

# 熊本県天草において最近判明した火山岩類の放射年代

長谷 義隆<sup>1</sup>・鶴飼 宏明<sup>1</sup>・八木 公史<sup>2</sup>・檀原 徹<sup>3</sup>・岩野 英樹<sup>3</sup>

(1 天草市立御所浦白亜紀資料館 〒866-0313 熊本県天草市御所浦町御所浦4310-5)

(2 株式会社蒜山地質年代学研究所 〒703-8252 岡山市中区中島2番地5)

(3 株式会社京都フィッション・トラック 〒603-8832 京都市北区大宮南田尻町44-4)

## New radiometric ages of the volcanic rocks from the Amakusa Islands, Kumamoto Prefecture

Yoshitaka Hase<sup>1</sup>, Hiroaki Ugai<sup>1</sup>, Koshi Yagi<sup>2</sup>, Tohru Danhara<sup>3</sup> and Hideki Iwano<sup>3</sup>

(1 Goshoura Cretaceous Museum, 4310-5 Goshoura, Goshoura Town, Amakusa City, Kumamoto 866-0313, Japan)

(2 Hiruzen Institute for Geology and Chronology Co. Ltd., 2-5 Nakashima, Naka-ku, Okayama 703-8252, Japan)

(3 Kyoto Fission-Track Co. Ltd., 44-4 Minamitajiri-cho, Omiya Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japan)

### Abstract

The Amakusa Islands are mainly composed of sedimentary formations deposited in the Cretaceous and Paleogene on basement rocks, and some volcanic rocks that intruded and erupted in the Neogene. The K-Ar radiometric age of an andesite lava dome on Takamokujima Island in the Amakusa Matsushima area was indicated at  $7.83 \pm 0.59$  Ma, and the Fission Track age of Ushibuka Welded Tuff in Gesu Island was determined to be  $2.8 \pm 0.2$  Ma.

Key words: Takamokujima Pyroxene Hornblende Andesite, Ushibuka Welded Tuff, K-Ar and FT radiometric ages

### はじめに

天草諸島の地質については多くの研究報告がある。主として層序および化石に関する論文により、今日では、天草諸島の地質の全体像が概ね明らかになっている。マグマ活動についてもその大枠は知られているが、個々の火山岩については、まだ十分な放射年代測定が行われていないため、明確な時代が必ずしも明らかでないものもある。そのような状況の中、天草の自然を活かして地域の活性化を進めている天草市および天草自然資源活用推進連絡会は上天草市の高杣島(図1のA)を構成する火山岩および天草市牛深町下須島に分布する牛深溶結凝灰岩(図1のB)の放射年代を測定したので、その結果を報告する。

### 高杣島輝石角閃石安山岩の K-Ar 年代

天草の大矢野島から天草上島にかけては‘天草松島’と称される多島海である。その中にある高杣島(図1、

A)は樋合島とは干潮時に砂礫堆で繋がるが、地形的には比較的に低平な樋合島や近隣の永浦島とは全く異なっており、きれいな円錐形をしている(図2)。そのため‘天草富士’とも言われている。樋合島や永浦島は大矢野島の南部に分布する古第三紀の教良木層により構成されるが、高杣島は火山岩であり、その地形的形状から見て教良木層を貫いた溶岩ドームとして生じたものと考えられる。

大矢野島の北部には古第三紀の白岳層や教良木層を貫いて生じた溶岩ドーム群である飛岳、柴尾山、串火山群など(千藤ほか, 1980)がある。これらは宇土半島南部の三角岳を構成する三角火山岩類に属するとされ、その噴出年代は約300万年前とされている(渡辺, 1989)。高杣島はこれまで大矢野島北部に散在するこれらの三角火山岩類と類似のものと考えられてきた。しかし、上記大矢野島北部の火山の分布域からやや離

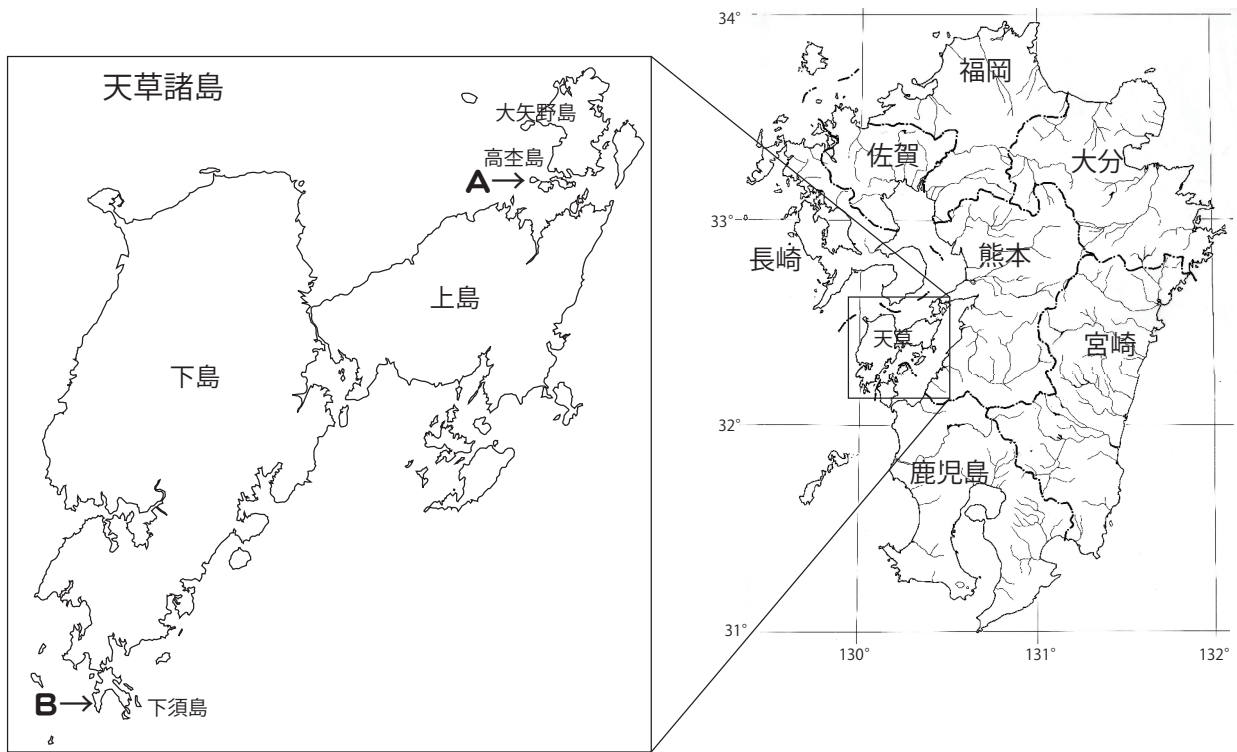


図 1. 位置図.

れて独立した産状を呈するようにも見えることから、その形成の時期については幾分疑問が残る山体であった。

高杵島ではかつて採石が行われていて、その跡が大きな崖として残されている。今回、その崖から剥がれ落ちた長径3mほどの転石(図3)から試料を採取した。

高杵島の輝石角閃石安山岩の測定は株式会社葦山地質年代学研究所にて行われた。その結果に基づいて記述する。

＝岩石記載＝

岩石名：輝石角閃石安山岩

岩石組織：斑状組織 (図4 a,b)

斑 晶：斜長石，ホルンブレンド，単斜輝石

石 基：斜長石，隠微晶質，不透明鉱物

変質鉱物：スメクタイト，緑泥石，水酸化鉄鉱物

本試料は斑状組織を持つ輝石ホルンブレンド安山岩である。斑晶と石基の量比はおよそ25:75である。斑晶のうちホルンブレンドは、全体的に濁った外観を呈し、斜長石内部には汚濁体が認められる。輝石の多くは微細な鉱物の集合体として晶出する。石基は斜長石，隠微晶質，不透明鉱物によって構成されており、鉱物には弱い定向性が認められる。

< 斑 晶 >

斑晶は斜長石，ホルンブレンド，単斜輝石で、その量比はおよそ50:30:20である。

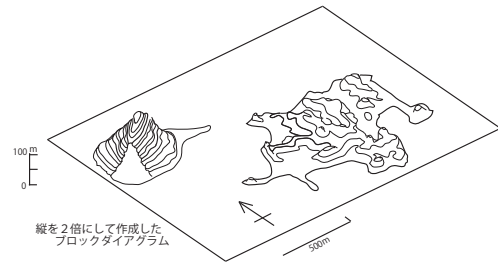


図 2. 高杵島の樋合島の地形の違いを示すブロックダイアグラムと写真.



図 3. 高杵島採石場跡および巨転石

表 1. 高杣島輝石角閃石安山岩の K-Ar 年代測定結果.

試料名	測定物 (粒径)	カリウム含有量 (wt. %)	放射性起源 $^{40}\text{Ar}$ (10 cc STP/g)	K-Ar 年代 (Ma)	非放射性起源 (%)
高杣島	斜長石 (75-150 $\mu\text{m}$ )	0.165 $\pm$ 0.008	5.02 $\pm$ 0.29	7.83 $\pm$ 0.59	75.6

斜長石は自形～半自形で長柱状～短柱状であり，粒径は最大で約 4.0mm $\times$ 3.5mm である．開放ニコル下では無色である．しばしば双晶，累帯構造が認められる．

ホルンブレンドは自形～半自形で長柱状～短柱状であり，粒径は最大で約 1.2mm $\times$ 0.88mm である．開放ニコル下では淡黄色～淡褐色の多色性が認められる．

単斜輝石は半自形～他形で短柱状～不定形状であり，粒径は最大で約 0.50mm $\times$ 0.40mm である．開放ニコル下では淡黄色である．多色性は認められない．

#### <石 基>

石基は斜長石，隠微晶質，不透明鉱物から構成され，その量比はおよそ 50:30:20 である．粒径が 0.1mm 以下で，干渉色は認められるが鏡下においても粒径が識別できない微細な領域は隠微晶質とした．

斜長石は自形～半自形で長柱状～短柱状であり，平均的な粒径はおよそ 0.10mm $\times$ 0.030mm である．開放ニコル下では無色である．しばしば双晶が認められる．

隠微晶質は全体的にやや濁った外観を呈し，開放ニコル下では淡黄色あるいは淡黄褐色である．

不透明鉱物は半自形～他形で短柱状，サイコロ状，不定形状であり，平均的な粒径はおよそ 0.010mm $\times$ 0.010mm である．

#### <変質鉱物>

変質鉱物としてスメクタイト，緑泥石，水酸化鉄鉱物が認められる．

スメクタイトは他形で充填状，不定形状であり，平均的な粒径はおよそ 0.0075mm $\times$ 0.0025mm である．開放ニコル下では淡黄色～淡褐色であり，濃淡が変わる程度の弱い多色性が認められる．

緑泥石は他形で充填状，不定形状である．開放ニコル下では緑色～緑褐色の多色性が認められる．

水酸化鉄鉱物は他形で充填状，不定形状である．開放ニコル下では赤褐色である．多色性は認められない．  
＝年代測定結果＝

K-Ar 年代測定結果を表 1 に示す．表 1 にはカリウム含有量の平均値，試料 1g 中に存在する質量数 40 の放射性起源アルゴンの全量，K-Ar 年代及び質量数 40 の非放射性起源アルゴンの含有量が示されている．

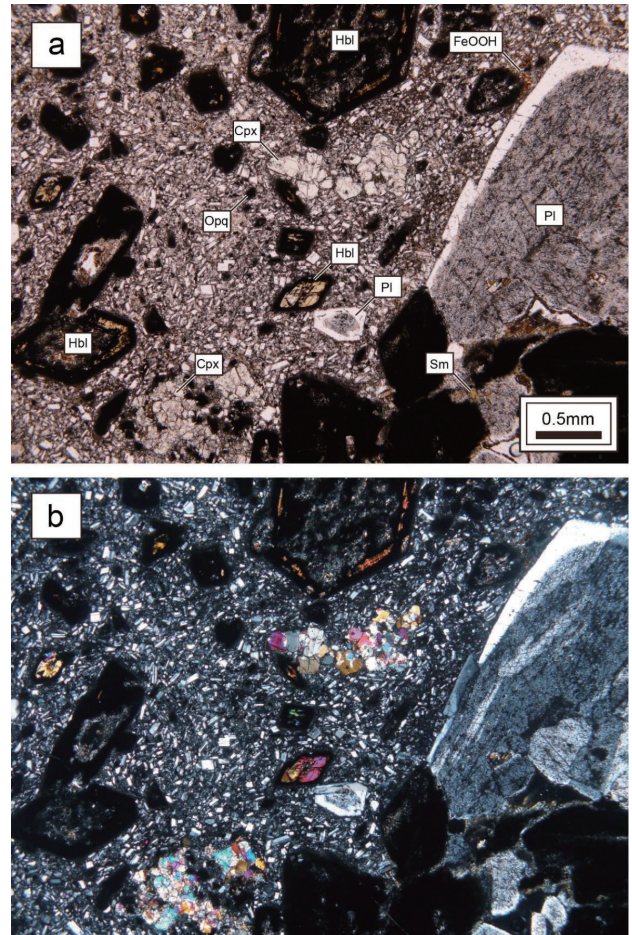


図 4. 高杣島輝石角閃石安山岩の顕微鏡写真．

(a) 開放ニコル，(b) 直交ニコル

ホルンブレンドは全体的に濁った外観を呈し，斜長石内部には汚濁帯が認められる．Pl：斜長石，Hb：ホルンブレンド，Opx：単斜輝石，Opx：不透明鉱物，Sm：スメクタイト，FeOOH：水酸化鉄鉱物．

#### 牛深溶結凝灰岩の FT 年代

牛深溶結凝灰岩（高井・佐藤，1982）は天草下島南部の牛深町下須島の鶴葉山を構成して分布する（図 1，B）もので，下須島の東南方に位置する鹿児島県長島に起源をもつものとされている．

試料「鶴葉山」は，天草市牛深町下須島の鶴葉山公園西側の海岸線に露出する牛深溶結凝灰岩の露頭から直接採取されたものである．露頭における牛深溶結凝灰岩の産状は外来岩片をわずかに含み，灰白色の本質軽石片（長さ 1～3mm，時に 1cm）を均質に含む，



図 5. 牛深溶結凝灰岩の露头および岩石

中程度の溶結により灰色の岩相を示している (図 5)。牛深溶結凝灰岩の FT 年代測定は株式会社京都フィッシュン・トラックによって行われた。処理により得られたジルコンは桃～赤色のほぼ均質な晶癖をもつ自形の結晶であり、その量も充分で、好適な年代試料であると評価された。

測定はジルコン粒子 30 個について、LA-ICP-MS 法 (表 2) による求められたが、1 粒子あたりの平均自発フィッシュン・トラック数は  $7.6 \pm 4.0$  本で少ないため、測定値はやや大きなバラツキを示す (表 3)。しかし、併行して実施した U-Pb 粒子年代のみかけの年代に関係なくバラツキは一定幅内に収まるので、みかけ粒子の均質性の高さとともに、測定粒子が単一年代集団に属する可能性が大きいと判断された。そこで、全測定粒子 30 個を単一年代集団とみなして、30 粒子の加重平均値により求めた値  $2.8 \pm 0.2$  Ma を「鶴葉山」の年代値とみなしている (表 4)。

下須島に分布する牛深溶結凝灰岩および法が島の獅子岬に分布する凝灰岩礫岩は、その南東にある鹿児島県長島を構成する長島火山岩類に属するものである。長島火山岩類については長谷ほか (1984) の研究によりその最下部付近に位置する栈敷瀬層中の鳴瀬鼻溶結凝灰岩の年代が  $3.2 \pm 0.3$  Ma と報告されている。なお、鳴瀬鼻溶結凝灰岩の年代値もフィッシュン・トラック法で求められたものであるが、その手法が 1984 年時のもので、今回の手法と異なり、数値そのものを同等に評価することはできない。しかし、たとえば、異なる時期における同一試料による FT 年代測定結果 (長谷ほか, 2019) でも考察されているように、いずれも原理的にはフィッシュン・トラック法として意味のある値であることから、鳴瀬鼻溶結凝灰岩の従前の FT 年代値と今回の牛深溶結凝灰岩の FT 年代値を比較評

表 2. 測定条件一覧表 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設の LA-ICP-MS システム。

測定条件一覧表 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設の LA-ICP-MS システム

試料名: 鶴葉山 2020 年 7 月 15 日測定 結晶内部面で FT・U-Pb 年代測定

1	レーザーアブレーションシステム	
	製造元	LIGHT CONVERSION
	製品名	CARBIDE
	レーザー種類	Femtosecond laser
	パルス幅	224 fs
	波長	257 nm
	出力	20mW
	エネルギー密度	$2.6 \text{ J/cm}^2$
	ビーム径	10 $\mu\text{m}$
	レーザー照射方法	multi-spot
	ガルバノ光学系	used
	周波数	100 Hz
	レーザー照射形状 (面積)	30 $\mu\text{m}$ 角 (30 $\mu\text{m}$ × 30 $\mu\text{m}$ )
	照射時間	12.5 s
	キャリアガス (He)	$0.60 \text{ L min}^{-1}$
2	ICP 質量分析計	
	製造元	サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社
	製品名	iCAP™ TQICP-MS
	ICP-MS 種類	トリプル四重極型
	測定モード	シングル四重極 (SQ) モード
	干渉除去	KED モード (He gas flow: 4ml/min.)
	RF パワー	1550 W
	キャリアガス (Ar)	$0.90 \text{ L min}^{-1}$
	ThO <sup>+</sup> /Th 酸化物生成率	<1%
	データ取得方法	Time-resolved analysis
	データ取得時間	25 s (15 s gas blank, 10 s ablation)
	測定同位体	<sup>29</sup> Si, <sup>202</sup> Hg, <sup>204</sup> Pb, <sup>206</sup> Pb, <sup>207</sup> Pb, <sup>208</sup> Pb, <sup>232</sup> Th, <sup>238</sup> U
	滞留時間	0.2 s for <sup>206,207</sup> Pb, 0.1s for others
3	スタンダード試料	
	1 次スタンダード (U-Pb)	Nancy 91500 <sup>*1</sup>
	2 次スタンダード (U-Pb)	OD-3 <sup>*2,3,4</sup> Plesovice <sup>*5</sup>
	1 次スタンダード (FT)	Fish Canyon Tuff <sup>*6</sup>

\*1, Wiedenbeck et al. (1995); \*2, Iwano et al. (2012); \*3, Iwano et al. (2013);

\*4, Lukács et al. (2015); \*5, Sláma et al. (2008) \*6, Danhar and Iwano (2013)

価することに大きな齟齬はないものと考えられる。牛深溶結凝灰岩と鳴瀬鼻溶結凝灰岩が同一の噴出物であるかどうかの検討は行われていないが、下須島に分布する火山岩類が長島火山岩類に属するとみられていることから、これらの溶結凝灰岩すなわち火砕流活動は類似のものともみることができると考えられる。なお、長島では、層序的には鳴瀬鼻溶結凝灰岩より上位に位置する行人岳安山岩の K-Ar 年代は  $2.5 \pm 0.3$  Ma と報告されている。したがって、鳴瀬鼻溶結凝灰岩および牛深溶結凝灰岩の活動は 300 ~ 280 万年前であったと考えられる。

## おわりに

天草の地質に関する情報の集積作業の一つに近年盛んに行われている放射年代の測定を進めていく必要がある。その一環としての報告を行うことができた。高杵島については従来岩質と形態から大矢野島北部に分布する三角火山岩類に属するとみられていたが、今回

表 3. FT 年代および U-Pb 年代測定値表.

Sample : Tsurubayama

Grain No.	Fission Track Data		LA-ICP-MS Data		LA-ICP-MS-FT Age				
	Ns	$\rho_s$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	area-corrected $N_{u-sp}$	$\rho_{u-sp}$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	$Pr(\chi^2)$ (%)	$U_{ICP}$ (ppm)	Age (Ma)		
							t	±	1σ
no.1	9	1.406E+05	905,553	1.415E+10	0.13	106	2.5	±	0.8
no.2	8	1.270E+05	877,701	1.393E+10	0.35	104	2.2	±	0.8
no.3	7	1.167E+05	746,045	1.243E+10	0.23	93	2.3	±	0.9
no.4	8	2.000E+05	1,319,874	3.300E+10	3.14	246	1.5	±	0.5
no.5	11	2.245E+05	1,118,081	2.282E+10	0.19	170	2.4	±	0.7
no.6	7	1.429E+05	485,616	9.911E+09	0.44	74	3.6	±	1.4
no.7	13	2.889E+05	943,080	2.096E+10	0.55	156	3.4	±	1.0
no.8	5	1.389E+05	669,304	1.859E+10	0.84	139	1.8	±	0.8
no.9	12	2.449E+05	885,672	1.807E+10	0.42	135	3.3	±	1.0
no.10	11	3.056E+05	638,728	1.774E+10	2.04	132	4.2	±	1.3
no.11	9	3.000E+05	634,398	2.115E+10	0.49	158	3.5	±	1.2
no.12	13	1.857E+05	677,205	9.674E+09	3.83	72	4.7	±	1.3
no.13	10	1.818E+05	649,276	1.181E+10	1.01	88	3.8	±	1.2
no.14	6	2.000E+05	463,575	1.545E+10	0.12	115	3.2	±	1.3
no.15	4	1.429E+05	286,433	1.023E+10	0.19	76	3.4	±	1.7
no.16	9	3.750E+05	600,818	2.503E+10	0.75	187	3.7	±	1.2
no.17	6	3.333E+05	223,820	1.243E+10	4.84	93	6.6	±	2.7
no.18	2	1.000E+05	169,635	8.482E+09	0.00	63	2.9	±	2.1
no.19	7	3.500E+05	369,183	1.846E+10	1.96	138	4.7	±	1.8
no.20	8	2.000E+05	846,330	2.116E+10	0.24	158	2.3	±	0.8
no.21	6	1.250E+05	864,931	1.802E+10	1.42	134	1.7	±	0.7
no.22	4	8.000E+04	695,497	1.391E+10	1.86	104	1.4	±	0.7
no.23	1	4.167E+04	280,545	1.169E+10	1.47	87	0.9	±	0.9
no.24	3	5.000E+04	1,193,508	1.989E+10	8.07	148	0.6	±	0.4
no.25	21	6.000E+05	1,205,122	3.443E+10	4.12	257	4.3	±	1.0
no.26	4	1.111E+05	495,225	1.376E+10	0.44	103	2.0	±	1.0
no.27	7	3.500E+05	235,100	1.176E+10	7.20	88	7.3	±	2.8
no.28	8	5.000E+05	501,608	3.135E+10	0.99	234	3.9	±	1.4
no.29	3	9.375E+04	471,838	1.474E+10	1.00	110	1.6	±	0.9
no.30	6	1.224E+05	848,855	1.732E+10	1.31	129	1.7	±	0.7
Total	228	1.906E+0.5	20,302,556						
mean	7.6	2.1E+05	6.8E+05	1.7E+10		130			
SD	4.0	1.3E+05	3.1E+05	6.7E+09	Weighted mean		2.8	±	0.2

表 4. 牛深溶結凝灰岩の FT 年代測定結果

試料名	(1)	(2)	結晶数		自発核分裂飛跡		$^{238}\text{U}$ 総計数		(3), (4) $^{238}\text{U}$ スタンダード計数		Zeta 値	(5) 相関係数	(6) $\chi^2$ 検定	ウラン濃度	(7), (8), (9) 年代値 (Ma)
	測定 鉱物	測定 方法	(個)	$\rho_s$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	$N_s$	$\rho_u$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	$N_u$	$\rho_{ustd}$ ( $\text{cm}^{-2}$ )	$N_{ustd}$	( $\text{cm}^{-2}$ )	( $\text{cm}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ )	r	$Pr(\chi^2)$	(ppm)	Age ± 1σ
鶴葉山 19010702	Zr	Int.S	30	$1.91 \times 10^5$	228	$1.74 \times 10^{10}$	20,302,556	$1.126 \times 10^{10}$	101,360	43.8 ± 2.1	0.628	1	130	2.8 ± 0.2	

- (1) 測定鉱物 Zr: ジルコン
- (2) 測定方法: LA-ICP-MS-FT (内部面: Int.S, 外部面: Ext.S)  
(\*Int.S: Internal surface, Ext.S: External surface)
- (3) ウランカウント数 ( $N_s$  計数面積への補正值)
- (4) 測定面積補正值:  $N_s$  計数面積 / レーザースポット面積  
 $^{238}\text{U}$  濃度, U-Pb 年代測定用標準試料: 91500 (平均: 84ppm 片を使用)
- (5)  $\rho_s$  と  $\rho_u$  の相関係数
- (6)  $Pr(\chi^2)$ :  $\chi^2$  値の自由度 (n-1) の  $\chi^2$  分布における上側確率 (Galbraith, 1981)
- (7) 年代値:  $T = (1/\lambda_D) \cdot \ln[1 + \lambda_D \cdot \zeta \cdot (N_s/N_u) \cdot \rho_{ustd}]$  (Int.S は  $N_s \times 1/2$ )
- (8) 誤差:  $\sigma T = T \times [1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_u + 1/\Sigma N_{ustd} + (\sigma_\zeta / \zeta)^2]^{1/2}$
- (9)  $^{238}\text{U}$  の全壊変定数:  $\lambda_D = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$
- (10) \* 参考値: 全測定粒子の平均年代値  
Zeta 値:  $\zeta = (1/\lambda_D) \cdot (e^{\lambda_D \cdot \text{Astd} - 1}) / [g \cdot (\rho_s / \rho_u)_{std} \cdot \rho_{ustd}]$   
: Astd は年代標準試料 (Fish Canyon Tuff Zircon) .  
ジオメトリファクター:  $g = 0.5$  (Int.S) or 1 (Ext.S)

そのK-Ar年代値が700～800万年前を示したことから、高杣島は三角火山岩類以前の活動によったものであることが明らかになった。天草諸島でこの時期の火山活動としては牛深町の権現山玄武岩溶岩の年代が $6.99\pm 0.29\text{Ma}$ ,  $6.79\pm 0.27\text{Ma}$  (永尾ほか, 1992) であることから、ほぼ同時期に岩質の異なる火山活動が生じていたことが示唆された。

牛深溶結凝灰岩については、従来、鹿児島県長島火山岩類に起源を持つものと考えられていたことでもあり、今回牛深溶結凝灰岩のFT年代値2.8Maは長島火山岩類の活動と同時期のものであることを明らかにしたことになる。

これまでに報告された天草諸島に分布する火山岩類の放射年代値を整理した牛丸・山路 (2020) に加えて、今回の結果を基にして、天草諸島の新生代の火成活動は新第三紀中新世の貫入岩類 (陶石等の変質作用を含む) が19Ma～14Ma (柴田・富樫, 1975; 濱崎, 1996; 山本ほか, 1997; 永尾ほか, 1992; 三浦・大平, 2012; 大平ほか, 2012), 下須島玄武岩が約10Ma (永尾ほか, 1992), 権現山玄武岩溶岩 (永尾ほか, 1992) および高杣島安山岩 (本研究) の約7Ma, 大矢野島北部の三角火山岩類 (渡辺, 1989) および長島火山岩類牛深溶結凝灰岩 (本研究) の約3Ma, 佐伊津層中の凝灰岩約2.6Ma (長谷ほか, 2017) 湯島玄武岩の約0.8Ma (横瀬ほか, 1999) の噴出および約90Kaの阿蘇-4火砕流堆積物の流入 (渡辺・益田, 1983) に纏められる。

## 謝辞

本研究にあたっては、天草市観光文化部および天草自然資源活用推進連絡会からご支援を頂き、試料採取には天草市立御所浦白亜紀資料館香取祥人氏にご協力頂いた。これらのご支援、ご協力に謝意を表します。

## 引用文献

- 濱崎聡志 (1996) : 熊本県天草地域の火成活動とセリサイト化熱水作用のK-Ar年代. 地質調査所月報, **47**, 201-207.
- 長谷義隆・長峰 智・永尾隆志・山元正継・藤林紀枝・阪口和之・半田正敏 (1984) : 南部九州長島火山岩類の層序と放射年代. 地質学論集, (24), 109-120.
- 長谷義隆・檀原 徹・岩野英樹・北林栄一・行時志郎 (2019) : 大分県日田市大山層下部および上部火砕流堆積物のフィッシュン・トラック年代. 御所浦白亜紀資料館報, (20), 27-34.
- 長谷義隆・北林栄一・鶴飼宏明・廣瀬浩司・檀原 徹・

岩野英樹 (2017) : 熊本県天草下島北部佐伊津層のフィッシュン・トラック年代. 御所浦白亜紀資料館報, (18), 1-4.

三浦千佳・大平寛人 (2012) : 熊本県天草地域の陶石層の変質作用とフィッシュン・トラック年代. フィッシュン・トラックニュースレター, (25), 46-49.

永尾隆志・沢井長雄・板谷徹丸・角縁 進 (1992) : 熊本県, 天草下島のソレライト質玄武岩と高マグネシア安山岩のK-Ar年代と岩石学的特徴. 岩鉱, **87**, 283-290.

大平寛人・三浦千佳・田村明弘・荒井章司・竹内浩一・田口幸洋 (2012) : 天草陶石鉱床の熱水変質作用とジルコンの放射年代. 日本地質学会第119年学術大会講演要旨, 196.

千藤忠昌・長谷義隆・高洲哲也 (1980) : 熊本県天草郡大矢野島北部の火山地質. 熊本大学理学部紀要(地学), **12**, 1-30.

柴田 賢・富樫幸雄 (1975) : 熊本県天草下島西部に分布する酸性火山岩類のK-Ar年代. 地調月報, **26**, 187-191.

高井保明・佐藤博之 (1982) : 魚貫崎及び牛深地域の地質 (阿久根地域の一部を含む). 地域地質研究報告 (5万分の1図幅) 地質調査所, 87p.

牛丸健太郎・山路 敦 (2020) : 天草下島北部の中新世貫入岩体の方向と応力解析. 地質学雑誌, **126** (11), 631-638.

渡辺一徳・益田悦郎 (1983) : いわゆる中位段丘堆積物としての小串層及び大江層について. 熊本大学教育学部紀要, 自然科学, (32), 29-37.

渡辺公一郎 (1989) : 熊本県大矢野島～宇土半島に分布する鮮新世火山岩類のフィッシュン・トラック年代. 九州大学工学部彙報, **62**, 561-566.

山本温彦・新田和也・西戸裕嗣 (1997) : 熊本県天草上島の新第三紀貫入岩類の化学的特徴. 日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 262.

横瀬久芳・梁島達也・菊池 航・杉山直史・篠原 章・竹内 徹・長尾敬介・小玉一人 (1999) : 別府-島原地溝帯西部域の過去500万年間における間欠的火山活動. 岩鉱, **94** (9), 338-348.

(2021年1月30日受理)