琉球列島産新生代火山岩類の放射年代

Radio-metric ages of some Cenozoic
volcanic rocks from Ryukyu Islands

大 四 雅 弘 (Masahiro Daishi)*
林 正 雄 (Masao Hayashi)**
加 藤 祐 三 (Yuzo Kato)***

The radio-metric ages on 13 volcanic rocks from the Ryukyu Islands have been measured by one of fission track methods (viz. arranged fixed area population method, external-surface external-detector method and external-surface internal-detector method) or K-Ar method. The ages obtained are as follows: Takarajima propylite/ 1.4 ± 0.4 Ma (KAG-001), 5.05 ± 0.38 Ma (KAG-002), and 1.1 ± 0.3 Ma (KAG-003); Tairajima andesite/ 4.79 ± 0.96 Ma (KAG-004); Suwanosejima andesite/ 0.64 ± 0.16 Ma (KAG-006); Nakanoshima andesite/ 1.75 ± 0.22 Ma (KAG-008), and 0.14 ± 0.06 Ma (KAG-009); Okinawajima andesite/ 16.6 ± 1.4 Ma (OKA-011); Agunijima dacite/ 6.24 ± 0.46 (OKA-021); Kumejima andesite/ 12.8 ± 2.1 Ma (OKA-023), and 15.1 ± 2.6 Ma (OKA-024); Ishigakijima rhyolite/ 44.1 ± 1.8 Ma (OKA-033), and 43.5 ± 1.8 Ma (OKA-035). Of these, two samples of KAG-001 and KAG-003 were measured by the whole-rock K-Ar method. The age determination has resulted in the recognition of four stages of volcanism in the Ryukyu Islands: middle Eocene Green-Tuff, middle to late Miocene Green-Tuff, late Miocene to early Pleistocene Older-Volcanic Islands, and early Pleistocene to Recent Younger-Volcanic Islands.

I. はじめに

地質編年を行なうにあたって、火山噴出物や貫入火成岩の年代決定は非常に重要である。とくに、琉球列島のように広大な地域に小さな島々が点在する場合には、総合的な地質層序を確立する上に、これらの放射年代の決定は欠かせない非常に有用な手段である。しかし交通の不便さなどから、現在までに年代測定が行なわれた例は少なく、さらに地域も限定されている。それらは、屋久島 (Shibata and Nozawa, 1968b), 奄美大島 (Shibata and Nozawa, 1966; Shibata, 1968), 徳之島 (河野・植田, 1966), 沖縄島 (Bowin and Reynolds, 1975; 柴田ら, 1979) および石垣島 (河野・植田, 1966) の酸性貫入岩類、久米島 (中川・村上, 1975) の安山岩類などである。近年、筆者らとその共同研究

者はフィッション・トラック法を用いて琉球列島の各地の年代測定を行なってきた。その成果の一部はすでに報告している (大四・林, 1982; 松本・大四, 1982; 林ら, 1984; 大四ら, 1986)。

今回、琉球列島産火山岩類のうち、鹿児島県中之島の安山岩 2 試料、諏訪之瀬島の安山岩 1 試料、平島の安山岩 1 試料、宝島の安山岩 3 試料、沖縄県沖縄島の安山岩 1 試料、粟国島のデイサイト 1 試料、久米島の安山岩 2 試料および石垣島の流紋岩 2 試料の計 13 試料について年代測定を行なったので報告する。なお、宝島の 2 試料については K-Ar 法を用い、他はすべてジルコンによるフィッション・トラック法を使用した。

II. 年代測定試料

今回年代測定を行なった岩石試料の採取地点を第 1

* 大阪市立大学理学部地学教室
〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138
** 九州大学機能物質科学研究所
〒816 春日市春日公園 6-1
*** 琉球大学理学部海洋学教室
〒903-01 沖縄県中頭郡西原町

(昭和 62 年 5 月 20 日受付
昭和 62 年 8 月 26 日受理)

第1図 試料採取地点位置図。

図に示す。

(1) KAG-001

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村宝島二股立
(北緯 29°08'13"-東経 129°12'23")

採取岩石：変質安山岩溶岩

地質：宝島層群尾根神山累層二股立溶岩層

(2) KAG-002

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村宝島荒木崎
(北緯 29°07'13"-東経 129°13'03")

採取岩石：変質安山岩質非熔結火砕流堆積物

地質：宝島層群尾根神山累層荒木崎火砕岩層

(3) KAG-003

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村宝島大積石
(北緯 29°08'02"-東経 129°13'02")

採取岩石：変質安山岩溶岩

地質：宝島層群尾根神山累層二股立溶岩層

(4) KAG-004

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村平島南浜
(北緯 29°40'30"-東経 129°31'59")

採取岩石：変質紫蘇輝石普通輝石安山岩質火山角礫岩

地質：平島火山岩類B火砕岩層

(5) KAG-006

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村諏訪之瀬島切石
(北緯 29°36'17"-東経 129°42'49")

採取岩石：普通輝石紫蘇輝石安山岩溶岩

地質：諏訪之瀬島火山岩類真向台安山岩類

(6) KAG-008

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村中之島セリ崎
(北緯 29°49'14"-東経 129°55'09")

採取岩石：変質紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩

地質：中之島火山岩類セリ崎安山岩類

(7) KAG-009

採取地点：鹿児島県鹿児島郡十島村中之島濁浦
(北緯 29°50'11"-東経 129°51'11")

採取岩石：紫蘇輝石普通輝石角閃石安山岩溶岩

地質：中之島火山岩類濁浦安山岩類

(8) OKA-011

採取地点：沖縄県中頭郡読谷村長浜
(北緯 26°24'37"-東経 127°44'52")

採取岩石：黒雲母角閃石安山岩岩脈

地質：名護層貫入岩類

(9) OKA-021

採取地点：沖縄県島尻郡栗国島西
(北緯 26°34'57"-東経 127°12'50")

採取岩石：紫蘇輝石普通輝石角閃石デイサイト溶岩
地質：栗国層群西層

(10) OKA-023

採取地点：沖縄県島尻郡久米島島尻
(北緯 26°18'23"-東経 126°48'25")

採取岩石：変質紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩

地質：阿良岳層

(11) OKA-024

採取地点：沖縄県島尻郡久米島島尻
(北緯 26°18'27"-東経 126°47'52")

採取岩石：変質紫蘇輝石普通輝石安山岩溶岩

地質：阿良岳層

(12) OKA-033

採取地点：沖縄県石垣市崎枝
(北緯 24°25'11"-東経 124°07'12")

採取岩石：変質黒雲母流紋岩溶岩

地質：宮良層群野底層

(13) OKA-035

採取地点：沖縄県石垣市川平
(北緯 24°27'32"-東経 124°07'52")

採取岩石：変質黒雲母流紋岩岩脈

地質：宮良層群野底層

III. 実験方法

放射年代測定には岩石の変質程度やジルコンの含有量から判断して、K-Ar 法あるいはフィッシュン・トラック法を使用した。

フィッシュン・トラック年代測定は、岩石試料から得られたジルコンの量や形態、および、ジルコン中の自発トラックの数により次に示す3種の方法の1種を用いた。自発トラック数が比較的少なく、同一面上に誘発トラックを加えても計数が可能と思われる試料番号 KAG-006, KAG-008, KAG-009 および OKA-011 は、ジルコンの外部表面と内部検出材（中性子照射済みジルコンの再エッチング）を用いた grain-by-grain 法（以下外部表面 external surface と内部検出材 internal detector を略して ESID 法と呼ぶ）を使用した。自発トラック数が十分に多く、同一面上に誘発トラックを加えると計数が困難と予想される試料番号 OKA-023, OKA-024, OKA-033 および OKA-035 は、ジルコンの外部表面と外部検出材（白雲母）を用いた grain-by-grain 法（以下外部表面 external surface と外部検出材 external detector を略して ESED 法と呼ぶ）を用いた。同様の形状・色を呈するジルコンを比較的多く含む試料番号 KAG-002, KAG-004 および

OKA-021 は、大四ら (1986) の Arranged fixed-area population method (以下、単に母集団法と略する) を使用した。

フィッション・トラック年代測定に使用可能なジルコンをほとんど含有しない試料番号 KAG-001 および KAG-003 の 2 試料については、全岩 K-Ar 法を用いた。K-Ar 法による年代測定はテレダインアイソトープ社に依頼した。

フィッション・トラック年代測定法は実験者により実験方法や実験条件が異なる場合が多い。筆者らはすでに母集団法と ESED 法について述べた (大四ら, 1986)。今回は新たに ESID 法を用いたので、以下 ESID 法を中心に実験方法と実験条件を述べる。他の方法との比較を容易にするため、これらの実験のフローチャートを第 2 図に示す。

(1) ジルコンの分離・選別・アニーリング

今回の試料は、安山岩～ディサイト～流紋岩であり、大四ら (1986) で報告した酸性貫入岩類に比較するとそのジルコン含有量は一般に少ない。このため、各岩石を 5 kg～20 kg クラッシャーで粉碎した。粉碎試料から、48～200 メッシュの部分ふるい分けし、パンニング法により重鉱物を濃集する。重液 (プロモホルム: 比重 2.85) で重鉱物を選別し、アイソダイナミック・セパレータで磁性鉱物を除く。HF 溶液 (H_2O と H_2SO_4 を数滴加える) 中で加熱し珪酸塩鉱物を除き、鉱化・変質などによって黄鉄鉱が混入している場合は HNO_3 : H_2O (1:1) 溶液中で加熱し溶解する。ジルコン表面が酸化鉄などで汚濁されているときは、稀塩酸で煮沸する。

異質ジルコンの混入を避けるために、手選によりとくに色の濃いものや結晶の形状が異なるものを除去する。

母集団法を用いた試料では、以上のように選別したジルコンを自発トラック計数用および誘発トラック計数用に 2 分した (第 2 図)。誘発トラック計数用のジルコンは、林 (1981) にしたがって、900°C に保った電気炉中で 2 時間加熱してアニーリングを行なった。

(2) エッチング

エッチングは六弗化テフロンに埋め込んだジルコンの表面を DP クロスで清浄 (ダイヤモンド・ペーストは使用せず、したがってジルコンは研磨されていない) 後行なった。エッチングは、50.6 mol% KOH と 49.4 mol% NaOH の共融混合液 (Gleadow *et al.*, 1976) を用い、215±1°C に保った状態で 35～75 時間行なった。試料によって最適エッチング時間は大きく異なり、

概ね年代の若い試料ほどエッチング時間は長い。

ESID 法を用いた試料では、後に述べる熱中性子照射後、さらに誘発トラックの測定のため再エッチングを上記と同様の状態で約 40 時間行なった。

外部検出材の白雲母のエッチングには、24% HF 溶液を恒温水槽中で 25°C±1°C に保ち、約 15 分間行なった。

(3) 熱中性子照射

六弗化テフロンに埋め込んだジルコンに外部検出材の白雲母を張り合わせる (ESID 法の試料にも確認のため同様に行なう)。また、中性子線量のモニター用標準ガラス (NBS962a または NBS612) にも同様に白雲母を張り合わせる。両者をカプセルに入れて立教大学原子炉 (TRIGA Mark II) 回転試料棚で熱中性子を照射する。照射時間はエッチング効率や計数効率などに違いが生じないために自発トラックと誘発トラックの差が 100 倍以内に収まるように 15 分間あるいは 5 分間とした。

熱中性子線量の測定は、熱中性子を照射した標準ガラスの外部検出材である白雲母を用いる。熱中性子線量 Φ は次式で示される。

$$\Phi = \Phi_k \times \rho_u / \rho_k$$

Φ_k : NBS で照射された標準ガラスの熱中性子線量 (Gold Foil の値を使用)

ρ_u : 試料と共に照射された標準ガラスに張り合わせた白雲母のトラック密度

ρ_k : NBS で標準ガラスに張り合わせて照射された白雲母のトラック密度

(4) トラックの計数

トラックの計数は光学顕微鏡 (乾式 1,000 倍) を用い、包有物、トラックの濃集部および傷の部分などは避け、2 π ジオメトリ領域内で行なった。

母集団法の試料については、大四ら (1986) で述べたように第 2 図に示す 3 種の誘発トラックを用い、補正を行なった。

(5) フィッション・トラック年代式

Price and Walker (1963) によって提唱されたフィッション・トラック年代式に定数 (^{238}U のフィッション・トラック壊変定数は $7.03 \times 10^{-17}/\text{yr}$; Roberts, *et al.*, 1968: 現在の $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 原子数比は 7.2525×10^{-3} ; Steiger and Jager, 1977) などを代入すると、次式が得られる。

$$A = 6.45 \times 10^9 \ln(1 + 9.28 \times 10^{-18} \times \frac{\rho_s}{\rho_i} \times \Phi)$$

第2図 フィッション・トラック年代測定実験フローチャート。

ρ_s : ^{238}U の自発トラック密度

ρ_i : ^{235}U の誘発トラック密度

年代測定値の誤差は、次式で表される。

$$E = \sqrt{\text{Er}(s)^2 + \text{Er}(i)^2 + \text{Er}(d)^2}$$

$\text{Er}(s)$: 自発トラック密度の相対標準誤差

$\text{Er}(i)$: 誘発トラック密度の相対標準誤差

$\text{Er}(d)$: 熱中性子線量の相対標準誤差

以上の手法にもとづいて算出した結果について、母集団法ではF検定(林, 1981), ESED法およびESID法では精密度係数(林・藤井, 1985)により統計的検定を行なった。

IV. 結果および考察

年代測定結果は、第1, 2, 3表および第3図に示すとおりである。第3図中には比較のため琉球列島の火成岩類について現在までに報告された放射年代を合わせて示してある。

鹿児島県中之島の安山岩の年代はそれぞれ 1.75 ± 0.22 Ma (KAG-008), 0.14 ± 0.06 Ma (KAG-009) を示し、前期更新世および後期更新世である。また、鹿児島県諏訪之瀬島の両輝石安山岩の年代は 0.64 ± 0.16 Ma (KAG-006) で中期更新世であり、鹿児島県平島の両輝石安山岩は 4.79 ± 0.96 Ma (KAG-004) で前期鮮新世である。さらに、鹿児島県宝島の荒木崎火砕岩層の年代は 5.05 ± 0.38 Ma (KAG-002) で、前期鮮新世を示し、二股立溶岩層の年代はそれぞれ 1.4 ± 0.4 Ma (KAG-001), 1.1 ± 0.3 Ma (KAG-003) で中期更新世を示す。沖縄県沖縄島の安山岩の年代は 16.6 ± 1.4 Ma (OKA-011) で中期中新世であり、沖縄県粟国島のデイ

サイトの年代は 6.24 ± 0.46 Ma (OKA-021) を示し後期中新世である。また、沖縄県久米島の安山岩の年代はそれぞれ 12.8 ± 2.1 Ma (OKA-023), 15.1 ± 2.6 Ma (OKA-024) を示し、中期中新世である。さらに、沖縄県石垣島の流紋岩の年代はそれぞれ 44.1 ± 1.8 Ma (OKA-033), 43.5 ± 1.8 Ma (OKA-035) で、中期始新世である。

1. 琉球系第四紀火山の活動年代

琉球系第四紀火山の活動年代は、層序学的データなどから中期更新世(一部変質程度などから前期更新世までさかのぼる可能性がある)から現世とされてきた(松本徭夫・松本幡郎, 1966; 松本徭夫, 1978; 大四・松本, 1979a; 松本徭夫, 1983 ほか)。これらの活動に属する火山で、今回その活動年代が明らかにされたのは、KAG-006 の諏訪之瀬島火山岩類, KAG-008 および KAG-009 の中之島火山岩類である。

KAG-006 は、諏訪之瀬島の真向台安山岩類(大四, 1983)に属する両輝石安山岩である。本試料の年代は、 0.64 ± 0.16 Ma で中期更新世を示しており、真向台安山岩類が諏訪之瀬島における活動の初期(Stage 2)であることから、現在の諏訪之瀬島が形成された活動が中期更新世から現世まで引き続き行なわれてきたことを示している。本試料中年代測定に用いたジルコンは、19 粒子中 17 粒子(精密度係数による異質粒子 2 粒子)であり、このときの精密度係数は 88 であった。真向台安山岩類には多量の堆積岩や花崗岩などの外来岩片を含む(大四, 1983)ことから、本試料中にも多くの異質粒子が含まれている可能性が考えられる。しかし、精密度係数が高いことから、異質粒子がジルコンの選別および統計的処理によって取り除かれたのかも知れない。

第1表 琉球列島産火山岩類 8 試料の ESID・ESED 法によるフィッシュン・トラック年代測定結果

sample No.	spontaneous track number	track density $\times 10^5 \text{cm}^{-2}$	induced track number	track density $\times 10^6 \text{cm}^{-2}$	thermal neutron dose $\times 10^{14} \text{cm}^{-2}$	PI*	age and std. error (Ma)	method
KAG-006	17	0.0270 ± 0.0066	629	1.000 ± 0.148	3.97 ± 0.15	88	0.64 ± 0.16	ESID
KAG-008	81	0.2656 ± 0.0295	371	1.216 ± 0.063	1.34 ± 0.04	90	1.75 ± 0.22	ESID
KAG-009	6	0.0018 ± 0.0007	336	0.1017 ± 0.0055	1.34 ± 0.04	98	0.14 ± 0.06	ESID
OKA-011	299	0.6986 ± 0.0404	428	1.000 ± 0.048	3.97 ± 0.15	83	16.6 ± 1.4	ESID
OKA-023	581	1.094 ± 0.144	1122	2.113 ± 0.200	4.12 ± 0.11	89	12.8 ± 2.1	ESED
OKA-024	543	1.500 ± 0.204	885	2.444 ± 0.261	4.12 ± 0.11	87	15.1 ± 2.6	ESED
OKA-033	2504	3.754 ± 0.075	1348	2.021 ± 0.055	3.98 ± 0.09	80	44.1 ± 1.8	ESED
OKA-035	2395	5.140 ± 0.105	1304	2.798 ± 0.078	3.97 ± 0.08	90	43.5 ± 1.8	ESED

*PI: 精密度係数(林・藤井, 1985)

第2表 琉球列島産火山岩類3試料の母集団法によるフィッシュン・トラック年代測定結果

sample No.	track density (x10 ⁶ cm ⁻²) spontaneous ps	induced ρ_i / ρ_i^Z	$\rho_i^{ms} / \rho_i^{mi}$	thermal neutron dose (x10 ¹⁴ cm ⁻²)	F value*	age and std. error (Ma)
KAG-002	0.281 ± 0.016	1.394 ± 0.065 1.391 ± 0.064	1.397 ± 0.046 1.393 ± 0.045	4.19 ± 0.09	1.043	5.05 ± 0.38
KAG-004	0.075 ± 0.043	1.401 ± 0.700 1.399 ± 0.699	1.395 ± 0.414 1.393 ± 0.416	4.19 ± 0.09	1.071	4.79 ± 0.96
OKA-021	0.266 ± 0.015	1.069 ± 0.043 1.060 ± 0.041	1.078 ± 0.032 1.069 ± 0.033	4.19 ± 0.09	1.156	6.24 ± 0.46

*F value: 林, 1981

 ρ_i : 補正された誘発トラック密度 ρ_i^Z : 誘発トラック計数用ジルコンのトラック密度 ρ_i^{ms} : 自発トラック計数用ジルコンに張り合わせた白雲母の誘発トラック密度 ρ_i^{mi} : 誘発トラック計数用ジルコンに張り合わせた白雲母の誘発トラック密度

第3表 琉球列島産火山岩類2試料の全岩 K-Ar 年代測定結果

sample No.	⁴⁰ Ar rad scc/gmx10 ⁻⁵	% ⁴⁰ Ar _{rad}	% K	age and std. error (Ma)
KAG-001	0.010 0.010	9.8 10.1	1.95 1.95	1.4 ± 0.4
KAG-003	0.012 0.012	9.6 9.8	2.76 2.80	1.1 ± 0.3

KAG-006 の試料は溶岩であるが、大四ほか (1986) で述べたように外来岩片が比較的地下浅所で捕獲され、火山活動によって急激に放出された場合、外来岩片中に含まれたジルコンの自発トラックがすべて消失せず実際の年代より古い値を示す可能性が考えられる。本試料のように、比較的若い年代を示す場合は、本質粒子より少し古い年代のジルコンが少量混入しても、精密度係数ではその自由度の取り扱いによっては異質粒子が取り除けない場合が考えられる (林・杉山, 1987)。すなわち、真向台安山岩類について得られた 0.63 ± 0.16 Ma という年代は、本安山岩類が多量の外来岩片を含むことおよび精密度係数の自由度取り扱い方法による点から、実際の真向台安山岩類の活動年代

より古い値を示している可能性があるかも知れない。しかし、今回得られた年代は火山層序からも妥当と考えられ、年代誤差を考慮して活動年代を与えていると考えて良いだろう。

KAG-008 は、中之島のセリ崎安山岩類に属する両輝石安山岩であり、中之島における地質層序の最下部層にあたる (大四, 1987)。本試料の年代は、 1.75 ± 0.22 Ma で前期更新世を示しており、セリ崎安山岩類が中之島の地質層序の最下部層であることから、中之島を形成した火山活動は前期更新世に始まったものと考えられる。セリ崎安山岩類は一般に変質を受けており、緑色を呈している。このことから、変質作用による年代の若返りが考えられるが、本試料中のジルコンにはとくに変質作用によると見られるトラック長の縮小は認められなかった。しかし、変質作用によってそれまでの自発トラックがすべて消失し、その変質時期以降の自発トラックのみ観察される場合 (いわゆる年代のリセット) は得られた年代は変質年代を示していることになる。しかし、詳しい変質鉱物についての検討は行っていないが、本安山岩類にみられる変質はその構成鉱物の変質程度、変質鉱物の量より比較的弱変質と

第3図 琉球列島産火成岩類の放射年代。

下線はフィッシュン・トラック年代。他は K-Ar 年代 ((a) は ⁴⁰Ar/³⁹Ar 年代)

▲: 火山岩類, ●: 酸性貫入岩類

- Bowin and Reynolds, 1975
- 大四・林, 1982
- 大四ら, 1986
- 本報告
- 河野・植田, 1966
- 松本・大四, 1982
- Miller et al., 1962

- 中川・村上, 1975
- 柴田, 1978
- Shibata and Nozawa, 1966
- Shibata and Nozawa, 1968a
- Shibata and Nozawa, 1968b
- 柴田ら, 1979
- 種子田・木下, 1972

推定されることから、今回得られたこの年代はセリ崎安山岩類の実際の活動年代を与えるものと考えられる。

KAG-009 は、中之島の濁浦安山岩類(大四, 1987)に属する両輝石角閃石安山岩類であり、中之島火山岩類中唯一の角閃石安山岩である。本試料の年代は 0.14 ± 0.06 Ma で後期更新世を示している。本試料中年代測定に用いたジルコンは、100 粒子中 87 粒子(精密度係数による異質粒子 13 粒子)であるが、これらの内 81 粒子には自発トラックは認められなかった。すなわち、自発トラック数の合計は 6 個(ジルコン 1 粒子あたり、トラック数は 1 個)であり、このため自発トラックの相対標準誤差が約 39% におよび、得られた年代の誤差も約 43% になっている。

KAG-009 試料を含む濁浦安山岩類の活動は爆発的であり、中之島にはこの活動に関係する厚い火山灰が広い範囲に分布している。角閃石安山岩を産しない諏訪之瀬島および悪石島にも角閃石を含む起源未詳の火山灰層が分布している(大四, 1983; 大四・松本, 1979a)。これらの含角閃石火山灰層の中には濁浦安山岩類に関係するものも含まれている可能性がある。したがって、濁浦安山岩類の年代は他の島嶼における火山活動の時期を推定する上にも、鍵層として重要であろう。

今回得られた 3 試料の年代により、層序、変質などから推定されていた琉球系第四紀火山活動は、中之島のセリ崎安山岩類に示されるように前期更新世に始まり現世まで引き続き行われてきたことが明らかになった。

2. 旧期火山島の活動年代

松本(1983)ほか、琉球列島における鮮新世～更新世前期の火山活動によって形成された島々を、第四紀火山の新时期火山島に対応して旧期火山島とした。これらの旧期火山島に属する火山として、鹿児島県の臥蛇島、平島および沖縄県の久米島、粟国島などがある。このうち、久米島の宇江城層については、中川・村上(1975)によって 4.6 および 5.5 Ma の K-Ar 年代が与えられている。

KAG-004 は、平島の B 火砕岩層(木崎ら, 1985)に属する両輝石安山岩である。本試料の年代は、 4.79 ± 0.96 Ma で前期鮮新世を示す。B 火砕岩層の主体は凝灰角礫岩～火山角礫岩であり、年代測定を行なった試料は火山角礫岩中の両輝石安山岩質の火山岩塊(直径約 50 cm)である。この火山角礫岩中には岩相を異にする火山岩塊が多数含まれており、また、変質の影響で

明らかではないが、試料の火山岩塊と基質は岩相を異にしている。このことは、年代測定を行なった試料が本質火山岩塊ではなく、類質火山岩塊(岩相上は下位の鵜崎溶岩層に類似している)の可能性を示唆するものである。年代測定を行なった試料が類質火山岩塊であった場合、得られた年代は火山岩塊の形成年代を示しており、火山角礫岩を噴出した活動より古い値を示しているものと推定される。

KAG-004 試料のジルコンには火山角礫岩を噴出した活動時に受けた熱によると考えられる自発トラックの収縮は認められない。このことは火山活動時の熱によって自発トラックがすべて消滅(いわゆる年代のリセット)されたのか、あるいはもとの溶岩が非常に浅所に存在し(層序的に非常に活動年代に近い)、火山活動によって急激に放出されたことを示すものと考えられる。火山層序および岩石学的データ(木崎ら, 1985)からも本試料の火山岩塊は、火山角礫岩を噴出した活動と大きな年代の差はないものと推定される。これらのことより、今回得られた結果は、B 火砕岩層の活動年代よりやや古い値を示していることが推定されるが、その差は小さく誤差の範囲に含まれるものと考えられる。

OKA-021 は、粟国島の粟国層群西層(木崎ら, 1985)に属する両輝石角閃石デイサイトである。本試料の年代は 6.24 ± 0.46 Ma で後期中新世であり、西層が粟国島における粟国層群の最下部層であることから、現在の粟国島を形成した活動が後期中新世に始まったことを示している。

加藤(1983)は、粟国層群西層直上の筆崎層から変質を受け緑色を呈す火山岩の外来岩片を多数報告しており、また、この事実より西層の下部にグリーンタフ相当層の真鼻毛層が存在するとしている(木崎ら, 1985)。したがって、測定試料(OKA-021)中にも真鼻毛層などを起源とする異質ジルコンの混入が考えられる。本試料は、母集団法を用いて年代測定を行なった。母集団法を行なう場合、大四ら(1986)で述べているように、少量の異質ジルコンが混入していたとしても F 検定では取り除けない場合がある。しかし、本試料中のジルコンはすべて色、形状および大きさが類似しており、また、そのウラン含有量にも違いは認められなかったことより、異質ジルコンの混入はなかったと推定される。すなわち、得られた年代は西層のデイサイトの活動年代を示していると考えられる。

今回、旧期火山島に関係する試料として年代測定を行なったのは 2 試料のみであるが、層序、変質および

他地域との対比によって推定されていた鮮新世～更新世前期の活動よりもより古く、旧期火山島の活動は後期中新世から始まったことが明らかになった。

3. 中新世グリーンタフの活動年代

本州および九州において、グリーンタフの変動と火山活動は中新世を最盛期としている。琉球列島において、中新世のグリーンタフ層の分布が明らかにされているのは、鹿児島県宝島、小宝島の宝島層群（大四・松本, 1979b）および沖縄県久米島の阿良岳層（中川・村上, 1975）であり、北中部琉球に限定される。三木ら（1987）は、石垣島産安山岩の年代として 9.63 ± 0.80 Ma という全岩 K-Ar 年代値を報告した。しかし、この試料については岩石・変質などの詳しい報告はなされておらず、中新世グリーンタフとの関係は明らかでない。したがって、本報告では南琉球には中新世グリーンタフ活動は存在しないものと考えて考察をすすめる。

KAG-001 および KAG-003 は、宝島の宝島層群尾根神山累層二股立溶岩層（大四・松本, 1979b）に属する変質安山岩溶岩である。これら 2 試料の全岩 K-Ar 年代は、 1.4 ± 0.45 および 1.1 ± 0.3 Ma で前期～中期更新世を示す。宝島の宝島層群の岩石はすべて著しい変質作用を受けており、年代測定に供した試料についても原岩の様相はまったく残さない程度に変質を受けている。したがって、得られた年代も二股立溶岩層活動年代を示すものではなく、その後の変質年代を示す可能性が強い。

KAG-002 は、同じく宝島の宝島層群最下部層である尾根神山累層荒木崎火砕岩層（大四・松本, 1979b）に属する変質安山岩質非熔結火砕流堆積物である。本試料の年代は、 5.05 ± 0.38 Ma で前期鮮新世を示す。本試料においても著しい変質作用が認められ、KAG-001 および KAG-003 と同様に得られた年代は、変質作用による若返りが考えられる。また、本試料中の一部のジルコンには変質作用の結果と考えられる自発トラックの収縮（最大 80% まで縮小）が認められるが、詳しい検討は行っていない。

K-Ar 年代を求めた二股立溶岩層とフィッシュン・トラック年代を求めた荒木崎火砕岩層は同じ尾根神山累層中の部層であり、両者間に層序的には大きな年代の違いは認められない。しかし、今回得られた両部層間の年代値には約 4 Ma の差があり、フィッシュン・

トラック法に比べて K-Ar 法による測定結果が著しく若い。この点については、① フィッシュン・トラック年代測定に用いたジルコン (2π 面) の方が K-Ar 法の全岩試料より年代測定としての閉鎖温度が高い¹⁾、② 二股立溶岩層が荒木崎火砕岩層に比べてより後期まで熱的影響を受けていた（二股立溶岩層には鉱化帯の発達が目立つ（大四・松本, 1979b））可能性が考えられる。すなわち、宝島層群はその活動以後に年代測定に影響をおよぼすような変質作用があったことを示唆するものである。

宝島層群の 3 試料の年代は中期更新世および前期鮮新世を示しており、中新世のグリーンタフ活動と考えるには若過ぎる結果である。また、宝島層群に著しい不整合でかさなる更新統琉球層群などの地質層序からも、二股立溶岩層の年代結果が中期更新世を示すのは矛盾する。この点に関しては、宝島層群の岩石が一般に著しい変質作用を受けており、その変質作用による年代の若返りと考えるのが妥当であろう。すなわち、宝島の宝島層群の活動年代としては、前期鮮新世よりは古いと推定される。

OKA-023 および OKA-024 は、久米島の阿良岳層に属する変質両輝石安山岩である。これら 2 試料の年代は、 12.8 ± 2.1 および 15.1 ± 2.6 Ma で中期中新世を示す。阿良岳層については詳しい試料採取地点など是不明であるが、中川・村上（1975）によって 17.7 , 6.5 ²⁾ および 12.6 Ma（トクジミ斑岩部層）の K-Ar 年代が与えられており、今回得られたフィッシュン・トラック年代と誤差の範囲で一致している。本試料は弱変質を受けており、その影響と考えられる自発トラックの収縮が一部のジルコン（OKA-023 で最大 80% まで縮小）に認められる。このことは、層序的にはほぼ同様と考えられる 2 試料間の年代の相違（誤差の範囲内ではあるが）として現れているのかも知れない。

今回得られた 5 試料の年代より、宝島層群には変質作用による放射年代の若返りが推定されるものの、琉球列島の中新世グリーンタフ活動は中期中新世から後期中新世（変質作用による影響のため、実際の活動年代はさらに古くなる可能性はある）にあったことが明らかになった。

4. 始新世グリーンタフの活動年代

八重山群島に分布するグリーンタフ層は、層序と古生物学的データから、古第三紀始新世にまでさかのぼ

¹⁾ 興水（1987）は、 4π 面のジルコンを用いた FT 法→黒雲母を用いた K-Ar 法→ 2π 面を用いた FT の順に閉鎖温度が高くなることを報告した。

²⁾ 層序学的データおよび他の K-Ar 年代測定値より年代測定結果に若返りがあったと考えられる。

るとされている(白尾ら, 1976; 篠田・木崎, 1976)。始新統のグリーンタフが分布するのはわが国では小笠原諸島と八重山群島のみであり, 八重山群島石垣島には, このグリーンタフの宮良層群野底層が八重山変成岩類を覆って発達している。

OKA-033 および OKA-035 は, 於茂登火山深成複合岩体(永瀬・加藤, 1983)とされた黒雲母流紋岩である。本試料の年代はそれぞれ 44.1 ± 1.8 , 43.5 ± 1.8 Ma で中期始新世を示す。この年代は, 大四ら(1986)の於茂登花崗岩類の年代($28.7 \pm 0.9 \sim 29.9 \pm 1.1$ Ma)とは異なり, この測定値から推定するかぎり, これらの流紋岩類は八重山群島のグリーンタフ活動の1つであることは疑いの余地はない。また, 野底層の火山活動に含められる石垣島明石の流紋岩岩脈の年代 47.5 ± 3.0 Ma(松本・大四, 1982)とも誤差の範囲で一致する。すなわち, これらの流紋岩類は, 野底層の火山活動に含められることが明らかになった。

流紋岩2試料について行なった年代測定で, 精密度係数によって異質とされたジルコンはそれぞれ56粒子中10粒子(OKA-033), 77粒子中36粒子(OKA-035)であった。とくに, 川平の流紋岩(OKA-035)に異質とされる粒子が多いが, この点は大四ら(1986)の於茂登花崗岩類3試料(於茂登, 川平, 米原)中でも他の2試料と比較し川平の黒雲母石英モンゾ岩に異質粒子が著しく多かったことと調和する。詳しい点については不明であるが, これらの活動期に地質構造などによる何らかの影響があったのかも知れない。

以上, 琉球列島産の火山岩類13試料についての年代測定結果と考察を述べた。これらの結果より, 琉球列島における①中期始新世のグリーンタフ活動, ②中期中新世～後期中新世のグリーンタフ活動, ③後期中新世～前期更新世の旧期火山島の活動, ④前期更新世～現世の新时期火山島の活動の4つの活動時期が明らかになった。

謝 辞 本報告を行なうにあたり, 次の方々に深く感謝する。採取試料のご教示をいただいた琉球大学木崎甲子郎教授。試料採取の際お世話になった日本ボーリングの日高和己氏, 元琉球大学学生の永瀬武彦氏, 座波吉実氏ならびに十島村の方々。実験設備の調整などにご協力いただいた大阪市立大学古山勝彦氏。原子炉使用にあたってお世話になった立教大学戸村健治教授。激励をいただいた大阪市立大学市原実教授, 吉川周作氏。

引用文献

- Bowin, C. and Reynolds, P.H. (1975), Radio metric ages from Ryukyu arc region and an $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age from biotite dacite on Okinawa. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **27**, 363-370.
- 大四雅弘(1983), トカラ列島諏訪之瀬島の火山地質(要旨). 火山, **II**, **28**, 207.
- 大四雅弘(1987), 鹿児島県トカラ列島中之島の火山地質. 日本地質学会第94年学術大会講演要旨, 406.
- 大四雅弘, 林 正雄(1982), 沖縄本島主部に分布する貫入岩類の fission track 年代. 琉球列島の地質学研究, **6**, 5-10.
- 大四雅弘, 松本徭夫(1979a), 鹿児島県吐噶喇列島悪石島の火山地質. 琉球列島の地質学研究, **4**, 63-78.
- 大四雅弘, 松本徭夫(1979b), 鹿児島県吐噶喇列島宝島の地質—とくにグリーンタフ活動について. 琉球列島の地質学研究, **4**, 35-46.
- 大四雅弘, 林 正雄, 加藤祐三(1986), 琉球列島産新生代酸性貫入岩類のフィッション・トラック年代. 岩鉱, **81**, 324-332.
- Gleadow, A.J.W., Hurford, A.J. and Quaife, R.D. (1976), Fission track dating of zircon: improved etching techniques. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **33**, 273-276.
- 林 正雄(1981), 定面積母集団法によるフィッション・トラック年代測定. 地質雑, **87**, 307-313.
- 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.
- 林 正雄, 杉山広己(1987), Grain by grain 法によるフィッション・トラック年代測定データの簡易な統計的検定法. 岩鉱, **82**, 239-242.
- 林 正雄, 大四雅弘, 松本徭夫(1984), 島尻層群と那原層の火山砕屑岩のフィッション・トラック年代(要旨). 日本地質学会西日本支部会報, **79**, 18.
- 加藤祐三(1983), 中琉球内帯の基盤岩. 総研(A)報告書, 「九州の基盤と陥没構造」, **2**, 33-37.
- 木崎甲子郎編(1985), 琉球弧の地質誌. pp. 278, 沖縄タイムス.
- 興水達司(1987), ジルコンによる貫入岩類の熱史の検討. 日本地質学会第94年学術大会講演要旨, 112.
- 河野義礼, 植田良夫(1966), 本邦火成岩の K-Ar dating (V). 岩鉱, **56**, 191-211.
- 松本徭夫(1978), 沖縄県琉黄島島の火山地質. 琉球列島の地質学研究, **3**, 163-180.
- 松本徭夫(1983), 琉球列島における新生代火山活動. 地質学論集, **22**, 81-91.
- 松本徭夫, 大四雅弘(1982), 沖縄県石垣島流紋岩のフィッション・トラック年代. 琉球列島の地質学研究, **6**, 1-3.
- 松本徭夫, 松本幡郎(1966), 鹿児島県トカラ列島横当

- 島の火山地質. 火山, II, 11, 72-83, 105-115.
- 三木雅子, 乙藤洋一郎, 松田高明, 板谷徹丸, 安川克己(1987), 古地磁気からみた琉球弧南部の回転運動. 日本地質学会第94年学術大会講演要旨, 314.
- Miller, J.A., Shibata, K. and Kawachi, Y. (1962), Potassium-argon ages of granitic rocks from the outerzone of Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 13, 712-714.
- 永瀬武彦, 加藤祐三(1983), 石垣島於茂登火山深成複合岩体の地質と岩石. 日本地質学会第90年学術大会講演要旨, 353.
- 中川久夫, 村上道雄(1975), 沖縄群島久米島の地質. 東北大地質古生物研究邦報, 75, 1-16.
- Price, P.B. and Walker, R.M. (1963), Fossil tracks of charged particles in gneiss and age of minerals. *J. Geophys. Res.*, 68, 4847-4862.
- Roberts, J.H., Gold, R. and Araman, R.J. (1968), Spontaneous fission decay constant of ^{238}U . *Phys. Rev.*, 174, 1482-1484.
- Shibata, K. (1968), K-Ar age determinations on granitic and metamorphic rocks in Japan. Rep. No. 227, *Geol. Surv. Japan*, 1-71.
- 柴田 賢(1978), 西日本外帯における第三紀花崗岩貫入の同時性. 地調月報, 29, 551-554.
- Shibata, K. and Nozawa, T. (1966), K-Ar ages of granites from Amami-Oshima, Ryukyu Islands, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 17, 430-435.
- Shibata, K. and Nozawa, T. (1968a), K-Ar ages of acid rocks of Noma-misaki and Hioki Mountains, Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 19, 233-236.
- Shibata, K. and Nozawa, T. (1968b), K-Ar ages of Yaku-jima granite, Kyushu, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 19, 237-241.
- 柴田 賢, 内海 茂, 中川忠夫(1979), K-Ar年代測定結果-1. 地調月報, 30, 675-686.
- 篠田良明, 木崎甲子郎(1976), 八重山群島小浜島の地質. 琉球列島の地質学研究, 1, 37-42.
- 白尾元理, 土居宜夫, 中川久夫(1976), 琉球列島石垣島の地質. 琉球列島の地質学研究, 1, 21-33.
- Steiger, R.H. and Jager, E. (1977), Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Planet Sci. Lett.*, 36, 359-362.
- 種子田定勝, 木下和世(1972), 種子島の"長大なアルカリ岩脈". 火山, II, 11, 88-97.