中島正志**・岩野英樹***：音海流紋岩と面谷流紋岩の外部ディテクター法
によるフィッション・トラック年代*

Tadashi NAKAJIMA** and Hideki IWANO*** : Fission-track ages measured by external
detector method of the Otomi rhyolite and the Omotani rhyolite in
Fukui Prefecture, central Japan*

序

筆者らは、福井県およびその周辺地域の火山岩類について、ジルコンのフィッション・トラック(FT)年代測定を、grain-by-grain, re-etch 法(横山ほか, 1980)で続けてきた(中島ほか, 1983; 中島・水島, 1984)。

最近, FT 年代測定法の信頼性についての議論が盛んになり(GLEADOW, 1981; SUZUKI, 1984; MILLER *et al.*, 1985 など), FT 法の手法間での比較も議論の対象となっている。今回, re-etch 法で年代値の得られている音海流紋岩(中島ほか, 1983)について、ジルコンの内部研磨面を用いた外部ディテクター法 ED1(GLEADOW, 1981)で年代測定を行い、re-etch 法による年代値と比較した。更に、音海流紋岩とほぼ同時代とされている面谷流紋岩についても、同じ方法で年代値が得られたのであわせて報告する。

FT 年代測定法において常に問題とされてきたのは、1) 自発核分裂壊変定数(λ_f)が未確定で測定者によって使用する値が異なること(BIGAZZI, 1981), 2) 熱中性子フルエンス(Φ)の絶対測定が難しいこと(HURFORD & GREEN, 1981, 1982), また、3) トラック計数の際、測定者によってトラック認定の基準が異なることなどである。これらの問題点からみて、従来の FT 年代測定データには、年代誤差として表記されるトラックの計数誤差のほかに、測定者が採用する手法の違いによる系統的な誤差が含まれている恐れがある。

HURFORD & GREEN(1982, 1983)は、各測定者間の FT 年代データを標準化する方法として ζ 法を提案した。この方法では、年代算出に必要な $I(^{235}\text{U})$ と ^{238}U

の同位体比), $\sigma(^{235}\text{U})$ の熱中性子による誘発核分裂反応断面積)と、本来は物理定数だが未確定である λ_f と B 値(標準ガラスの FT 密度から Φ を決定するための定数)を一括して、定数 $\zeta = \sigma \cdot I \cdot B / \lambda_f$ を定義する。そして ζ 値は、既知の年代値を持つ年代標準試料を、測定者が採用する年代測定と同じ手法で処理することにより、後述の(1)式から実験的に決定される。こうして決定された ζ 値は、測定者によって異なる値となる要素(上述の 1, 2, 3)を標準年代で規格化したものであり、 Φ の測定に使用する標準ガラスと測定者個人に固有の値となる。この ζ 値を用いて後述の(2)式で算出した年代は、測定者の違いによる差を補正した値となることが期待される。年代標準試料には、異なる放射年代測定で同じ年代値が得られているなどの厳しい条件を満たしているものが選ばれる(HURFORD & GREEN, 1983)。本測定では Fish Canyon Tuff のジルコンを年代標準試料として、標準ガラス NBS-SRM 612 についての ζ 値を求め、FT 年代値を算出した。

ζ 法による年代値の補正は、FT 年代測定法にとって最も重要な物理定数(λ_f , B 値)の決定を避けた便宜的方法である。しかし、FT 年代データ標準化のために、一般の FT 年代測定者が、現有の実験装置・技術でただちに実行できる優れた方法であると考える。

年代測定試料

年代測定試料の採取地点を第 1 図に示す。

1 音海流紋岩 福井県内浦湾岸に分布する新第三系の内浦層群の基盤となる黒雲母流紋岩である(塚野, 1969; 中川ほか, 1985)。広川・黒田(1957, 1958)はこの流紋岩の時代を新第三紀としたが、塚野(1969)は白亜紀後期の面谷流紋岩類(後述)と同時期の流紋岩とみなし、音海流紋岩と呼んだ。

中島ほか(1983)は、高浜町難波江と神野で採取した本流紋岩のジルコンについて、re-etch 法で、それぞれ

1987 年 4 月 11 日受付。1987 年 10 月 19 日受理。

* 日本地質学会第 94 年学術大会(大阪)にて講演。

** 福井大学教育学部地学教室。Laboratory of Geology, Faculty of Education, Fukui University, Fukui, 910 Japan.

*** 現在の所属は富山大学理学部地球科学教室。Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Toyama University, Toyama, 930 Japan.

第1図. 年代測定試料 (OT: 音海流紋岩と OM: 面谷流紋岩) の採取地点.
地形図Aは国土地理院2万5千分の1「難波江」図幅, Bは「越前朝日」図幅を使用.

67.7±1.1 Ma と 67.9±2.4 Ma の年代値を得ている.

本測定での試料は, 中島ほか(1983)の難波江と同地点 (135°30'15"E, 35°30'29"N) で採取した.

2 ^{おもたに} 面谷流紋岩 本流紋岩類は, 九頭竜川支流の面谷川を模式地とし, 福井県嶺北地方の全域にわたって各所に露出している (河合ほか, 1957). 種々の岩質のものが含まれ, しばしば凝灰角礫岩・凝灰岩・熔結凝灰岩等を伴う. 塚野(1969)は, 本流紋岩類の時代を白亜紀後期と考え, 濃飛流紋岩類と同時代とした.

年代測定を行った試料は, 大野郡和泉村 面谷川沿い (136°44'10"E, 35°51'17"N) で採取した石英斑岩である. 河合ほか(1957)の石英斑岩質流紋岩と同じであり, 棚瀬(1982)の奥美濃酸性岩類面谷岩体を岩脈として貫く侵入岩類に相当する.

面谷流紋岩類の凝灰岩については, 渡辺(1983 MS)によって, re-etch 法による FT 年代値 65.0±2.2 Ma が得られている. 石英斑岩については, 関ほか(1979)が Rb-Sr 法による全岩年代 64.9±4.7 Ma を得ている.

測定方法

約 20 kg の岩石試料から分離したジルコン粒子 (60

第1表. Fish Canyon Tuff から求めた標準ガラス NBS-SRM 612 についての ζ 値測定結果.

CODE	粒子数	ΣN_s	ρ_s	ΣN_i	ρ_i	N_d	ρ_d	ζ_{612}
FCTZR01	10	2231	6.14	2063	5.68	3163	0.146	351.6±12.4
FCTZR02	15	1951	3.70	2046	3.88	3045	0.159	368.0±13.4
FCTZR05	18	2891	6.42	2771	6.15	3056	0.147	363.2±11.7

加重平均 360.9±7.2

* ρ_s, ρ_i, ρ_d の単位は $10^6/\text{cm}^2$

メッシュ以下の粒度)について年代測定を行った. 岩石試料から分離したジルコン粒子を, 研磨・エッチングなどの作業を容易にするために, PFA テフロンシートに埋め込んだ (徳橋ほか, 1983). 自発トラックは, ジルコン粒子表面から約 10 μm 研磨した内部面で計数した. ジルコンのエッチングは, NaOH と KOH の共融液 (約 225°C) で 12 時間から 24 時間かけて行った (GLEADOW *et al.*, 1976). 誘発トラックは, 外部検出材 (白雲母) で計数した. 白雲母は 47% HF (31°C) で 4 分間のエッチングを行った. トラックは, ニコン生物顕微鏡 (オブチフォト XF) を用いて計数した (1000 倍).

熱中性子照射は, 武蔵工業大学の TRIGA II 型原子炉で行った. 標準ガラスは NBS-SRM 612 を使用した. ζ 値の決定に使用した標準年代試料は, C. W. NAESER によって配布されている米国コロラド州の Fish Canyon Tuff からのジルコンである. 標準年代 (Tstd) は, MILLER *et al.* (1985) による ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代値の 27.77±0.04 Ma を採用した.

ζ 値と年代値 (t) の算出には HURFORD & GREEN (1982, 1983) に従い, それぞれ (1) 式と (2) 式を用いた.

$$\zeta = [\exp(\lambda_d \cdot T_{\text{std}}) - 1] / [\lambda_d \cdot (\rho_s / \rho_i) \cdot g \cdot \rho_d] \quad (1)$$

$$t = \lambda_d^{-1} \cdot \ln[1 + \zeta \cdot \lambda_d \cdot (\rho_s / \rho_i) \cdot g \cdot \rho_d] \quad (2)$$

ここで, λ_d : ^{238}U の全壊変定数 $1.55125 \times 10^{-10} \text{ y}^{-1}$ (JAFJEY *et al.*, 1971), g : geometry factor 0.5, ρ_s : 自発トラック密度 cm^{-2} , ρ_i : 誘発トラック密度 cm^{-2} , ρ_d : 標準ガラス (SRM 612) のトラック密度 cm^{-2} である.

ζ 値と年代値の誤差は, 計数誤差 ($1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_i + 1/N_d$)^{1/2} に, それぞれ標準年代の誤差 (1 σ) または ζ 値の誤差 (1 σ) を加えて算出した. ΣN_s は総自発トラック数, ΣN_i は総誘発トラック数, N_d は標準ガラスのトラック数である.

測定結果と考察

Fish Canyon Tuff から求めた標準ガラス SRM 612 についての ζ 値の測定結果を第1表に示す. FCTZR 01 などの CODE 名はテフロンシートごとにつけている. シ

第2表. 音海流紋岩と面谷流紋岩の年代測定結果.

音海流紋岩 (OT)								
CODE	粒子数	ΣN_s	ρ_s	ΣN_i	ρ_i	N_d	ρ_d	AGE(Ma)
OT-112	4	663	5.39	496	4.03	3027	0.303	72.6 $\pm$ 4.7
OT-212	4	745	4.17	550	3.08	3027	0.303	73.6 $\pm$ 4.6
OT-12	4	669	5.40	345	2.78	3027	0.210	73.1 $\pm$ 5.2
OT-22	5	760	4.16	362	1.98	3027	0.210	79.1 $\pm$ 5.5
加重平均								74.5 $\pm$ 2.5
面谷流紋岩 (OM)								
CODE	粒子数	ΣN_s	ρ_s	ΣN_i	ρ_i	N_d	ρ_d	AGE(Ma)
OM-112	15	5243	11.99	4008	9.17	3027	0.303	71.1 $\pm$ 2.4
OM-212	5	1419	11.70	1177	9.71	3027	0.303	65.5 $\pm$ 3.1
OM-12	15	5399	12.05	3069	6.85	3027	0.210	66.4 $\pm$ 2.3
OM-22	6	1807	12.73	1072	7.55	3027	0.210	63.6 $\pm$ 3.0
加重平均								67.3 $\pm$ 1.3

* ρ_s , ρ_i , ρ_d の単位は $10^6/\text{cm}^2$

第3表. χ^2 検定(GALBRAITH, 1981)と ρ_s - ρ_i の相関係数 r . すべての χ^2 値は, 有意水準 5% の棄却値より小さくなり検定に合格 (帰無仮説一各粒子における N_s/N_i はすべて等しい母比率をもつ) を採択) している.

χ 値測定結果

CODE	粒子数	χ^2 値	χ^2 の棄却値	相関係数 (r)
FCTZR01	10	14.64	< 16.92	0.938
FCTZR02	15	13.79	< 23.68	0.947
FCTZR05	18	21.06	< 27.59	0.864

年代測定結果

CODE	粒子数	χ^2 値	χ^2 の棄却値	相関係数 (r)
音海流紋岩 (OT)				
OT-112	4	1.32	< 7.82	0.980
OT-212	4	0.21	< 7.82	1.000
OT-12	4	2.24	< 7.82	0.865
OT-22	5	3.48	< 9.49	0.931
面谷流紋岩 (OM)				
OM-112	15	21.65	< 23.68	0.833
OM-212	5	2.13	< 9.49	0.684
OM-12	15	20.00	< 23.68	0.822
OM-22	6	6.90	< 11.07	0.774

ートごとに(1)式より ζ 値を算出した. 同じ岩石試料であるがシートごとに分けて計算したのは, 研磨, エッチングなどの実験条件がシートによって少しずつ異なる可能性があるためである. 3枚のシートからの ζ 値はよく一致している. この3つの ζ 値の加重平均 360.9 ± 7.2 (誤差は 1σ) を, 本測定における ζ 値として採用した.

GREEN(1985)の Fish Canyon Tuff からの SRM 612 についての ζ 値は, 357.7 ± 7.1 で本測定値とほぼ同じである. 田上・西村(1987)は, 計9個の標準年代試料から SRM 612 についての ζ 値 342 ± 3.1 を得ている. 彼らの Fish Canyon Tuff のジルコンから求めた ζ 値は, 338.5 ± 3.4 であった(私信). 田上・西村(1987)と今回の実験方法は完全に同じなので, この ζ 値の差は, 測定者によるトラック計数の差(トラック認定基準や顕微鏡の違い)を反映したものである.

音海流紋岩(OT)と面谷流紋岩(OM)についての年代

測定結果を第2表に示す. ζ 値と同様にテフロンシート(OT-112, OM-112などのCODE名を付けた)ごとに(2)式で年代を算出し, その加重平均を各試料の年代の代表値とした. 各試料のシートごとの年代は, ほぼ一致している. 音海流紋岩(OT)の加重平均値は 74.5 ± 2.5 Ma, 面谷流紋岩(OM)の加重平均値は 67.3 ± 1.3 Ma となった.

ζ 値と年代値を算出したジルコン粒子の自発トラック数(N_s)と誘発トラック数(N_i)のデータについて, GREEN(1981)に従い GALBRAITH(1981)の χ^2 検定を行った. 有意水準 5% のレベルですべて合格している(第3表). また, ρ_s - ρ_i の相関係数 r は, 最も低いもので OM-212 の 0.684 であった(第3表).

音海流紋岩の re-etch 法による年代値の 67.7 ± 1.1 Ma と 67.9 ± 2.4 Ma (中島ほか, 1983)は, 本測定結果の 74.5 ± 2.5 Ma より少し若い値となっている. 2σ でみれば, 双方の年代誤差の範囲は一部重なるため, 手法の違いによる年代差はないとみなせる. しかし, ζ 法による年代補正を行った今回の測定法の方が, 手法としてより適切であるため, 74.5 ± 2.5 Ma の方がより妥当な年代値と言える.

面谷流紋岩の測定結果 67.3 ± 1.3 Ma は, 本流紋岩類の凝灰岩の re-etch 法による年代値 65.0 ± 2.2 Ma (渡辺, 1983 MS)とほぼ一致し, 測定手法間の差はみられない. また, 本測定結果は, 石英斑岩の Rb-Sr 年代 64.9 ± 4.7 Ma (関ほか, 1979)ともよく一致した年代を示している.

音海流紋岩と面谷流紋岩の年代は, 原山ほか(1985)の中部地方の火成活動のステージ区分Ⅱ(約 90 Ma-約 65 Ma)に含まれる. このステージには, これらの流紋岩がその時代を対比された濃飛流紋岩の主体が含まれている. 原山ほか(1985)の第2図と第3図からは, 音海流紋岩の年代は濃飛流紋岩のステージⅡからステージⅢに, 面谷流紋岩はステージⅢからステージⅣに対比できる. 謝辞 本研究を進めるにあたり, 測定方法に関する技術指導を快く引き受けて下さった, 京都大学理学部西村進助教授, および同大学院生の田上高広氏と伊藤久敏氏に深く感謝します. また, 面谷岩体についての貴重な資料をいただいた東建地質調査(株)の棚瀬充史氏に厚く感謝します.

文 献

- BIGAZZI, G., 1981: The problem of the decay constant λ_f of ^{238}U . *Nucl. Tracks*, **5**, 35-44.
 GALBRAITH, R. F., 1981: On statistical models for fission track counts. *Math. Geol.*, **13**, 471-478.

- GLEADOW, A. J. W., 1981 : Fission-track dating methods : What are the real alternatives ?. *Nucl. Tracks*, **5**, 3-14.
- , HURFORD, A. J. and QUARF, R. D., 1976 : Fission track dating of zircon : improved etching techniques. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **33**, 277-288.
- GREEN, P. F., 1981 : A new look at statistics in fission-track dating. *Nucl. Tracks*, **5**, 77-86.
- , 1985 : Comparison of zeta calibration baselines for fission-track dating of apatite, zircon and sphene. *Chem. Geol. (Iso. Geosci. Sec.)*, **58**, 1-22.
- 原山 智・小井土由光・石沢一吉・仲井 豊・沓掛俊夫, 1985 : 中部地方における白亜紀-古第三紀火成活動の変遷. *地球科学*, **39**, 345-357.
- 広川 治・黒田和男, 1957 : 5 万分の 1 地質図幅「鋸崎」および説明書. 23p., 地質調査所.
- , 1958 : 5 万分の 1 地質図幅「丹後由良」および説明書. 23p., 地質調査所.
- HURFORD, A. J. and GREEN, P. F., 1981 : A reappraisal of neutron dosimetry and uranium-238 λ_f values in fission track dating. *Nucl. Tracks*, **5**, 53-61.
- and ———, 1982 : A users' guide to fission track dating calibration. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, 343-354.
- and ———, 1983 : The zeta age calibration of fission-track dating. *Isot. Geosci.*, **1**, 285-317.
- JAFFEY, A. H., FLYNN, K. F., GLENDENIN, L. E., BENTLEY, W. C. and ESSLING, A. M., 1971 : Precision measurements of the half-lives and specific activities of ^{235}U and ^{238}U . *Phys. Rev.*, **4**, 1889-1906.
- 河合正虎・平山 健・山田直利, 1957 : 5 万分の 1 地質図幅「荒島岳」および説明書. 110p., 地質調査所.
- MILLER, D. S., DUDDY, I. R., GREEN, P. F., HURFORD, A. J. and NAESER, C. W., 1985 : Results of interlaboratory comparison of fission-track age standards : Fission-Track Workshop-1984. *Nucl. Tracks*, **10**, 383-391.
- 中川登美雄・千地万造・三浦 静, 1985 : 福井県内浦地域の中新統層序と浮遊性有孔虫化石. *地質雑*, **91**, 389-402.
- 中島正志・水島聡子, 1984 : 北陸地方の *Miogyopsina-Operculina* 層準のフィッシュン・トラック年代. *地質雑*, **90**, 667-670.
- ・森本祐一郎・鈴木由紀江・渡辺 勇・三浦 静, 1983 : 福井県第三系のフィッシュン・トラック年代. *福井大教育紀要*, II, no. 33, 53-65.
- 関 達也・早瀬一・宮内東洋, 1979 : 福井県中竜鉾山付近に貫入する石英斑岩の Rb-Sr 全岩年令. *岩鉱*, **74**, 79-84.
- SUZUKI, M., 1984 : Discussion on terminology, anisotropy, and interprocedural cross-checks of fission track ages of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **90**, 551-563.
- 棚瀬充史, 1982 : 奥美濃酸性岩類一両白山地における白亜紀火成作用一. *地質雑*, **88**, 271-288.
- 田上高広・西村 進, 1987 : Zeta 法を用いたフィッシュン・トラック年代の標準化について. *日本地質学会第 94 年学術大会講演要旨*, 442.
- 徳橋秀一・檀原 徹・遠藤秀典・磯田邦俊・西村 進, 1983 : フィッシュン・トラック法を用いた若い年代試料測定を試みと問題点一房総半島上総-下総層群中の火山灰層を対象として一. *地調月報*, **34**, 241-269.
- 塚野善蔵, 1969 : 15 万分の 1 福井県地質図および説明書. 117p., 福井県.
- 渡辺 勇, 1983 MS : 福井県およびその周辺地域における FT 法による年代測定. *福井大教育卒論*, 41p.
- 横山卓雄・松田高明・竹村恵二, 1980 : 東海層群の火山灰層のフィッシュン・トラック年代(その 1). 第四紀研究, **19**, 301-309.