渡辺公一郎*・石橋 澄**：捕獲岩中のジルコンを用いたフィッション・トラック法による玄武岩の年代測定—佐賀県東松浦半島産玄武岩類への応用***

Koichiro WATANABE* and Kiyoshi ISHIBASHI** : Dating of basalts by fission track method using zircon in xenoliths : application to basalts from Higashi-Matsuura Peninsula, Saga Prefecture, Japan***

はじめに 近年, 多くの新生代火山岩類の放射年代が, フィッション・トラック年代測定法により求められている。しかし, 玄武岩には一般にジルコン (あるいはアパタイト) がほとんど含まれていないので, この方法の適用が極めて困難であった。玄武岩中には, しばしば花こう岩類や閃緑岩類が捕獲岩として含まれている。この捕獲岩中のジルコンを用いれば, 玄武岩の噴出時代や貫入時代をフィッション・トラック年代測定法により求めることが可能である。さらに玄武岩の貫入を受けた母岩がジルコンに富むものであれば, 捕獲岩と同様に玄武岩の貫入年代の測定に利用できる。これらの場合, ジルコンを含む岩石と玄武岩の生成時代は異なる。したがって, 玄武岩の貫入あるいは噴出による熱の影響で, それまでにジルコン中に形成されたフィッション・トラックが完全に消滅したという保証が必要となる。この方法について以下に説明する。さらに, 本法を用いて佐賀県東松浦半島に分布する新旧二つの玄武岩の生成時代の検討を試みたのでその結果を報告する。

九州大学生産科学研究所の林 正雄助教授には討論をしていただき, さらに原稿を読んでいただいたので謝意を表す。

原理 ジルコン試料のフィッション・トラック年代は, 生成後に熱の影響を受けた場合, 若返った値を示すことがある。さらに熱アニーリングの条件 (加熱される温度および時間) によっては, 2π 面 (結晶表面) と 4π 面 (結晶内部面) を用いた年代は一致する場合と一致しない場合がある (渡辺ほか, 1985)。一致しない場合, 4π 年代のほうが 2π 年代よりアニーリングの影響を受け易いので若い値を示す。Fig. 1 はジルコン結晶の 2π 面および 4π 面におけるフィッション・トラックのアニー

Fig. 1. Schematic relationship between annealing temperature (annealing time one hour) and fission track age, using external and internal surface of zircon crystals. NA : non-annealed zone, PA : partially annealed zone, CA : completely annealed zone.

リング特性を示したものである。ここでは加熱時間を一定にした時のアニーリング温度と年代の関係の一例 (渡辺ほか, 未公表データ) を示した。図中の NA, PA および CA は, 2π 年代と 4π 年代の一致, 不一致性に基づき分類したものである。加熱された時間, 温度および年代の減少率の間には一定の関係が認められ, 捕獲岩や貫入岩周辺の岩体中のジルコンのフィッション・トラックは, 貫入等により上記の三つの場合のいずれかの熱の影響を受ける。ジルコンを含む岩石が生成後 (厳密には生成後ジルコンのフィッション・トラックの閉鎖温度に達した後) の時間の経過と, フィッション・トラック年代との関係をこれら三つの場合について説明する (Fig. 2)。熱の影響が低温あるいは短時間のとき (NA), 両方の年代はジルコンを含む岩石の生成年代を示す。 2π および 4π 年代の少なくとも一方が, 貫入等 (図中の thermal event) による部分アニーリングによって不完全な若返りを示していれば (PA), 二つの年代は一致しない。

1986年8月1日受付。1986年10月20日受理。

* 九州大学工学部資源工学教室。Department of Mining, Faculty of Engineering, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka, 812 Japan.

** 福岡大学理学部地学教室。Geological Laboratory, Faculty of Science, Fukuoka University, Nanakuma, Fukuoka, 814-01 Japan.

*** 日本地質学会第93年学術大会 (1986) で講演

Fig. 2. Effect of thermal event to the relationship between estimated 2π - 4π fission track ages and time elapse since the host rock of zircon formed.

アニーリングが十分行われた場合(CA), トラックは完全に消滅し, 4π 年代と 2π 年代は一致する。したがって, 噴出あるいは貫入による熱アニーリングを受けたと考えられるジルコンの 2π 年代と 4π 年代が一致し, これらが原岩の生成時代より若い値を示すとすれば, この一致年代は噴出あるいは貫入の年代を示すことになる。

実験 今回用いた方法は, 自発トラックをジルコン結晶の 2π 面(外部面)および 4π 面(内部面)上で計数し, 誘発トラックを外部検出材(マイカ)上で計数する方法(それぞれ $S2\pi ES-12\pi ED$ 法と $S4\pi ES-12\pi ED$ 法で表現される)である。

捕獲岩試料より抽出したジルコン結晶を二分し, 一方を 2π 年代, 他方を 4π 年代の測定に供した。それぞれのジルコン試料を PFA テフロン板に埋め込み, 4π 年代を求める試料をつぎの方法で $12\mu m$ 以上研磨した。すなわち, トラック密度の高い($10^7 cm^{-2}$)ジルコン粒子をあらかじめエッチングしておき, 研磨指標として試料とともに周囲に埋め込む。フィッシュン・トラックのエ

ッチピットは最大深度が $12\mu m$ なので, 研磨指標のトラックが消滅するまで研磨することにより確実な 4π 面を得た。つぎに両方の試料を, NaOH+KOH 共融液($230^\circ C$)で 20~30 時間エッチングを行った。さらに各粒子の写真撮影を行い, 写真上に設定した領域内で自発トラックを計数した。 4π 面上のトラックには点状のものが含まれ, 同定が容易でない。したがって, 長さ $1\mu m$ 以下のエッチピットは, 測定から除外した。これらの試料とウラン標準ガラス(SRM962a)にマイカを貼り, 熱中性子照射を行った。ジルコンに貼ったマイカは, 46% HF($25^\circ C$)で 30 分間エッチングを行い, 自発トラックの測定領域に対応するマイカ上の領域内で誘発トラックを計数した。

年代(A)の算出には次式を用いた。

$$A = \lambda_D^{-1} \ln [1 + \lambda_D \sigma_F I \phi g \Sigma Ns / (\lambda_f \Sigma Ni)]$$

ここで各定数については, 次の値を用いた。ウラン 238 の自発核分裂壊変定数 $\lambda_f = 7.03 \times 10^{-17} yr^{-1}$ (ROBERT *et al.*, 1968), ウラン 238 の総壊変定数 $\lambda_D = 1.55125 \times 10^{-10} yr^{-1}$ (STEIGER & JÄGER, 1977), ウラン 235 の誘発核分裂核反応断面積 $\sigma_F = 582.2 \times 10^{-24} cm^2$ (MUGHABGHAB & GARBER, 1973), ウラン 235 とウラン 238 の同位体存在比 $I = 7.2527 \times 10^{-3}$ (STEIGER & JÄGER, 1977)である。なお, 4π 年代の計算では点状トラック(全体の約 10% 存在)を計数していないので, 補正係数 $g = 0.55$ とした。 2π 年代の場合は $g = 1$ である。なお, 4π 年代の誤差には上記の補正係数に伴う誤差が含まれるが, 今回はその点まで考慮していない。

得られた個々の年代については, 林・藤井(1985)による統計的検定法をもちいて, PI 値を求め, 各粒子の Ns/Ni 比の分散とポアソン分布との整合性を検討した。

地質概説および測定試料 東松浦半島には, 東部に白亜紀の花コウ岩類が分布し, それらを不整合に覆う第三紀佐世保層群を玄武岩~玢岩岩脈(呼子貫入岩類と仮称する)が貫いている。石橋(1985)はこれらの岩脈群が加部島の天童岳北部を中心に放射状に分布することを見だし, 野外調査および化学組成の類似性から中期中新世の肥前粗粒玄武岩に対比した。これらの岩脈群は, 後期鮮新統とされた佐留志砂礫層(山崎, 1959)に覆われる。さらにこの上位に七つ釜の玄武岩で知られる松浦玄武岩が数回にわたり噴出している。松浦玄武岩の噴出時代については, 周辺地域に分布するものも含めると 3~10 Ma の幅広い範囲にわたる K-Ar 年代値が得られている。

今回の年代測定に用いた試料は, 上記の呼子貫入岩類

Fig. 3. Geologic map after KOBAYASHI *et al.* (1955) and ISHIBASHI (1960), and sampling points for xenolith dating.

- 1: Alluvium,
- 2: Matsuura Basalts,
- 3: Gravel bed,
- 4: Yobuko Intrusive Rocks,
- 5: Tertiary sediments,
- 6: Cretaceous granitic rocks.

Table 1. Fission track age data of zircon in xenolith included by basaltic rocks from Higashi-Matsuura Peninsula.

Sample	ΣN_s	ρ_s	ΣN_i	ρ_i	Φ	n	PI	Age(Ma)	Method
W71(Xenolith from Matsuura B.)	495	3.53×10^5	3402	2.43×10^6	3.95×10^{14}	34	34	3.45 ± 0.20	2π FT
W71(ditto)	221	2.77×10^5	1140	1.43×10^6	3.95×10^{14}	20	65	2.56 ± 0.20	4π FT
※1(Matsuura Basalts)								2.7	K-Ar
W73(Xenolith from Yobuko I.R.)	1233	9.69×10^5	1848	1.45×10^6	3.95×10^{14}	32	100	15.8 ± 0.8	2π FT
W73(ditto)	893	1.02×10^6	776	8.81×10^5	3.95×10^{14}	22	95	15.2 ± 0.9	4π FT
※2(Yobuko Intrusive Rocks)								5.2	K-Ar

ΣN_s : total number of counted spontaneous tracks, ρ_s : spontaneous track density (cm^{-2}), ΣN_i : total number of counted induced tracks, ρ_i : induced track density (cm^{-2}), Φ : thermal neutron fluence (cm^{-2}), n: number of grains used for age calculation, PI: precision index. ※1, ※2: data from ISHIBASHI (1985).

および松浦玄武岩の岩脈からそれぞれ採集された花コウ岩の捕獲岩である。これらは、半島東部の白亜紀花コウ岩に酷似している。また、九州西北部には新生代の花コウ岩は認められないので、捕獲岩の原岩の生成時代は白亜紀と考えて差し支えない。Fig. 3に地質概略図と両試料の採集地点を示す。呼子貫入岩類中の花コウ岩質捕獲岩試料(W73)は、加部島天童岳北部において第三紀堆積岩に岩頸状に貫入する場所(北緯 $33^\circ 32' 51''$, 東経 $129^\circ 52' 41''$)で採集した。捕獲岩は亜円礫～亜角礫状を示し、大きさは径10 cm以下である。また、松浦玄武岩中の捕獲岩試料(W71)は、半島北東端の相賀崎付近(北緯 $33^\circ 30' 40''$, 東経 $129^\circ 58' 01''$)で採集された。ここでは花コウ岩と玄武岩の接触部は確認できないが、花コウ岩に幅約20 mの玄武岩脈が明らかに貫入している。岩脈中には15 cm以下の亜角礫状の花コウ岩質捕獲岩が多数散

在している。

結果および考察 Table 1に、得られた結果を示す。また、石橋(1985)により報告された同一層準試料のK-Ar年代も加えた。

試料W71(松浦玄武岩中の捕獲岩)の 2π および 4π 年代は、それぞれ 3.45 ± 0.20 Maと 2.56 ± 0.20 Maを示した。これらの間には明らかに有意の差があり、 2π ～ 4π 年代が一致していないと見なすことができる。 2π 年代のPI値は34で(理想分布の場合PI=100)低い値を示す。これは、異なる熱履歴を持つ粒子が混在しているためであるかもしれない。一致しない 2π ～ 4π フィッション・トラック年代のみからは、噴出年代を得ることはできない。しかし、同層準の新鮮な岩石試料から2.7 MaのK-Ar年代が得られている。この値は、フィッション・トラック法による 4π 年代とほぼ同じであり、

この玄武岩の噴出時代は 2.6~2.7 Ma と考えて差し支えないであろう。

試料 W73 (呼子貫入岩類中の捕獲岩) の 2π および 4π 年代は、それぞれ 15.8 ± 0.8 Ma と 15.2 ± 0.9 Ma を示した。これらの間には有意の差がなく、 2π - 4π 年代が一致しており、完全なアニーリングを受けている (CA) と考えることができる。K-Ar 年代は 5.2 Ma であるが、この試料は変質しており、放射アルゴンが逸散し年代が若返っている可能性が大きい。したがって、呼子貫入岩類の生成年代は、15~16 Ma (中期中新世) と考えられる。

呼子貫入岩類は、層位、年代、化学組成の点から、唐津炭田の相知・杵島の各層および佐世保炭田の下部層群中に層状に貫入している肥前粗粒玄武岩類 (山崎, 1959; 松本・山崎, 1960) に対比される。これらは、九州における玄武岩活動の先駆をなすものとして注目される。また得られた年代は、鳥居ほか (1985) による日本海の拡大に伴う西南日本の時計回りの回転の時期に相当するの興味深い。

今回用いた方法は、ジルコンに乏しく新鮮でない岩脈の放射年代測定に、特に有効と考えられる。 2π - 4π 年代の不一致性の持つ意味については、今後の課題とした。

文 献

- 林 正雄・藤井 誠, 1985: Grain by grain 法による年代測定データから異質粒子を推定する統計的手法. 地質雑, **91**, 403-409.
- 石橋 澄, 1960: 佐賀県唐津市西方の玄武岩中の輝石について (演旨). 同上, **66**, 475.
- , 1985: 佐賀県東松浦半島地域の玄武岩岩脈. 日本地質学会第 93 年学術大会講演要旨, 291.
- 小林 勇・今井 功・松井和典, 1955: 5 万分の 1 地質図幅「呼子」および同説明書. 28p., 地質調査所.
- 松本恒夫・山崎達雄, 1960: 唐津炭田の貫入火成岩類, 特に肥前粗粒玄武岩類について. 九州鉱山学会誌, **28**, 312-325.
- MUGHABGHAB, S. F. and GARBER, D. I., 1973: Neutron Cross Sections, Vol. 1. Resonance Parameters, BNL Report 325, 3rd ed., 764.
- ROBERTS, J. H., GOLD, R. and ARMAN, R. J., 1968: Spontaneous fission decay constant of ^{238}U . *Phys. Rev.*, **174**, 1482-1484.
- STEIGER, R. H. and JÄGER, E., 1977: Subcommission geochronology: convention on the use of decay constants in geo and cosmochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- 鳥居雅之・林田 明・乙藤洋一郎, 1985: 西南日本の回転と日本海の誕生. 科学, **55**, 47-52.
- 渡辺公一郎・林 正雄・寺前 剛, 1985: 変質岩中のジルコンのフィッシュン・トラック年代測定. 三鉱学会秋期連合学術講演会演旨, 40.
- 山崎達雄, 1959: 唐津炭田の地質構造と貫入火成岩類. 九州大学生産研報告, 第 26 号, 52-75.