

1 はじめに

現在、国内でフィッション・トラック法に最も多く利用されている原子炉は、立教大学と武蔵工大のTRIGA型原子炉で、共に出力100kwである。他に京都大学と東海原研には、3Mwをこえる高出力原子炉ある。出力が高くなると熱中性子線量が増え照射時間が短くなり時間的誤差が多くなることや試料照射孔が狭いなどフィッション・トラック法には不向きとされてきた。しかし、筆者は実際に東海原研のJRR-4を利用してフィッション・トラック法による年代測定を続けてきたが、指摘される点も技術的に問題ではなく、さらに照射手続きや照射費用などで有利な点もあり、年代測定に利用できることがわかった。今回は、東海原研原子炉JRR-4でのフィッション・トラック年代測定の現状と実際の測定例を報告する。

2 測定法

東海村原子力研究所発行の“共同通信”によると原子炉JRR-4の特性について、1インチ照射孔での熱中性子線量： $4.0 \times 10^{13} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 、速中性子線量： $7.5 \times 10^{12} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$ 、カドミ比：3.9となっている。しかし、この値はあくまでも、原研で求めた値でありそのまま使用する訳にはいかない。そこで筆者は、フィッション・トラック法による熱中性子線量を測定した。方法としてまず、標準資料であるFCT (T=27.8±0.8Ma)とBMT (T=16.2±0.2Ma)とTRD (T=58.7±1.1Ma)の含まれているジルコンと標準ガラス(962a、JP-1、CN-1)を原研JRR-4原子炉で熱中性子照射を行い、ジルコンでの自発飛跡密度(ρ_s)、誘発飛跡密度(ρ_i)、標準ガラスでの誘発飛跡密度(ρ_d)から ξ 値を求めた。今回は表1に示したように16試料9回の照射を行った。その結果、 $\xi_{962a} = 392.8 \pm 11.6$ 、 $\xi_{JP-1} = 502.8$ 、 $\xi_{CN-1} = 129.0$ が得られた(図2)。

次に、 $\xi = (B \cdot \sigma_f \cdot l) / \lambda f$ よりB値を算出した。その結果 $B_{962a} = 6.60 \times 10^9 \text{n/t}$ 、 $B_{JP-1} = 7.32 \times 10^9 \text{n/cm}^2$ 、 $B_{CN-1} = 2.85 \times 10^9 \text{n/cm}^2$ が求まった。ただし、 $\sigma_f = 5.77 \times 10^{-24} \text{cm}^2$ 、 $\lambda f = 7.03 \times 10^{-17} / \text{y}$ 、 $l = 7.253 \times 10^{-3}$ の値を使用した。

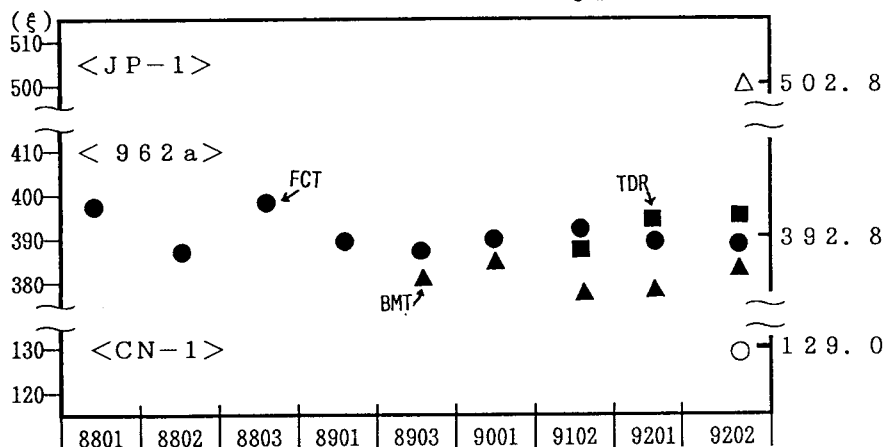
<表1 標準試料の分析表及び ξ 値>

番号	記号	標準試料名	鉱物名	粒子数	自発飛跡 $\rho_s (\times 10^5) N_s$	誘発飛跡 $\rho_i (\times 10^6) N_i$	標準ガラス 名称 $\rho_d (\times 10^4) N_d$	ξ 値	ウラン含有量	FT年代 (Ma)
1	8801	FCT-(01)	Zircon	34	2.53 2895	2.64 3019	962a 7.32 3638	396.5±12.5	268	27.6
2	8802	FCT-(02)	Zircon	36	2.62 3146	2.68 3220	962a 7.32 3630	388.7±11.7	281	28.4
3	8803	FCT-(04)	Zircon	35	2.48 2703	2.66 2896	962a 7.40 3606	402.5±12.7	274	27.2
4	8901	FCT-(06a)	Zircon	35	2.75 2973	2.86 3089	962a 7.30 3664	394.7±12.1	286	26.7
5	9001	FCT-(07)	Zircon	30	2.88 3212	2.98 3321	962a 7.32 3686	392.7±11.7	298	27.8
6	9102	FCT-(08b)	Zircon	35	2.40 3181	3.14 4170	962a 9.24 4620	394.8±11.0	311	27.6
7	9102	FCT-(09)	Zircon	34	2.41 3181	3.14 4170	962a 9.24 4620	394.6±11.7	301	27.7
8	9202	FCT-(10)	Zircon	35	2.67 3882	3.53 5101	962a 9.37 4687	390.7±11.6	341	28.7
9	9001	BMT-(01)	Zircon	34	0.40 844	0.69 1469	962a 7.35 3686	383.6±11.5	70	16.6
10	9102	BMT-(03)	Zircon	35	0.37 961	0.82 2139	962a 9.24 4620	390.2±12.4	81	16.3
11	9102	BMT-(02)	Zircon	36	0.36 955	0.81 2122	962a 9.24 4620	389.5±12.0	81	16.4
12	9201	BMT-(02b)	Zircon	33	0.40 1070	0.73 1940	962a 7.60 3792	386.5±11.8	72	16.5
13	9202	BMT-(04)	Zircon	35	0.41 972	0.93 2196	962a 9.37 4687	391.1±10.9	87	16.2
14	9001	TDR-(01)	Zircon	32	3.55 3807	1.76 1886	962a 7.35 3686	397.0±11.1	187	58.2
15	9102	TDR-(02)	Zircon	35	3.25 4067	2.01 2514	962a 9.24 4620	394.0±11.2	164	58.6
16	9202	TDR-(03)	Zircon	37	3.42 4357	2.20 2779	962a 9.37 4687	398.2±11.0	198	57.8

[平均値 (ξ) = 392.8±11.6]

以上の過程で求めたB値と標準ガラスの誘発飛跡密度 ($\rho_d=9.37 \times 10^4 \text{ n/cm}^2$) を、 $\Phi = B \times \rho_d$ 式入れて 総熱中性子線量 $\Phi = 8.18 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$ が求まった。このことにより、JRR-1原子炉のPn気送管での熱中性子線量 ($\phi = \Phi/t, t=15$) は、 $\phi = 4.12 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ となり、原研の測定値である $4.0 \times 10^{13} \text{ n/cm}^2$ に近い値が得られた。

<図2 標準ガラスによるξ値>



今回の測定では、観察されるトラックすべてが熱中性子によるものとしたが、実際には速中性子によるものやU以外のThによるトラックも考えられるので、正確なカドミ比測定が必要である。また、熱中性子線量の測定をAu箔などによる絶対測定が必要である。

3 出雲崎町周辺の第四系～第三系のF・T年代

新潟県三島郡出雲崎町～寺泊町周辺には第四系～第三系が連続的に分布し、しかも含石油層として全国的に知られ多くの研究者が調査を行ってきた。その多くは、層序学的、古生物学的研究が多く絶対年代の測定はあまりなかった。この地域の地層は、酸性凝灰岩を多く含んでいるので、フィッシュン・トラック法での絶対年代に最適である。今回は、主に出雲崎町常楽寺川ルート凝灰岩のF・T年代を測定した。

実験方法は次の通りである。凝灰岩から取り出したジルコンをPFRテフロンに埋め込んだあと自発飛跡についてはNaOH+KOH融液 (230℃、20~30h) でエッチングして、また誘発飛跡についてはディテクターとして添付した白雲母をHF (20℃、20m) でエッチングして求めた。トラックの識別にはニコンのオプチフォト (X1000、油浸) を使用した。

<表3 出雲崎町～寺泊町周辺に分布する凝灰岩のF・T年代>

試料 番号	凝灰岩名	自発飛跡		誘発飛跡		標準ガラス(962a)		ジルコン数	F.T.年代 (M.a)	ウラン含有量 (ppm)
		ρ_s	N_s	ρ_i	N_i	ρ_d	N_d			
1	常楽寺川Zr	0.76	279	1.86	6870	7.60	3792	80	1.22±0.08	186
2	伊z	1.45	261	2.44	4392	7.60	3792	55	1.78±0.12	249
3	Jp	0.62	74	0.81	966	7.60	3792	40	2.30±0.28	81
4	Fup	1.45	325	1.57	3528	7.60	3792	51	2.76±0.17	157
5	Ngm	1.02	245	1.04	2503	7.60	3792	43	2.95±0.17	107
6	Tsp	2.08	345	2.07	3445	7.60	3792	40	3.01±0.18	214
8	Gtp	4.38	466	2.09	2220	7.60	3792	40	6.28±0.33	226
9	Og	0.27	52	0.96	1848	7.21	3606	52	0.80±0.80	104
10	総Nzp	7.26	706	4.48	4358	7.35	3686	32	4.69±0.21	441
11	Km	1.76	382	0.91	1964	7.36	3686	45	5.63±0.33	93
12	Nz	1.84	276	0.66	989	7.60	3792	57	8.35±0.58	70

ρ_s : 自発飛跡密度 ($\times 10^5/\text{cm}^2$)、 N_s : 確認した自発飛跡総数、 ρ_i : 誘発飛跡密度 ($\times 10^6/\text{cm}^2$)、 N_i : 確認した誘発飛跡総数、 ρ_d : 962aにおける誘発飛跡密度 ($\times 10^4/\text{cm}^2$)、 N_d : 962aにおける確認した誘発飛跡総数

図4 西山・中央・八石油帯の層序表 [黒川・沢栗 (1990)]

	地質層序区分			テフラ鍵層			微化石層序			古地磁気層序					
	西山油帯	中央油帯	八石油帯	西山油帯	中央油帯	年代(Ma)	底生有孔虫	浮遊性有孔虫	石灰質ナノ化石基準面 年代(Ma)	中央油帯(常楽寺)	八石油帯(芝ノ又)				
PLEISTOCENE	西越層	西越層	岩田層	上部	SK020	0.80	C.y. Zone	I	No.1	NI-A ㊦	S-A ㊦				
					Ys										
	灰爪層	灰爪層	下層	魚沼層群	中部	SK030(JA)	1.22	U.s. Zone	No.2	G. inflata bed	NI-B ㊦	S-B ㊦			
						SK100	1.78								
						Mgp									
						Jp	2.30								
	PLIOCENE	西山層	西山層	八王子層	(不整合)	Sig					NI-F ㊦	S-C ㊦			
						菅沼層	Jsg								
							Fup						2.76		
							Ngm						2.95		
八石山層						八石山層	八石山層						下部	Tsp	2.95
														Hap	3.01
														Gos	3.01
														程平層	程平層
Nym															
Ocg															
浜忠層	浜忠層	程平層	下部	Ojw-3											
				Ysc											
				Znp	4.69										
桂谷層	桂谷層	桂谷層	下部	Ya	4.69										
				Ykp											
				NI-G											
M.	桂谷層	桂谷層	下部	Obg	5.87										
				Km	5.87										
				Gtp	6.28										

テフラ鍵層による西山・中央・八石油帯間の対比と微化石層序、古地磁気層序との関係。微化石層序は佐藤ほか (1987) に、古地磁気層序は真鍋・小林 (1986) による。U.s. Zone = *Uvigerina subpelegrina* Zone, C.y. Zone = *Cribroelphidium yabei* Zone.

測定結果は表3に示してある。それによると、古生物(貝化石、有孔虫など)や古地磁気の資料との層序関係はほぼ一致するが、石灰質微化石(ナノプランクトン)での層序に不一致が見られる。出雲崎町常楽寺川ルートの上位の灰爪層中に見られるZr (Sk030-切欠)のF・T年代が1.2Maに対して、石灰質微化石での年代が0.9~1.1Maに、また西山層中のIzタフ (Sk100-トラ切欠)のF・T年代が1.8Maに対して、石灰質微化石での年代が1.4~1.6Maになっている。この違いの原因について、石灰質微化石で年代を決定した佐藤・高山(1986)によると、北大西洋海底のボーリング試料の分析を新潟地域に対比させたもので、これには少し無理があるのでないかと考えている。この年代の違いについて、今後、他の研究者によるF・T年代や、他の方法(K-Ar年代)の年代の積み重ねによって検討されると考えている。

引用文献

- 1) 佐藤時幸・高山俊昭(1987) 日本海側に発達する新生界の石灰質微化石層序 その1: 新潟地域。石油技協誌、No52
- 2) 黒川勝己・沢栗隆之(1990) 長岡市西方、中央油帯中央部における水底堆積テフラとその対比: 新潟大学教育学部研究紀要、第31巻2号
- 3) 真壁健一・小林巖雄(1988) 新潟堆積盆地における鮮新・更新統の古地磁気層序。地質学雑誌、Vol94 (2)