

# 原子炉の中性子スペクトルとフィッション・トラック

鷹澤好博（北海道教育大学），本多照幸，野崎徹也（武蔵工大原研）

## 1. はじめに

フィッション・トラック年代測定において，照射原子炉の中性子フルエンスを正確に決定することは最も重要な課題のひとつである。

筆者らは，熱中性子フルエンスの絶対測定を進めるために，原子炉の実際の中性子スペクトルと核反応との関係を明らかにすることを目指してきた。これまで標準ガラス中の核反応の生成率の高い  $^{235}\text{U}$  + thermal neutron 反応について検討を進め，さらに， $^{235}\text{U}$ +epithermal neutron,  $^{238}\text{U}$ +fast neutron や  $^{232}\text{Th}$ +fast neutron の核反応の生成率についても検討を進めてきた。

筆者らは，この目的のために中性子エネルギーの異なる照射場において，裸照射とCd照射を組み合わせて標準ガラスのトラックの生成率の検討を進めている。武蔵工大炉の結果は鷹澤ほか(1992)などで報告済みなので，この報告では立教炉で進めた実験結果の概要についてまとめる。

## 2. 実験

実験は試料の調整後，1. 熱中性子照射，2. 誘発核分裂トラックの計測の手順でおこなった。以下，実験の手順とその方法について述べる。

### 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モニターとともにこれらをポリ袋に封入した。

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)のリング照射孔(F-24c)で照射時間は20分，40分，60分である。第2は立教炉の熱中性子柱(T.C.)で照射時間は6時間である。いずれも1991年に行ったものである。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でおこなった。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。

## 3. 結果および考察

### a) 照射場によるトラックの生成率の違い

これまで， $^{235}\text{U}$ による核分裂トラックの生成には，熱中性子のみが寄与するという前提のもとに議論が進められてきた。しかし，実際の核分裂トラックの生成には，熱中性子による ① $^{235}\text{U}$

表-1 標準ガラスの誘発核分裂トラック密度の実測値と補正值

F-24C	irrad.	$\rho_d$	$\rho_{d \cdot cd}$	$\rho_{d \cdot th}$	$\rho_d / \rho_{d \cdot cd}$
	time	( $\times 10^5$ )	( $\times 10^5$ )	( $\times 10^5$ )	
962a	20min.	2.59	0.56	1.45	4.60
	40min.	5.08	0.97	3.10	5.26
	60min.	7.84	1.46	4.86	5.37
					(mean) 5.08
CN-1	20min.	7.06	0.65	5.73	10.95
	40min.	13.55	1.17	11.16	11.54
	60min.	19.75	1.81	16.06	10.91
					(mean) 11.13
JR1	20min.	1.64	0.22	1.19	7.63
	40min.	3.37	0.40	2.55	8.49
	60min.	5.36	0.58	4.18	9.18
					(mean) 8.43
T.C.					
		( $\times 10^4$ )	( $\times 10^4$ )	( $\times 10^4$ )	
962a	6h.	2.32	0.07	2.18	31.82
CN-1	6h.	6.71	0.04	6.63	169.02
JR-1	6h.	1.57	0.02	1.53	78.89

+ thermal neutron の核反応に加えて、熱外中性子と速中性子が寄与し、特に、② $^{235}\text{U} + \text{epithermal neutron}$ の核反応はトラック密度決定の上で無視し難い。そこでCd照射実験により、無限希釈の熱外中性子共鳴積分を用いて、①により生成するフィッション・トラック密度を評価した。

①のみから得られる誘発核分裂トラック密度( $\rho_{d \cdot th}$ )は次式で与えることができる(本多ほか, 1987)。

$$\rho_{d \cdot th} = \rho_d - 2.04 \rho_{d \cdot cd} \quad (1)$$

ここで、 $\rho_d$ は裸照射による誘発核分裂トラック密度、 $\rho_{d \cdot cd}$ はCdカバー照射による誘発核分裂トラック密度である。

裸照射実測密度( $\rho_d$ )およびCd照射実測密度( $\rho_{d \cdot cd}$ )と(1)式から得られる誘発核分裂トラック密度( $\rho_{d \cdot th}$ )を表-1に示した。表の結果から明らかなように、F-24cにおける $\rho_{d \cdot th}$ の $\rho_d$ に占

表-2 標準ガラスのUおよびThの特性

glass	U(ppm)	$^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$	Th(ppm)	Th/U
962a	37.38	418.06	37.79	1.01
CN-1	35.4-43.7	137.7	0.37-0.44	0.01
JR-1	9	137.77	26.5	2.94

める割合は55%~88%, T.C.のそれは94%~99%であった。つまり、この値は全生成トラックに占める $^{235}\text{U}$  + epithermal neutronのトラック密度を示している。したがって、 $\rho_a/\rho_{a\cdot\text{Cd}}$ をとるとF-24cでは5.03~11.13, T.C.では31.82~169.02となる。これらの値は照射場のCd比の違いに対応した値を示していると言える。なお、これまでおこなった武蔵工大炉の照射溝の $\rho_a/\rho_{a\cdot\text{Cd}}$ は962aで $21.3 \pm 3.6$ , CN-1で $42.9 \pm 7.0$ であった。このように第1次近似として、それぞれの照射場の中性子エネルギー分布が各標準ガラスの核反応比率を規定していると言える。したがって、(1)式にもとづいて、真の誘発核分裂トラック密度を決定する上で測定誘発核分裂トラック密度を補正することが有効であるし、厳密な中性子フルエンスを決定するために不可欠である。

b) 標準ガラスの特性とトラックの生成

次にガラスの特性からみた誘発核分裂トラック密度について検討する。表-2は標準ガラスのUおよびThの特性について示したものである。誘発核分裂トラックは標準ガラスのこの特性に従って生成される。

例えば、表-3は今回行った実験と武蔵工大炉照射溝および立教炉R.S.R.の裸照射の各ガラスの誘発核分裂トラック密度( $\rho_a$ )比を示したものである。表の値は近似しているように見えるが、ガラスの持つU含有量や $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ の違いを大まかに反映していることを見逃してはならない。

第2次近似でより厳密に核反応の中身を検討することが必要で、表-2に示した各ガラス固有

表-3 各標準ガラスの裸照射の誘発核分裂トラック密度比

code	CN1/962a	JR1/962a	CN1/JR1	CN2/962a
R912(F24c)	2.67	0.66	4.00	
R912(T.C.)	2.89	0.68	4.27	
R911(R.U.)	3.16	0.76	4.17	2.88
894(M.I.T.)	3.11	0.72	4.30	

のU同位対比とTh/Uがポイントとなる。F-24cにおける標準ガラス間の $\rho_d/\rho_{d\cdot ca}$ の違いは、① $^{235}\text{U}$  + thermal neutron反応に加えて、② $^{235}\text{U}$ +epithermal neutron, ③  $^{238}\text{U}$ +fast neutron や ④  $^{232}\text{Th}$ +fastneutronの核反応生成率の違いに基づいている。

たとえば、962aとCN-1を比べた場合、U含有量はほぼ同じだが同位対比が3倍程度異なるので、②反応はCN-1で高い確立で起こるはずである。それにもかかわらず、CN-1の $\rho_d/\rho_{d\cdot ca}$ が高いのは、962aで③④反応が高い確立で起こっているためとみられる。また、CN-1とJR-1を比べた場合、U同位対比が同じであるのに  $\rho_d/\rho_{d\cdot ca}$  にわずかの差異が認められるのは、Th/UにおいてJR-1が高い比率を持つためと考えられる。

このように照射場の違いによる中性子のエネルギー分布の差異つまりCd比の差異、さらに標準ガラスのU同位対比やTh/Uを考慮にいれた核反応の生成率について、より詳細な実験が必要で、こうした検討に基づいた中性子フルエンスの決定がフィッション・トラック年代測定に必要である。

#### 文献

- 鴈澤好博・本多照幸・野崎徹也,1992:武蔵工大炉における熱中性子フルエンスの安定性とF.T.年代。F.T.ニュースレターNo.5, 4-7.
- 本多照幸・鴈澤好博・野崎徹也,1987: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.