射場であろうが、適切な $\phi$ 測定と $\rho d$ 補正が行われれば、Bは一定であるはずである。B値が照射場により一定しないことの背景には、エネルギーレベルの異なる中性子とU, Thの核反応比率がよくつかめていないことがある。こうした点の追究が今後の課題である。と法が一層深められるには、どの値だけに捕らわれるのではなく、数字の裏にある意味を吟味することが必要だろう。

#### 参考文献

- FLEISCHER et al., 1975, Nuclear tracks in solids. Principles and applications. Univ. of California Press, Berkeley, Calif.
- Ganzawa Y., Honda T. and Nozaki T. (1990) Absolute measurement of thermal neutron fluence and fission track dating. Track Meas., 17, 273-276.
- 本多ほか, 1986, フィッション・トラック年代測定における熱中性子フルエンスの絶対測定. 地球科学, 41, 281-289.