

## 新期雲仙火山，古江・礫石原・湯江川火砕流堆積物の熱ルミネッセンス年代

守安 誠<sup>1)</sup>・奥野 充<sup>2)</sup>・高島 勲<sup>3)</sup>・長岡 信治<sup>4)</sup>・阪口 和則<sup>5)</sup>・鮎沢 潤<sup>2)</sup>

(平成20年5月31日受理)

## Thermoluminescence Ages for the Furue, Kureishibaru and Yuegawa Pyroclastic Flow Deposits in the Younger Unzen Volcano, SW Japan

Makoto MORIYASU<sup>1)</sup>, Mitsuru OKUNO<sup>2)</sup>, Isao TAKASHIMA<sup>3)</sup>,  
Shinji NAGAOKA<sup>4)</sup>, Kazunori SAKAGUCHI<sup>5)</sup>, and Jun AIZAWA<sup>2)</sup>

(Received May 31, 2008)

## Abstract

This paper presents the thermoluminescence (TL) ages for the three block-and-ash flow deposits from Fugendake Volcano, which constitute the Younger Unzen Volcano, SW Japan. The obtained ages for the essential block in the Furue, Kureishibaru and Yuegawa pyroclastic flows are  $22 \pm 1$  ka,  $21 \pm 2$  ka and  $14 \pm 4$  ka, respectively. The TL ages are consistent with the ages previously obtained through various methods (TL,  $^{14}\text{C}$ , K-Ar and FT) for the widespread tephras, Aira-Tn (AT: 29 cal ka BP) and Kikai-Akahoya (K-Ah: 7.3 cal ka BP), and for Fugendake Volcano. This data correlation implies that TL dating for essential block in a block-and-ash flow deposit can be a reliable method.

Key words: *Thermoluminescence age, pyroclastic flow deposit, Younger Unzen Volcano, Fugendake Volcano*

---

<sup>1)</sup> 福岡大学大学院理学研究科地球圏科学専攻

Graduate School of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

<sup>2)</sup> 福岡大学理学部地球圏科学教室

Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

<sup>3)</sup> 秋田大学工学資源学部附属環境資源学研究センター

Center for Geo-Environmental Science, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University, 1-1 Tegatagakuen-machi, Akita 010-8502, Japan

<sup>4)</sup> 長崎大学教育学部地理学教室

Department of Geography, Faculty of Education, Nagasaki University, 1-14 Bunkyo-machi, Nagasaki 852-8521, Japan

<sup>5)</sup> 元長崎県立大村高等学校

Formerly Nagasaki Prefectural Omura High School, 1-591 Kubara, Omura-shi, Nagasaki 856-0835, Japan  
Corresponding author: M. Okuno, (okuno@fukuoka-u.ac.jp).

## はじめに

九州西部、島原半島中央部に位置する雲仙火山 (Fig. 1 A) は、溶岩を主体とした成層火山である。1990年11月から約5年間続いた平成噴火では、普賢岳山頂部の溶岩ドームと block-and-ash flow 型火砕流堆積物が形成されている (太田, 1997; Nakada *et al.*, 1999)。雲仙火山は、約50万年前に噴火活動を開始したと考えられ、約15万年前を境として古期と新期に区分されている (渡辺・星住, 1995; Hoshizumi *et al.*, 1999; 星住ほか, 2002)。新期雲仙火山は、野岳火山、妙見岳火山、普賢岳火山および眉山火山に細分される。

熱ルミネッセンス (Thermoluminescence: TL) 年代は、地質年代に試料が受けた放射線量 (Paleodose: PD) を1年間に受ける放射線量 (Annual Dose: AD) で割ることによって求められ (Aitken, 1985)、石英斑晶を含む火山岩を対象として、数千年前 (Takashima and Watanabe, 1994; 高島, 1999) から50万年前 (高島ほか, 1990) までの広い年代域を

ほぼ同一の精度で求めることが可能である (高島, 1995)。ただし、石英粒径、付着水分量、放射性元素含有量、宇宙線量評価などADの見積りに誤差要因が多いため、正確度の高いTL年代を得るには適切な試料選択が必要不可欠である (高島ほか, 2006)。雲仙火山の噴出物には石英斑晶が含まれており、Takashima and Watanabe (1994) をはじめ多数のTL年代が報告されている。島雄ほか (1999) や山縣ほか (2004) では、不確定要素をできるだけ排除した試料選択や石英粒径補正などの精密化がはかられている。今回、筆者らは普賢岳火山の古江、礪石原、湯江川の各火砕流堆積物中の本質岩塊を採取してTL年代を測定したので、その結果を報告する。

## 火砕流堆積物の概略と測定試料

古江、礪石原、湯江川の各火砕流堆積物の分布 (渡辺・星住, 1995; 星住, 2005) と試料採取地点を Fig. 1 B に、普賢岳および眉山火山の層序表を Fig. 2 に示す。以下では、各火砕

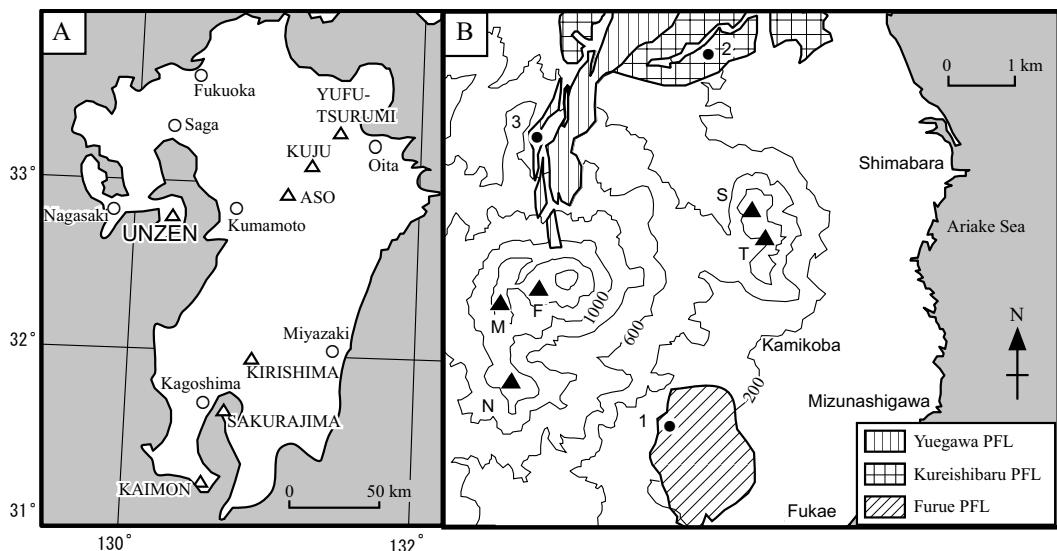


Fig. 1. Index maps. (A) Locality of Unzen Volcano. Open triangles and circle are active volcanoes and cities, respectively. (B) Distribution map of Furue, Kureishibaru and Yuegawa pyroclastic flow deposits (modified from Watanabe and Hoshizumi, 1995). Solid circles with numbers show localities of dated samples. Solid triangles are peaks of the Younger Unzen Volcano (S: Shichimenzan, T: Tenguyama, M: Myokendake, F: Fugendake, N: Nodake). PFL: pyroclastic flow deposit.

流堆積物の概略を述べ、測定試料の露頭での産状、顕微鏡下での観察 (Fig. 3) およびX線回折の結果 (Fig. 4) を記載する。

### 1. 地質および層序の概略

雲仙火山周辺には、南九州のカルデラ火山から噴出した始良Tnテフラ (AT: 町田・新井, 1976) や鬼界アカホヤテフラ (K-Ah: 町田・新井, 1978) が分布している。これらの噴出年代は、前者が29 cal ka BP, 後者が7.3 cal

ka BPと考えられている (奥野, 2002)。この論文で報告する3つの火砕流堆積物は、ATとK-Ahの間に堆積したものである (Fig. 2)。また、Fig. 2に示した岩体については、放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代 (小林・加藤, 1986; 小林・中田, 1991; 徐ほか, 2002; Xu *et al.*, 2004; 尾関ほか, 2005), K-Ar年代 (Watanabe *et al.*, 1993; 星住ほか, 1995; Hoshizumi *et al.*, 1999), フィッション・トラック (FT) 年代 (檀原ほか, 1993) も報告されている。

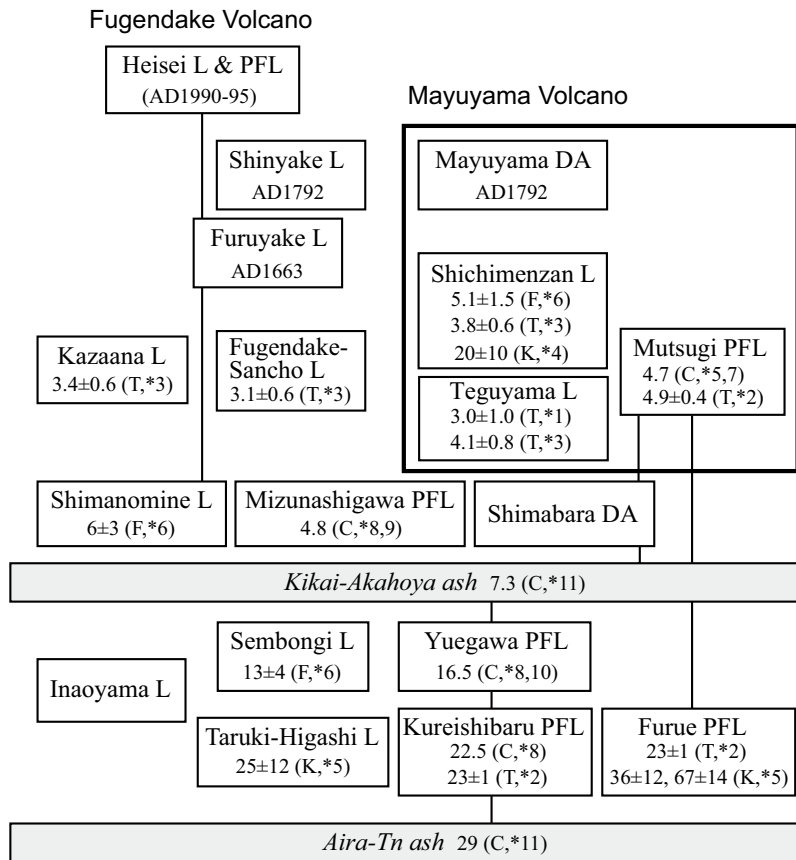


Fig. 2. Block diagram showing the stratigraphy of Fugendake and Mayuyama Volcanoes (modified from Watanabe and Hoshizumi, 1995; Hoshizumi *et al.*, 1995, 1999; Hoshizumi, 2005). Vertical line shows the stratigraphic relation. The gray colored boxes indicate widespread tephra from caldera volcanoes in south Kyushu. L: lava dome/flow, DA: debris avalanche deposit, PFL: pyroclastic flow deposit. Numerals indicate ages in ka. T: TL age (\*1= Takashima and Watanabe, 1994; \*2= Shimao *et al.*, 1999; \*3= Yamagata *et al.*, 2004), K: K-Ar age (\*4= Watanabe *et al.*, 1993; \*5= Hoshizumi *et al.*, 1995, 1999). FT: fission track age (\*6= Danhara *et al.*, 1993), C: calibrated  $^{14}\text{C}$  age (\*7= Kobayashi and Kato, 1986; \*8= Kobayashi and Nakata, 1991; \*9= Ozeki *et al.*, 2005; \*10= Xu *et al.*, 2002, 2004; \*11= Okuno 2002). All  $^{14}\text{C}$  ages are calibrated to calendar ages (cal ka BP) using  $^{14}\text{C}$  calibration curve (Reimer *et al.*, 2004).

古江火砕流堆積物は、こぶし大から人頭大の角閃石デイサイト本質岩塊と同質の火山灰からなり(渡辺・星住, 1995), 普賢岳南東に分布している (Fig. 1 B). この火砕流堆積物は、礫石原火砕流堆積物とほぼ同層準であり、島雄ほか (1999) は $23 \pm 1$  ka の TL 年代 (5 試料の平均値) を報告している。また、星住ほか (1995) は、 $36 \pm 12$  ka と  $67 \pm 14$  ka の K-Ar 年代を報告している。

礫石原火砕流堆積物は、角閃石デイサイト質の本質岩塊を大量に含むが細粒物質に乏しく(渡辺・星住, 1995), 普賢岳北部から北東部にかけて広く分布している (Fig. 1 B). 含まれる炭化木片について  $19,190 \pm 430$  BP (GaK-15791) の  $^{14}\text{C}$  年代が得られている (小林・中田, 1991). これを  $^{14}\text{C}$  年代-暦年データセット IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) により暦年較正すると、およそ  $22.5$  cal ka BP が得られる。一方、島雄ほか (1999) は、 $23 \pm 1$  ka の TL 年代 (5 試料の平均値) を報告しており、 $^{14}\text{C}$  年代の較正暦年とよく一致している。

湯江川火砕流堆積物は、角閃石デイサイト質の本質岩塊と同質の火山灰からなり、普賢岳の北側斜面に分布している (Fig. 1 B). この火砕流堆積物は、これまで礫石原火砕流堆積物に含まれていたが、それよりも新しい  $13,810 \pm 320$  BP (Gak-15790: 小林・中田, 1991) や  $13.8$  ka BP (徐ほか, 2002; Xu *et al.*, 2004) の  $^{14}\text{C}$  年代が得られていることから、星住 (2005) により区分された。この  $^{14}\text{C}$  年代は、およそ  $16.5$  cal ka BP の較正暦年に相当する。

## 2. 露頭での産状

普賢岳南東麓の Loc. 1 (Fig. 1 B) では、古江火砕流堆積物が腐植質土壌層 (層厚 = 約 1 m) に覆われて分布している。ここでの古江火砕流堆積物は、層厚にして約 6 m が露出するが、下限は明らかでない。このうち下部から約 3 m に位置する赤灰色シルト質火山灰層を境に 2 つのフローユニットに分けられる。下位のユニットでは、赤灰色と青灰色を示す岩塊が混在し、その直径も 30 cm 程度と比較的大きいため、マトリックスの占める割合は小さい。一方、上位のユニットは、岩塊の直径が 10 cm 程度と

小さいため、マトリックスの占める割合も大きい。今回、筆者らは、下位のユニットから本質岩塊を採取した (試料 A)。

普賢岳北東麓に位置する Loc. 2 (Fig. 1 B) では、露頭最下部の厚さ 30 cm の腐植質土壌層を覆って、厚さ 77 cm の黄褐色土壌層が堆積している。この黄褐色土壌層は火山礫を多く含み、その下部 17 cm は AT に由来するバブルウォール型の火山ガラスが顕著に認められる。さらに厚さ 7 cm の細粒火山灰層を挟む腐植質土壌層 (層厚 = 約 30 cm) を覆って、礫石原火砕流堆積物 (層厚 = 1 m) が堆積している。ここでの礫石原火砕流堆積物は、上部がやや灰色を呈するが、下部は礫まじりでやや白色を呈している。測定試料は、上部に含まれる直径 50 cm 程度の岩塊から採取した (試料 B)。この火砕流の上位には、30 cm の腐植質土壌層を挟んで湯江川火砕流に対比される砂質火砕流 (層厚 = 30 cm) が分布している。さらに腐植質土壌層 (層厚 = 40 cm)、K-Ah (層厚 = 40 cm)、腐植質土壌層 (層厚 = 30 cm) が堆積し、最上部には平成噴火による火山灰層が 6 cm 堆積しており、厚さ 1 cm の土壌層に覆われている。

普賢岳の北側斜面にある Loc. 3 (Fig. 1 B) では、湯江川火砕流が層厚 10 m 以上堆積している。露頭の最下部より 5 m 付近には細粒火山灰 (層厚 = 1 mm) が挟まれるなど、少なくとも 5 つのフローユニットに区分される。試料の採取層準は、この最下部のユニットであり、長径が 1 m を超える岩塊から採取した (試料 C)。

## 3. 顕微鏡下での観察

古江火砕流堆積物から採取した試料 A は、鏡下では有色鉱物や斜長石の大斑晶を伴う (Fig. 3 A)。石英は径 0.2 ~ 1.8 mm で融食形態を示し、1 ~ 3  $\mu\text{m}$  未満の流体包有物を含む。角閃石は長軸 3 mm に達し、周縁部に不透明鉱物を伴うことがある。黒雲母は 2 mm に及び、しばしばオバサイト縁を有する。斜長石は 3 mm に達し、清澄で累帯構造やアルバイト双晶が認められる。斜方輝石は粒径 0.2 mm 程度で紫蘇輝石に相当する。不透明鉱物は 0.15 mm 未満の粒状である。石基は、角閃石、斜方輝石、斜長石、不透明鉱物からなるマイクロライトである。

礫石原火砕流堆積物の試料Bは、鏡下において主に斜長石や有色鉱物の大斑晶を含む (Fig. 3 B). 石英は径0.2~1.5mmで出現頻度は一般に低い。角閃石は長軸3mmを超えることがある。黒雲母は3mmに達する。斜長石は3mmを超え、出現頻度も高く、累帯構造やアルバイト双晶が認められる。不透明鉱物は0.2mm程度の粒状である。石基は、微細な角閃石、斜方輝石、斜長石、不透明鉱物からなる。

湯江川火砕流堆積物の試料Cでは、主に斜長石や有色鉱物の大斑晶が含まれている (Fig. 3 C). 石英は径0.2~1.8mmで融食形態を示し、流体包有物を含む。角閃石と黒雲母は2mmに達し、不透明鉱物や長石を包有する。斜長石は3mmを超え、累帯構造やアルバイト双晶が認められる。斜方輝石は0.4mm程度の紫蘇輝石である。不透明鉱物は0.3mm以下の粒状が多い。石基は、角閃石、斜方輝石、斜長石、不透明鉱物、および非晶質物質を伴うマイクロライトである。

#### 4. X線回折の結果

礫石原および湯江川火砕流堆積物の試料B, Cは、斜長石 [albite (002) ないし anorthite (002)] のピークがもっとも強く、古江火砕流堆積物の試料Aでは、斜長石 [albite (202) ないし anorthite (040)] が最強ピークを示した (Fig. 4). また、すべての試料で角閃石および黒雲母のピークも認められた。角閃石は古江および湯江川火砕流の試料A, Cで最強ピークに対する強度比40%に達し、雲母は古江火砕流の試料Aで同じく25%を示した。

石英は斜長石のピークと近接するため、現段階では含有率を正確に定量化することはできないが、試料C (強度比32%), 試料A (強度比30%), 試料B (強度比16%) の各火砕流堆積物の順であり、試料Bの石英含有率が少ない。このことは、前述した顕微鏡観察の所見とも矛盾しない。また、粘土鉱物の顕著なピークは認められなかった。

#### 年代測定の方法

測定試料は、すべて火砕流堆積物中の本質岩塊であり、風化を受けた可能性のある外側部分を、ハンマーを用いて除去した後、新聞紙に包んでチャック付きビニール袋に封入した。

室内での年代測定の手順は、Takashima and Watanabe (1994) および高島 (1995) にもとづいた。すべての試料について採取状態から自然乾燥させた減量を求めた後、後述する105°C乾燥の減量をあわせて付着水分量を求めた。自然乾燥した試料約400gをステンレス乳鉢により粉碎して、20メッシュ (開口径0.84mm) のふるいを全量通過させた。この粉碎試料290gをプラスチック製容器 (直径80mm, 高さ40mm) に詰め、秋田大学工学資源学部附属環境資源学研究中心のγ線スペクトロメーターを用いてU, Th, K<sub>2</sub>Oを測定した。石英斑晶の粒径は、岩石薄片を各試料7~10枚作製し、偏光顕微鏡下 (OLYMPUS社製BX51) で長径と短径を各試料約60点計測した。これらを粒径の3乗の重みをつけて平均した。

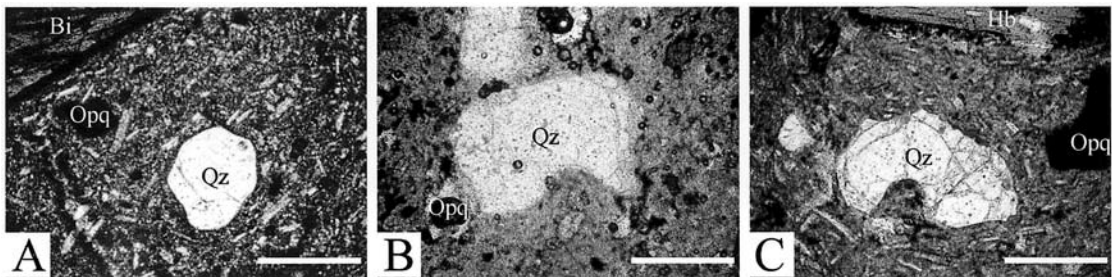


Fig. 3. Photomicrograph of thin sections (plane polarized) of dated samples from (A) Furue, (B) Kureishibaru and (C) Yuegawa pyroclastic flows. Qtz: Quartz, Hb: Hornblende, Bi: Biotite, Opq: Opaque minerals.

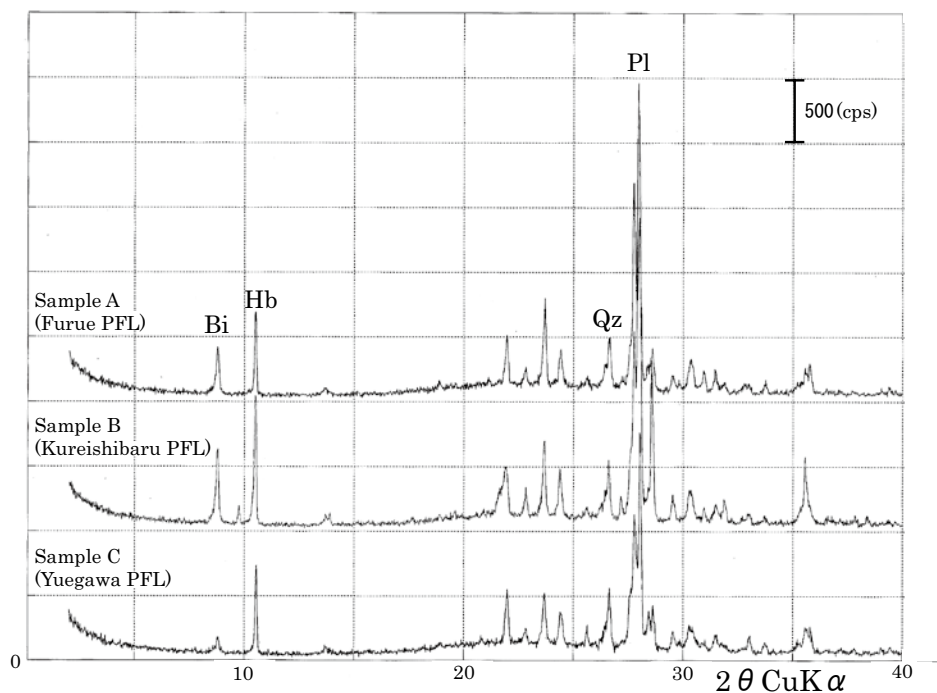


Fig. 4. X-ray diffraction (XRD) patterns of dated samples from Furue, Kureishibaru and Yuegawa pyroclastic flows.

残りの粉碎試料は石英分離用であり、60メッシュ（開口径0.25mm）と200メッシュ（開口径0.074mm）のふるいを用いて60～200メッシュに粒度を揃えた。この試料を蒸留水で洗浄した後、45℃の恒温乾燥器（Advantec社製、FS-420）で乾燥させた。乾燥後、磁石を用いて強磁性鉱物を取り除き、アイソダイナミックセパレーター（Frantz社製、Model L-1）によって非磁性鉱物のみを分離した。装置の設定は、傾斜角度25°、コイル角度3°、電流は1回目が0.5A、2回目が1.4Aである。得られた無色鉱物は石英と斜長石であり、各試料約2gを、フッ酸を用いて石英のみに分離、塩酸を用いて純化・精製し、発光測定用の石英試料を得た。また200メッシュを通過した試料については、1gを5点秤量して、105℃で恒量に達するまで乾燥させた減量を求めた。

発光測定は、1) 天然石英、2) 天然石英にγ線を照射した石英、3) これまでに蓄積したTLをゼロにした後にγ線を照射した石英

の3種について行った。TLをゼロにする試料は320℃で1時間加熱した（高島ほか、1989）。γ線照射は<sup>60</sup>Coによるもので、(株)日本アイソトープ協会甲賀研究所に依頼した。これらの照射試料は、130℃で24時間加熱して不安定な低温ピークを消去した。発光測定は、福岡大学理学部地球圏科学教室に設置されている簡易型温度制御ユニット（チノー製、SU12N1240-N1NNNN）による温度コントロールと、マルチアルカリの光電面を持つフォトンカウンティングヘッド（浜松ホトニクス社製、H7828-01）およびカウンティングユニット（C8855）からなる測定装置で行い、窒素ガスの雰囲気中、420℃まで200℃/分で昇温させ、受光波長は550～650nmである。1回の測定に石英15mgを使用し、各種3回測定した。

### 結果と考察

TL年代測定の結果をTable 1に示す。TL

年代 (ka) は, 次式により算出される (高島, 1995).

$$TL \text{ age (ka)} = PD/AD\{1 \pm (\sigma^2 + \delta^2)^{1/2}\}$$

PDは, 発光測定で得られたグローカーブ (Fig. 5) における360°C付近のピーク強度から生長曲線法 (高島ほか, 1989) を用いて求めた (Fig. 6). ADは, 全岩試料中の放射性元素含有率と付着水分量からBell (1979) およびAitken (1985) のデータにもとづいて算出した. 石英斑晶の平均粒径は, Mejdahl (1979) の粒度別のβ線寄与率を適用して補正した. なお, PDの誤差 (σ) は生長曲線の標準偏差から, ADの誤差 (δ) は, 高島ほか (2006) に従って放射性元素の濃度から見積もった.

試料A (古江火砕流堆積物) のTL年代は22 ± 1 kaであり, 島雄ほか (1999) のTL年代23 ± 1 kaと誤差範囲で一致している. また, K-AhやATなどの広域テフラとの層位関係 (渡辺・星住, 1995; 星住・宇都, 2000) とも調和的である. 本研究で用いた試料は, 島雄ほか (1999) と同一の地点で採取し, ほぼ同じ方法によって測定したものである. 両者で近接する年代が得られたことから, 再現性があるとみなすことができる.

試料B (礫石原火砕流堆積物) のTL年代は21 ± 2 kaで, 試料Aと同様に島雄ほか (1999) のTL年代 (23 ± 1 ka) と誤差範囲で一致している. さらに, 小林・中田 (1991) の<sup>14</sup>C年代の較正暦年 (22.5cal ka BP) ともよく一致している. したがって, 礫石原火砕流堆積物の噴出年代は, 21~23kaと考えて良いであろう.

試料C (湯江川火砕流堆積物) のTL年代は14 ± 4 kaであるが, 発光測定がばらついたために, 測定誤差が比較的大きい. 小林・中田 (1991) や徐ほか (2002) の<sup>14</sup>C年代の較正暦年

(約16.5cal ka BP) とは誤差範囲で一致しており, 大きな矛盾はない. 既述の礫石原火砕流堆積物の年代とは明らかに異なっており, 星住 (2005) の区分を支持する.

以上のように今回得られたTL年代は, これまで報告されてきたTL年代 (Takashima and Watanabe, 1994; 島雄ほか, 1999; 山縣ほか, 2004) とも調和的な結果を示しており, この方法の再現性を確認することができる. さらに, これらのTL年代は, <sup>14</sup>C年代の較正暦年ともほぼ一致しており, 層序 (Fig. 2) とも矛盾しないことから, ほぼ信頼できる方法であるといえよう. なお, FT年代 (檀原ほか, 1993) は, 誤差が大きいもののいずれもTL年代と矛盾しないが, K-Ar年代 (Watanabe *et al.*, 1993; 星住ほか, 1995) は, 垂木東溶岩 (25 ± 12ka) を除いて, 実際の噴出年代より古い値を示していると考えられる (Fig. 2).

TL年代測定は, 若い年代から古い年代までを同一精度で測定できる特徴があるため, 雲仙普賢岳のように比較的若い地質試料の年代測定に適している. 従来, 地質学分野におけるTL年代の信頼度は必ずしも高いものではなかったが, この研究を含めて<sup>14</sup>C年代やFT年代などの比較研究が多くなされることで, 信頼性を検証することができよう. さらに, TL年代には宇宙線をはじめとする多くの誤差要因の評価・検討も必要である.

## 謝 辞

本稿は, 筆頭著者 (守安) の福岡大学理学部地球圏科学科の2006年度卒業論文をもとにその後の研究により加筆・修正したもので, 日本火山学会2007年秋季大会 (島原市) において口頭発表した. 田口幸洋教授, 柚原雅樹博士をはじめとする福岡大学理学部地球圏科学教室の

Table 1. Results of TL dating for Furue, Kureishibaru and Yuegawa pyroclastic flows.

Sample	U(ppm)	Th(ppm)	K <sub>2</sub> O(%)	H <sub>2</sub> O(%)	*D(mm)	AD(mGy/a)	PD(Gy)	TL age (ka)
Furue PFL	2.45	10.21	2.57	3.95	1.25	2.66	58.5	22±1
Kureishibaru PFL	2.59	10.14	2.50	1.60	1.14	2.77	54.9	21±2
Yuegawa PFL	2.40	10.16	2.52	1.45	1.16	2.75	38.1	14±4

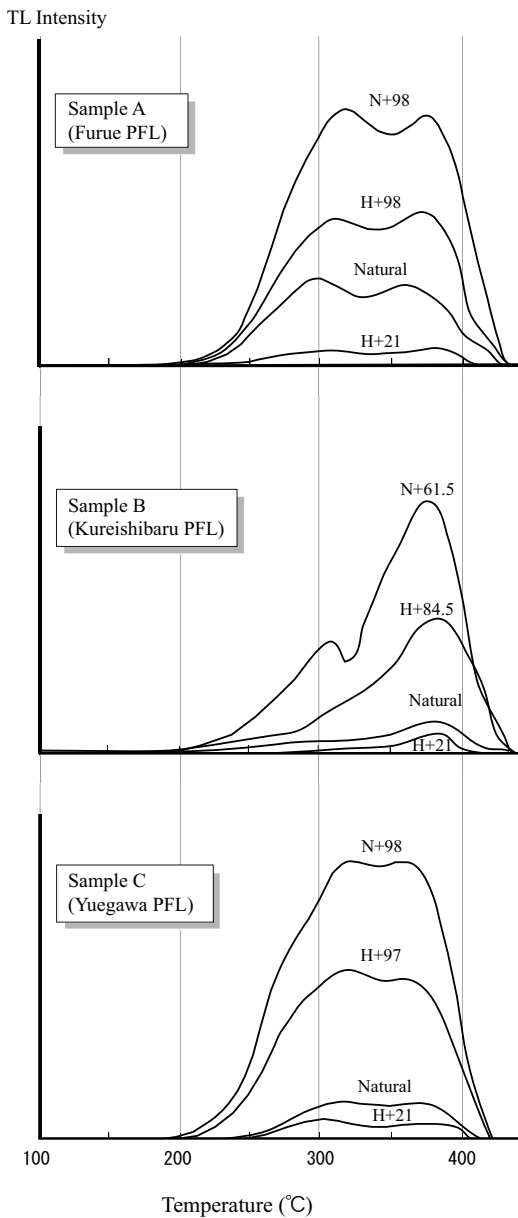


Fig. 5. TL glow curves of dated samples for making TL growth curves. N+: gamma ray irradiated to natural quartz, H+: gamma ray irradiated to pre-heated quartz. Background of TL intensity was deducted from each curve.

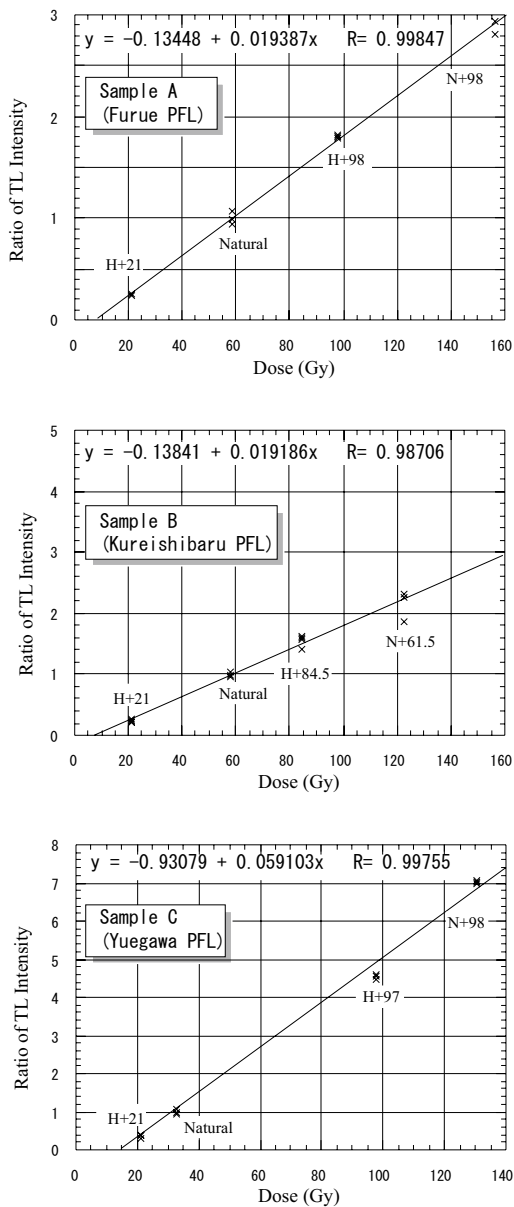


Fig. 6. TL growth curve for calculating paleodose of Furue, Kureishibaru and Yuegawa pyroclastic flows.



皆様には、多くのコメントや励ましをいただいた。社日本アイソトープ協会甲賀研究所の廣庭隆行氏には、石英の $\gamma$ 線照射で大変お世話になった。鹿児島大学理学部の小林哲夫教授には、小林・中田 (1991) が報告した $^{14}\text{C}$ 年代の詳細を教えていただいた。鹿児島大学のMa. Hannah T. MIRABUENO氏には、英文の不備を指摘していただいた。なお、この研究には、日本学術振興会の基盤研究 (B) 「地形と表層地質情報に基づく自然環境の定量的近未来予測に関する基礎的研究」 (課題番号: 17300295, 研究代表者: 奥村晃史) の一部を使用した。記して謝意を表する。

### 引用文献

- Aitken, M. J., 1985, *Thermoluminescence dating*. Academic Press, 359p.
- Bell, W.T., 1979, Thermoluminescence dating: radiation dose-rate data. *Archaeometry*, 21, 243-245.
- 檀原 徹・岩野英樹・星住英夫・渡辺一徳, 1993, 若い火山岩のフィッシュン・トラック年代測定の試み—雲仙普賢岳・眉山の例—. 日本火山学会1993年秋季大会講演予稿集, 51.
- 星住英夫, 2005, 新期雲仙火山の地質. <http://staff.aist.go.jp/h.hoshizumi/unzen/index.html>
- 星住英夫・宇都浩三, 2000, 雲仙火山の形成史. 月刊地球, 22, 237-245.
- 星住英夫・宇都浩三・松本哲一・徐 勝・栗原新・角井朝昭, 2002, 雲仙火山の形成史—山麓掘削と組織的放射年代測定の成果—. 月刊地球, 24, 823-834.
- 星住英夫・宇都浩三・渡辺一徳, 1995, 雲仙火山のK-Ar年代測定 (続報) —雲仙火山の発達史—. 日本火山学会1995年秋季大会講演予稿集, 99.
- Hoshizumi, H., Uto, K. and Watanabe, K., 1999, Geology and eruptive history of Unzen volcano, Shimabara Peninsula, Kyushu, SW Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 89, 81-94.
- 小林哲夫・加藤和夫, 1986, 雲仙岳火山の形成史. 日本火山学会講演予稿集, 1986年度秋季大会, 77.
- 小林哲夫・中田節也, 1991, 雲仙火山, 火砕流・岩屑なだれ堆積物の $^{14}\text{C}$ 年代と発達史. 日本火山学会講演予稿集, 1991年度秋季大会, 140.
- 町田 洋・新井房夫, 1976, 広域に分布する火山灰—始良Tn火山灰の発見とその意義. 科学, 46, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫, 1978, 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰. 第四紀研究, 17, 143-163.
- Mejdahl, V., 1979, Thermoluminescence dating: beta-dose attenuation in quartz grains. *Archaeometry*, 21, 61-72.
- Nakada, S., Shimizu, H. and Ohta, K., 1999, Overview of the 1990-1995 eruption of Unzen Volcano. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 89, 1-22.
- 太田一也, 1997, 1990~1995年雲仙岳噴火活動の予知と危機管理支援. 火山, 42, 61-74.
- 奥野 充, 2002, 南九州に分布する最近約3万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, 41, 225-236.
- 尾関信幸・奥野 充・小林哲夫 (2005) 雲仙火山, 眉山の形成過程. 火山, 50, 441-454.
- Reimer, P.J., Ballie, M.G.L., Bard E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. 2004. IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* 46, 1029-58.
- 島雄 隆・高島 勲・渡辺公一郎・井沢英二,

- 1999, 火山岩類の熱ルミネッセンス年代測定の精度検証—雲仙火山火砕流堆積物の $\beta$ 線量精度補正年代—. 岩鉱, 94, 109-119.
- 高島 勲, 1995, 熱ルミネッセンス年代測定—特に石英による火山岩類の測定について—. 第四紀研究, 34, 209-220.
- 高島 勲, 1999, 北関東高原山富士山溶岩ドームの熱ルミネッセンス年代. 火山, 44, 275-277.
- Takashima, I. and Watanabe, K., 1994, Thermoluminescence age determination of lava flows/domes and collapsed materials at Unzen volcano, SW Japan. *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, 39, 1-12.
- 高島 勲・本多朔郎・納谷 宏, 1989, 生長曲線法による熱ルミネッセンス年代測定の問題点. 秋田大学鉱山学部資源地学研究施設報告, no.23, 23-30.
- 高島 勲・本多朔郎・納谷 宏, 1990, 青森県八甲田地域の火砕流堆積物のTL年代. 岩鉱, 85, 459-468.
- 高島 勲・村上英樹・デュク グエン ホン・エディ スチプタ・毛利陽司・柴田能辰, 2006, 鬼首・鳴子カルデラ周辺の後期更新世火砕流堆積物及び火山岩の熱ルミネッセンス年代. 岩石鉱物科学, 35, 70-77.
- 渡辺一徳・星住英夫, 1995, 雲仙火山地質図. 火山地質図8, 地質調査所.
- Watanabe, K., Hoshizumi, H. and Itaya, T., 1993, K-Ar ages of Unzen Volcano in Kyushu, Japan — with some aspects of geology of Mayu-yama —. *Mem. Fac. Educ. Kumamoto Univ., Nat. Sci.*, 42, 35-41.
- 徐 勝・星住英夫・落合洋治・青木治三・宇都浩三, 2002, 新期雲仙火山の加速器放射性炭素年代. 日本地球化学会年会講演要旨集 (第48回), 150.
- Xu, S., Hoshizumi, H., Ochiai, Y., Aoki, H. and Uto, K., 2004,  $^{14}\text{C}$  dating of soil samples from the Unzen volcano scientific drilling boreholes. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. B223-224*, 560-576.
- 山縣武彦・高島 勲・渡辺公一郎・井沢英二, 2004, 熱ルミネッセンス法による新期雲仙火山溶岩ドームの年代測定—妙見岳火山以降2万5千年の噴火活動史—. 火山, 49, 151-160.