伊藤久敏*: 琵琶湖南東部に分布する 湖東流紋岩類のフィッシュントラック年代

Hisatoshi ITO*: Fission track ages on the Koto Rhyolites,
southeast area of Lake Biwa

はじめに

琵琶湖南東部に分布する湖東流紋岩類は白亜紀末から古第三紀にかけて西南日本内帯において主として陸上に噴出した酸性火山岩類の一つとされている(石原, 1978)。最近, 沢田・板谷(1988)は湖東流紋岩類とその周辺に環状に分布している花崗岩類(Fig. 1)の K-Ar 年代を測定した結果, 63-75 Ma のほぼ同時期の年代を得たことから, 巨大なコールドロンがこの地域に形成されたとしている。

今回, 筆者は湖東流紋岩類についてジルコンを用いたフィッシュントラック(FT)法により年代測定を行った。ジルコンの FT 年代値は熱のみに影響され(FLEISCHER *et al.*, 1965), その影響は自発トラックの長さを測ることにより判断できる。湖東流紋岩類は溶結凝灰岩の噴出後, 花崗岩類の貫入の影響を受け, そのため溶結凝灰岩の変質・変成が進んでいる。したがって, K-Ar 法による年代値は変質の影響を受け若返った値である可能性があり, このことは沢田・板谷(1988)によっても指摘されている。今回, 湖東流紋岩類分布地域の9箇所からジルコンの FT 年代を得, またトラック長を測定し, 得られた年代値の考察を行ったのでここに報告する。なお, 湖東流紋岩類の10個の FT 年代についてはすでに報告し, それらがほぼ 70 Ma になることを述べた(Ito & NISHIMURA, 1986)が, 以前の試料中にはジルコンの研磨状態の不良なものが含まれていたため, 今回の試料で以前のものと同一ものは, 試料を新たに作り, 再測定したものである。

年代測定試料

湖東流紋岩類は琵琶湖南東部の丘陵地, 湖東平野, お

よび琵琶湖中の島々に分布がみられる(Fig. 1)。このうち丘陵地の火成活動史については西川ほか(1983)などにより研究されている。湖東平野や琵琶湖中の島々にも溶結凝灰岩と半深成岩の分布がみられるが, これらは点在しており, 新旧関係は不明である。試料採取は以下の地点で行った(Fig. 1)。

丘陵地

KT 03: 秦^{はたしやう}荘石英斑岩. 35°07'01"N, 136°18'26"E

KT 04: 萱原^{かいはら}溶結凝灰岩. 35°04'43"N, 136°19'36"E

KT 05: 犬上花崗斑岩. 35°04'28"N, 136°20'21"E

KT 06: 君ヶ畑溶結凝灰岩. 35°11'46"N,
136°20'16"E

Fig. 1. Index map and distribution of the Koto Rhyolites (simplified from SAWADA & ITAYA(1988)). Sampling localities (•) and inferred cauldron (broken line) are also included. 1: Neogene to Quaternary sediments, 2: welded tuff, 3: porphyry, 4: Koto Rhyolites, 5: granite (Sanyo belt), 6: Palaeozoic to Mesozoic sediments.

1988年8月26日受付. 1989年3月14日受理.

* 電力中央研究所 立地部地質研究室. Geology Section, Siting Technology Department of Central Research Institute of Electric Power Industry, Abiko, Chiba, 270-11 Japan.

Table 1. Fission track analytical data of the Koto Rhyolites.

Sample Name	Number of grains	Standard track density $\times 10^6(\text{cm}^{-2})$	Spontaneous track density $\times 10^6(\text{cm}^{-2})$	Induced track density $\times 10^6(\text{cm}^{-2})$	Correlation coefficient	Age ($\pm 1\sigma$) (Ma)	P (χ^2)
KT03	5	0.172 (1903)	4.17 (523)	1.90 (238)	1.00	64.5 $\pm$ 5.3	98
KT04	6	0.172 (1903)	4.71 (619)	2.43 (319)	0.85	57.0 $\pm$ 4.1	20
KT05	5	0.172 (1903)	2.87 (357)	1.49 (185)	0.09	60.9 $\pm$ 8.6	0.01
KT06	7	0.172 (1903)	4.60 (866)	1.89 (356)	0.83	71.3 $\pm$ 4.8	25
KT07	5	0.172 (1903)	3.89 (380)	2.06 (201)	0.59	55.5 $\pm$ 5.0	70
KT09	4	0.172 (1903)	5.14 (454)	2.59 (229)	0.54	58.2 $\pm$ 4.9	50
KT11	8	0.271 (4788)	5.59 (1397)	4.16 (1040)	0.92	62.0 $\pm$ 2.7	70
KT13	12	0.207 (2641)	4.93 (1587)	2.78 (894)	0.95	62.4 $\pm$ 2.9	10
KT14	5	0.271 (4788)	7.39 (1150)	5.08 (791)	0.70	69.2 $\pm$ 5.3	0.01

Ages calculated using $\zeta = 342.1 \pm 3.1$ for osimeter glass SRM 612 (TAGAMI, 1987). $P(\chi^2)$: probability of obtaining observed χ^2 value (GALBRAITH, 1981) for n degrees of freedom ($n = \text{number of crystals} - 1$). Ages which do not pass the χ^2 test at 5% calculated using the mean value of individual ρ_s/ρ_i ratio (ρ_s : spontaneous track density, ρ_i : induced track density) (GREEN, 1981). $\rho_s - \rho_i$ correlation coefficient is also included. Number of counted tracks presented below each track density.

KT 07: 犬上花崗斑岩. $35^\circ 08' 19''\text{N}$, $136^\circ 21' 15''\text{E}$

湖東平野および琵琶湖中の島々

KT 09: 瓶割山溶結凝灰岩. $35^\circ 07' 44''\text{N}$,

$136^\circ 08' 34''\text{E}$

KT 11: 溶結凝灰岩. $35^\circ 06' 56''\text{N}$, $136^\circ 11' 06''\text{E}$

KT 13: 花崗斑岩(沖島). $35^\circ 11' 59''\text{N}$,

$136^\circ 03' 27''\text{E}$

KT 14: 溶結凝灰岩(沖の白石). $35^\circ 17' 25''\text{N}$,

$136^\circ 07' 38''\text{E}$

年代測定

FT 年代測定の実験方法は TAGAMI *et al.* (1988) に従った。年代測定の手法としてジルコンの研磨面を用いる外部ディテクター法である ED 1 (GLEADOW, 1981) を用いた。エッチングはジルコンについては NaOH (20 g) と KOH (28 g) の共融液 (GLEADOW *et al.*, 1976) を用い、 $225 \pm 1^\circ\text{C}$ で約 30 時間、ジルコン結晶の C 軸に平行なトラックが現れるまで十分に行った。外部ディテクターの白雲母のエッチングは、HF (48%) を用い、 $32.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ で 4 分間行った。トラックを計数したジルコン面は、研磨傷が明瞭に残っているエッチング効率の高いもの (NAESER *et al.*, 1980) で、かつ、C 軸に平行なトラックが明らかにエッチングされているもの (SUMI *et al.*, 1987) を選んだ。熱中性子照射は武蔵工業大学原子炉 TRIGA II 照射溝で行った。年代計算は ζ 法 (HURFORD & GREEN, 1983) により、 ζ 値として、標準ガラス (SRM 612) を用いた値である、 $\zeta = 342.1 \pm 3.1$ (誤差は 1σ)

(TAGAMI, 1987) を用いた。年代値誤差の計算には GREEN (1981) の conventional analysis を用いた。

年代測定結果を Table 1 に示す。年代値誤差はすべて 1σ で示してある。得られた年代値のうち、KT 05, 14 以外は GALBRAITH (1981) の χ^2 検定に危険率 5% で合格し、トラックの出現がポアソン分布に従うという仮定を満たしているため、信頼度の高い年代値と考えられる。KT 05, 14 は検定に不合格なため、GREEN (1981) の method B により年代値と誤差を求めた。KT 05 は自発トラック密度と誘導トラック密度に相関がみられない。相関係数は、誘導トラック密度の分布のばらつきが小さい場合には、測定年代値の信頼度が高い場合でも 0 に近い値となる場合がある。しかし KT 05 の誘導トラック密度の分布のばらつきは他の試料とほぼ同じであるので、KT 05 の年代測定値の信頼度は他に比べて劣っていると思われる。

トラック長測定

自発トラック長測定は以下のようにして行った。自発トラック長測定の試料は年代測定に用いた試料をそのまま用いた。測定したトラックはジルコンの研磨面を切っておらず、トラックの全長の認められるものとした。これらは TINT (track in track) (LAL *et al.*, 1969) や TINCLE (track in cleavage) である。これらのトラックのうちジルコンの研磨面に平行なトラックは、研磨面とトラックとのなす角度の測定およびジルコンの屈折率を考慮した角度の補正を行う必要がない (LASLETT *et al.*, 1982)

Fig. 2. Fission track length distribution of the Koto Rhyolites.

n = number of counted tracks, x = mean track length, s = standard deviation of track length. KT 06 (induced) shows the data of induced tracks in annealed sample.

ので、そのようなトラック(horizontal confined track)のみを測定に用いた。測定は顕微鏡のトラック像をTVモニターにとりこみ、ディジタイザーを用いて行った。この際の測定誤差は $0.1 \mu\text{m}$ 程度である。研磨面に平行なトラックとは、顕微鏡の焦点を移動させた時にトラックの両端の焦点が同時に合うものとした。

トラック長測定結果を Fig. 2 に示す。KT 14 以外はトラック長の平均が $10.6 \sim 11.0 \mu\text{m}$ 、トラック長分布の標準偏差が $0.6 \sim 1.1 \mu\text{m}$ である。KT 14 はトラック長が短く ($10.2 \mu\text{m}$)、標準偏差が大きく ($1.5 \mu\text{m}$) になっているが、この原因はこの試料に長さが $5.0 \sim 7.0 \mu\text{m}$ の短いトラックが 2 個含まれているためであり、これらを除くと他の試料と同様の傾向を示す。Fig. 2 には KT 06 の試料を完全にアニーリングした後、照射し、誘導トラックの長さを測定した結果を含めた。この測定値は自発トラック長の測定結果とよく一致している。したがって、湖東流紋岩類のジルコン中の自発トラックは、KT 14 以外はトラック長の熱による短縮を受けていないと考えられる。

考 察

トラック長測定により KT 14 以外は、測定した自発トラック長が熱による短縮を受けていないことが明らかになった。この場合得られた FT 年代は FT 法の閉鎖温度(ジルコンでは $10 \sim 100^\circ\text{C}/\text{Ma}$ の冷却速度で $240 \pm 50^\circ\text{C}$, HURFORD, 1986)以下になった時の年代を示す。これには以下の 2 通りのケースが考えられる。

(1) FT 年代は年代測定試料が最初に閉鎖温度以下になった時の年代を示す。このケースでは、試料が溶結凝灰岩の場合その噴出年代を示し、斑岩の場合岩脈の周縁では貫入年代にほぼ等しいが、中心部では徐々に冷却す

るために貫入年代より若い年代を示す。

(2) FT 年代は年代測定試料がジルコン中のトラックを完全に消失させるような二次的な熱影響を受けた後、再び閉鎖温度以下になった時の年代を示す。

湖東流紋岩類中最も初期の噴出とされる萱原溶結凝灰岩(KT 04)と君ヶ畑溶結凝灰岩(KT 06)は、それぞれ 57.0 ± 4.1 , $71.3 \pm 4.8 \text{ Ma}$ となった。両岩とも犬上花崗斑岩に貫かれており(西川ほか, 1983), これが唯一の二次的な熱源と考えられる。犬上花崗斑岩の FT 年代は $60.9 \pm 8.6 \text{ Ma}$ (KT 05) および $55.5 \pm 5.0 \text{ Ma}$ (KT 07) であり、加重平均をとると $56.9 \pm 4.3 \text{ Ma}$ になる。したがって、君ヶ畑溶結凝灰岩は犬上花崗斑岩よりも有意に古く、上記(1)のケースであり、FT 年代は君ヶ畑溶結凝灰岩の噴出年代を示していると考えられる。萱原溶結凝灰岩と犬上花崗斑岩は同じ FT 年代値を示すため(1), (2)の両方とも考えられる。萱原溶結凝灰岩については、今回の試料採取地点よりもより犬上花崗斑岩から離れた地点の試料を用いてトラック長測定等の研究が必要である。

秦荘石英斑岩は萱原溶結凝灰岩と露頭では漸移しているように見え、萱原溶結凝灰岩噴出直後に貫入したと考えられている(西川ほか, 1983)。秦荘石英斑岩(KT 03)の FT 年代は $64.5 \pm 5.3 \text{ Ma}$ となった。同岩は分布域北部で八尾山火砕岩に貫かれており(西川ほか, 1983), これが唯一の二次熱源と考えられるが、八尾山火砕岩分布域は今回の試料採取を行った地点から 5 km 以上離れているため、FT 年代に影響を及ぼしていないと考えられる。

犬上花崗斑岩は湖東地域の広範囲に分布が見られ、この地域に最後に貫入した斑岩であると考えられている(西川ほか, 1983)。同岩の FT 年代($56.9 \pm 4.3 \text{ Ma}$)は

黒雲母による K-Ar 法の年代値である 72 Ma(沢田・板谷, 1988)よりは若い年代値を示す。この年代差は両年代測定法の閉鎖温度が違ふことと犬上花崗斑岩が徐冷したために生じたかもしれない。

平野部では沖の白石の溶結凝灰岩(KT 14) が 69.2 ± 5.3 Ma の年代を示し、君ヶ畑溶結凝灰岩(71.3 ± 4.8 Ma)に近い年代を示した。同岩には短いトラックが認められ、二次的な熱影響を受けた可能性が考えられるが、平均トラック長の短縮が他の試料に比べてわずかである(Fig. 2)ため、得られた FT 年代は噴出年代に近いと考えられる。他の平野部の溶結凝灰岩(KT 09, 11)の年代値はほぼ 60 Ma の年代を示している。平野部の溶結凝灰岩からは 5 個の K-Ar 法の全岩年代が得られており(石田ほか, 1984)、それらもほぼ 60 Ma の年代値であり、今回の結果とよく一致する。異なる 2 つの年代測定法によりほぼ同じ年代が得られたため、平野部の溶結凝灰岩の噴出年代は一部を除き 60 Ma ごろであると考えられる。沖島(KT 13)で得られた花崗斑岩の FT 年代は 62.4 ± 2.9 Ma であり、平野部の溶結凝灰岩の噴出年代と有意な差は認められない。

謝辞 本研究は京都大学理学部地質学鉱物学教室在籍時になされたもので、研究を進めるにあたって、同教室の西村 進教授、田上高広博士には貴重な御指導、御助言をいただいた。武蔵工業大学原子力研究所の本多照幸博士には原子炉の使用に際し御便宜を計っていただいた。また発表にあたり電力中央研究所の井上大榮地質研究室長には御援助いただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- FLEISCHER, R. L., PRICE, P. B. and WALKER, R. M., 1965 : Effects of temperature, pressure, and ionization of the formation and stability of fission tracks in minerals and glasses. *Jour. Geophys. Res.*, **70**, 1497-1502.
- GALBRAITH, R. F., 1981 : On statistical models for fission track counts. *Math. Geol.*, **13**, 471-488.
- GLEADOW, A. J. W., 1981 : Fission-track dating methods : what are the real alternatives? *Nucl. Tracks*, **5**, 3-14.
- , HURFORD, A. J. and QUAIFFE, R. D., 1976 : Fission track dating of zircon : improved etching techniques. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **33**, 273-276.
- GREEN, P. F., 1981 : A new look at statistics in fission-track dating. *Nucl. Tracks*, **5**, 77-86.
- HURFORD, A. J., 1986 : Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps South Central Switzerland and an age of vertical movement on the Insubric fault line. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 413-427.
- and GREEN, P. F., 1983 : The zeta age calculation of fission-track dating. *Isotope Geosci.*, **1**, 285-317.
- 石田志朗・河田清雄・宮村 学, 1984 : 彦根西部地域の地質。地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 121 p.
- 石原舜三, 1978 : 花崗岩と流紋岩。岩波講座地球科学 15, 日本地質, 105-142.
- ITO, H. and NISHIMURA, S., 1986 : Short duration of magmatic activity of the late Cretaceous Koto Rhyolite : new evidence from fission track age dating. *Rock Magn. Paleogeoph.*, **13**, 30-34.
- LAL, D., RAJAN, R. S. and TAMHANE, A. S., 1969 : Chemical composition of nuclei of $Z > 22$ in cosmic rays using meteoritic minerals as detectors. *Nature*, **221**, 33-37.
- LASLETT, G. M., KENDALL, W. S., GLEADOW, A. J. W. and DUDDY, I. R., 1982 : Bias in measurement of fission-track length distributions. *Nucl. Tracks*, **6**, 79-85.
- NAESER, C. W., IZETT, G. A. and OBRADOVICH, J. D., 1980 : Fission track and K-Ar ages of natural glasses. *Bull. U. S. Geol. Surv.*, **1489**, 1-31.
- 西川一雄・西堀 剛・小早川隆・但島達雄・上嶋正人・三村弘二・片田正人, 1983 : 湖東流紋岩およびその火成活動について。岩鉱, **78**, 51-64.
- 沢田順弘・板谷徹丸, 1988 : 琵琶湖南部周辺の火成岩類の K-Ar 年代—白亜紀末巨大コールドロンの推定—。日本地質学会第 95 年学術大会講演要旨, 323.
- SUMII, T., TAGAMI, T. and NISHIMURA, S., 1987 : Anisotropic etching character of spontaneous fission tracks in zircon. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **13**, 275-277.
- TAGAMI, T., 1987 : Determination of zeta calibration constant for fission track dating. *Nucl. Tracks Radiat. Meas.*, **12**, 127-130.
- , LAL, N., SORKHABI, R. B., ITO, H. and NISHIMURA, S., 1988 : Fission track dating using external detector method : a laboratory procedure. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Min.*, **53**, 1-30.