

最近 5000 年間の九重火山における水蒸気噴火の発生履歴

伊藤 順一*・星住 英夫*・川辺 禎久*

(2014年8月30日受付, 2014年11月10日受理)

Eruptive History of Phreatic Activity of Kuju Volcano during the Recent 5,000 Years

Jun'ichi ITOH*, Hideo HOSHIZUMI* and Yoshihisa KAWANABE*

Kuju volcano is located along the northeastern side of the Beppu-Shimabara Graben in Kyushu Island. This volcano consists of small strato-volcanoes and lava domes. This paper reports on stratigraphy of tephra deposits by phreatic eruptions above Danbaru scoria (ca. 5-6 cal kBP). The six fallout deposits, which are phreatic origin, are identified by the field survey around the proximal area and the detailed ^{14}C dating. The six fallout deposits are named as Kuju phreatic deposit 6 to 1 in ascending order. The eruption ages are cal BP 3610-3714, 2887-3065, 2356-2700, cal AD 214-387, 893-1152 and 1283-1393. The eruption interval is about 500 ± 200 years. The most voluminous phreatic eruption in Kuju volcano is Kj-ph6, and its volume is ca. $6.1 \times 10^6 \text{ m}^3$. The argillaceous pyroclastic deposit, which was deposited by the surface failure around hydrothermal field, and related lahar and reworked deposits are recognized. These deposits were formed in cal AD 892 to 1152.

Key words: Kuju volcano, phreatic eruption, phreatic tephra, ^{14}C age

1. はじめに

水蒸気噴火は、類質・異質物質の噴出で特徴付けられる噴火様式の一つで、一般に比較的小規模な火山活動であることが多く、噴出物の分布範囲は比較的狭く、被害発生域も限定的である。しかしながら、火口や地熱・噴気地域の近傍にまで開発が進んでいる場合には、水蒸気噴火であっても人的・経済的被害が生じることがある(例えば、1995年2月長野県安房峠中ノ湯(三宅・小坂, 1998)や1997年5月秋田焼山澄川温泉(塚本・他, 1998)など^{*)})。一方、水蒸気噴火が、マグマ噴火の前駆的な活動として発生する場合がある(例えば、雲仙普賢岳の1990年11月17日の噴火(渡辺・他, 1992)など)。このように、水蒸気噴火は火山災害の発生要因の1つとして重要な現象であり、過去の噴火事例に対する発生位置や履歴およびその推移に関する情報は、防災対策の検討において重要な基礎情報となるものである。

本研究は、九重火山で1995年に起きた水蒸気噴火(星住・他, 1996)に関連した緊急調査の一環として、山頂部で現地調査を行ったことを発端とする。この緊急調査

では、山頂部に過去の小規模な水蒸気噴火堆積物が保存されていることが確認されたが、限られた地点での調査であり、しかも層相上の特徴だけでは各テフラの対比が困難であったことから、噴火頻度やその発生位置を明らかにすることができなかった(伊藤・他, 1996; 科学技術庁研究開発局, 1997)。その後、筆者らは現地調査を継続し、多数の地点で露頭観察を行うと共に、 ^{14}C 年代値を蓄積してきたが、「九重火山地質図」(川辺・他, 印刷中)の作成にあわせて、改めて露頭調査結果を再確認した上で、本論をまとめた。

本論の特徴は、1) 水蒸気噴火は噴火規模が小さいために、山麓部での地質調査だけではその噴火の痕跡を十分に把握することが困難である点を鑑み、火口や地熱活動

*追記

本論投稿後、2014年9月27日午前11時52分頃、御嶽山で水蒸気噴火が発生した。登山道および山頂から500m以内の地域に複数の火口が開いたこと、秋の行楽シーズン、天候の良い土曜日のお昼時であったこと等から、死者・行方不明者60名を超える甚大な被害が生じた。被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。

* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1
産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門
AIST, Institute of Earthquake and Volcano Geology,
Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-

8567, Japan.

Corresponding author: Jun'ichi Itoh
e-mail: itoh-j@aist.go.jp

域近傍域において調査を行うことで噴出物の把握に努めたこと、2) 水蒸気噴火堆積物は、堆積物の特徴だけからは対比が難しいことから、多数の ^{14}C 年代測定結果を活用し、その噴火層序の確立を試みたことである。

2. 九重火山の概要

2-1 九重火山の形成史

九重火山は中部九州の別府-高原地溝内に位置する活火山で、安山岩～デイサイト質の溶岩ドームや火砕丘から構成される。九重火山の形成史を概観すると、初期には中規模の火砕流（下位より宮城、下坂田、飯田火砕流）噴火が頻発した。阿蘇火山起源の火砕流堆積物との層位関係やFT年代、 ^{14}C 年代に基づき、最下位の宮城火砕流堆積物の噴火年代は約13万年前、飯田火砕流の噴火年代は約5～4万年前と推定されている（川辺・他、印刷中）。一方、山体を構成する溶岩ドームや火砕丘の噴火層序は、広域テフラや九重火山起源の指標テフラの被覆関係を基に編まれ、約1.5万年以降は平治岳や大船山など九重火山東部で主に溶岩ドーム群や火砕丘を形成する噴火が活動の主体となった（川辺・他、印刷中）。最新のマグマ噴火は約1600 calBPの安山岩質マグマによる黒岳溶岩ドームの形成とそれに伴う小規模な黒岳火砕流の発生である（Kamata and Kobayashi, 1997）。一方、噴気・地熱活動については、奈良時代初期から記録に残されており、星生山の北東山腹では活発な噴気・硫気孔群が現在も活動を続けている。九重火山では噴気活動が活発なことに伴い、地熱変質地帯における噴気突出あるいはそれに伴う表層爆発が発生しており、史料火山学的手法により寛文二（1662）年、延宝三（1675）年、元文三（1738）年、安永六（1777）年の4回の活動が確認されている（井村・鎌田, 1996）。

しかしながら、地質学的手法による九重火山の水蒸気噴火の研究に関しては、奥野（2002）により2層の類質テフラが報告されているが、九重火山のテフラ層序を総括した長岡・奥野（2014）にもとりまとめられていない。

2-2 1995～96年の水蒸気噴火

九重火山最新の水蒸気噴火は1995年10月11日に起こった。この噴火では星生山溶岩の鞍部にほぼ東西に並ぶ火口列を新たに開いた。10月11日から12日の活動で放出された火山灰は約 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、泥流は約 $1 \times 10^3 \text{ m}^3$ と推測される（東大地震研・他、1995）。その後、翌年の1996年2月までは何回か火山灰の噴出を繰り返したが、噴出した火山灰からは、極少量ながらマグマ物質と思われる発泡した新鮮な火山ガラスが見いだされ（中田・他、1996）、活動の経過と共に火山ガラスの含有量の増加が認められた。以上のことから、1995～96年の噴火活動

は、噴火初期の地熱地帯の表層爆発の後、新たなマグマが関与した噴火活動に遷移したが、その後地下でのマグマ貫入が停滞したと考えられている（波多江・他、1997）。

3. 水蒸気噴火堆積物と ^{14}C 年代

3-1 調査地点

地表および空中写真を用いた地形判読によると、九重火山を構成する溶岩の山腹や頂部には、直径数十m～100m以下の円弧状の地形が多数認められる（Fig. 1）。これらは溶岩流出後の爆裂火口と考えられるが、その形成年代はこれまでのところ不明で、後述する一例を除いて水蒸気噴火堆積物との対応関係も明らかでない。例えば、久住分れの西方約1kmの西千里浜の南縁には、直径20cmにも達する複数の石質岩塊が、下位の段原降下スコリア（以後Kj-DS: 鎌田, 1997）や鬼界アコホヤ火山灰（K-Ah）を変形させたインパクト構造を作っている。変形構造からは、岩塊の飛来方向が観察地点の東方であることを示しているが、その方向には複数の火口状地形が認められること、岩塊の落下時代が層序学的に特定できないこと等から、噴出源は特定できていない。

水蒸気噴火による噴出量は比較的少ないために地質学的な時間スケールでは堆積物として残りにくい。このため、地質学的手法により過去の水蒸気噴火の噴火履歴を明確にするためには、前述したような火口状の地形などの水蒸気噴火の痕跡と思われる地域や地熱地域近傍の登山道沿い、また、小規模な噴火堆積物であっても地層として保持されやすい山間低地や下刻する河川沿いを中心に地質調査を行う必要がある。また、1995年の噴火直後の緊急調査（伊藤・他、1996; 科学技術庁研究開発局、1997）で実施された小規模なピット掘削による堆積物調査も有効な研究手法の一つである。

3-2 水蒸気噴火堆積物

調査範囲内の数十カ所で、黒ボク土（有機質土壌）に挟まれる複数枚の粘土質火山灰を確認することができた。代表的な露頭の柱状図をFig. 2に示す。最も代表的な露頭としては、九重火山の中央部では長者原から星生山に至る諏峨寺越付近（地点d）、東部では坊ガツルから法華院温泉に向かう登山道沿いの地点kである。露頭観察結果に基づく水蒸気噴火堆積物を中心とした模式柱状図をFig. 3に示す。なお分布域の相違から水蒸気噴火堆積物と層位関係を確認することができなかった一部の九重火山起源の火山灰層（ガラン台降下スコリア（川辺・他、印刷中）および黒岳降下火山灰層（長岡・奥野、2014）など）については、本論では言及していない。

九重火山で確認された粘土質火山灰はいずれも層厚1～10cm程度で、色調に若干の差違が認められるが白色

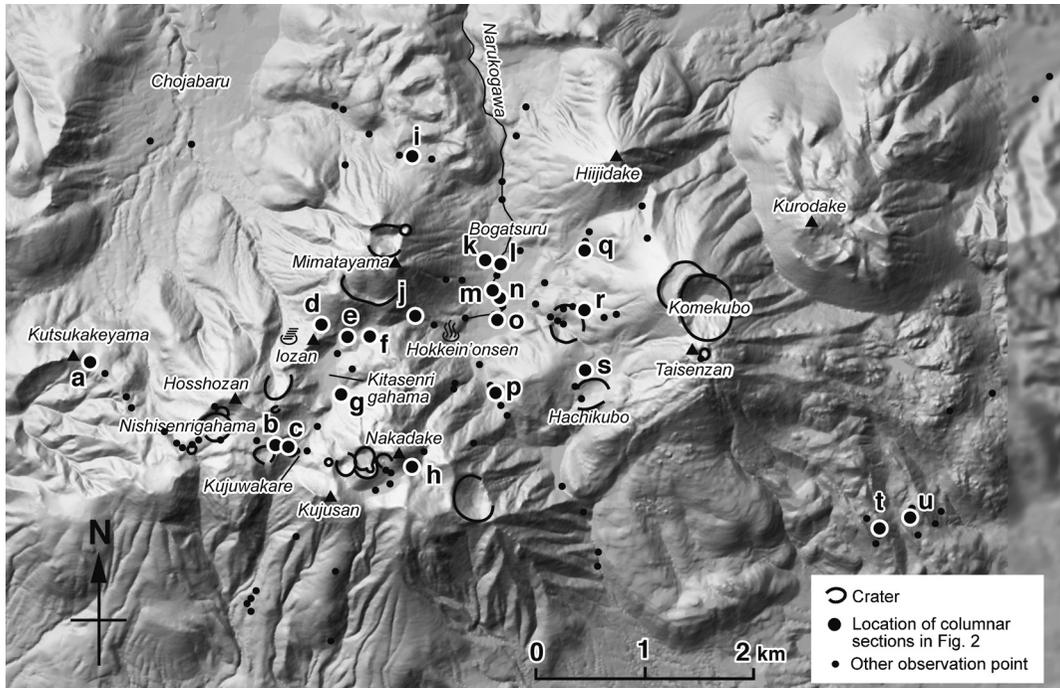


Fig. 1. The location map of the field observation points. Columnar sections for location “a” to “u” are shown in Fig.2. Relief map was drawn by NMVr, which used 10 m DEM (volcanoes) by Geospatial Information Authority of Japan (GSI). NMVr is a DEM viewer software, which is distributed as shareware from <http://www.jizoh.jp/>.

～黄白色の粘土質で、その岩相は類似しており、露頭観察だけから各ユニットを明瞭に識別することは困難である。粉末 X 線回折法分析によると粘土質火山灰の構成物はスメクタイトやクリストバライトなどの熱水変質鉱物が大部分であり、実体顕微鏡下で粒子構成物を観察したところ、様々な程度に熱水変質を被った岩片の破片が大半を占め、その他として斜長石や角閃石などが認められた。また、極少量 (5 vol% 以下) の火山ガラスが含まれるが、火山ガラスの形態や EDS による主成分化学組成分析によると、類質あるいは異質物質と考えられる。以上のことから、九重火山で確認された粘土質火山灰においては、いずれも熱水変質地域における水蒸気噴火によって放出されたものと考えられる。

本論で報告する粘土質火山灰は、K-Ah より上位のもので、九重火山を起源とする A1 降下火山灰 (以後 K_j-A1 と略称: 鎌田, 1997), K_j-DS, 大船降下火山灰 (K_j-Ta: 川辺・他, 印刷中), 米窪安山岩質降下火山灰 (鎌田, 1997) を再定義した米窪降下スコリア (K_j-KS: 川辺・他, 印刷中) との層位関係が確認できる。しかしながら、前述したように粘土質火山灰の層相は類似しており、しかも山岳域の登山道沿いの露頭では観察範囲が限定される

ために、これらの鍵テフラとの層位関係が全ての露頭で確認できたわけではない。そこで、粘土質火山灰の層序を確立するために、噴出物直下の黒ボク土に対して ¹⁴C 年代測定を多用し、その結果を参考にした。

¹⁴C 年代値を活用したテフラ対比においては、粘土質火山灰の産状が明瞭で、近接した複数の露頭間で類似した ¹⁴C 年代値が得られる事を条件とした。その結果、6 層準の粘土質火山灰を認定した。本論ではこれらを一括して九重水蒸気噴火堆積物群と称し、奥野 (2011) のテフラ層の命名指針に従い、上位から下位に向かって九重水蒸気噴火堆積物 1 (K_j-ph1) ～九重水蒸気噴火堆積物 6 (K_j-ph6) と命名する (各テフラについては、4-1 節に記載する)。なおこのうち 2 層準は奥野 (2002) の久住分れテフラと硫黄山テフラに相当する。

また、これ以外に、単独の露頭でしか確認できない粘土質火山灰や、色調が暗褐色を呈する風化した火山砂層が確認された。これらについては、今後のより詳細な調査で噴火堆積物として認定される可能性があるが、本論ではそのいくつかについて ¹⁴C 年代値を記述するとともに、今後の研究に資するデータを提供する。また、北千里浜や坊ガツルを埋積している堆積物中には、エビ

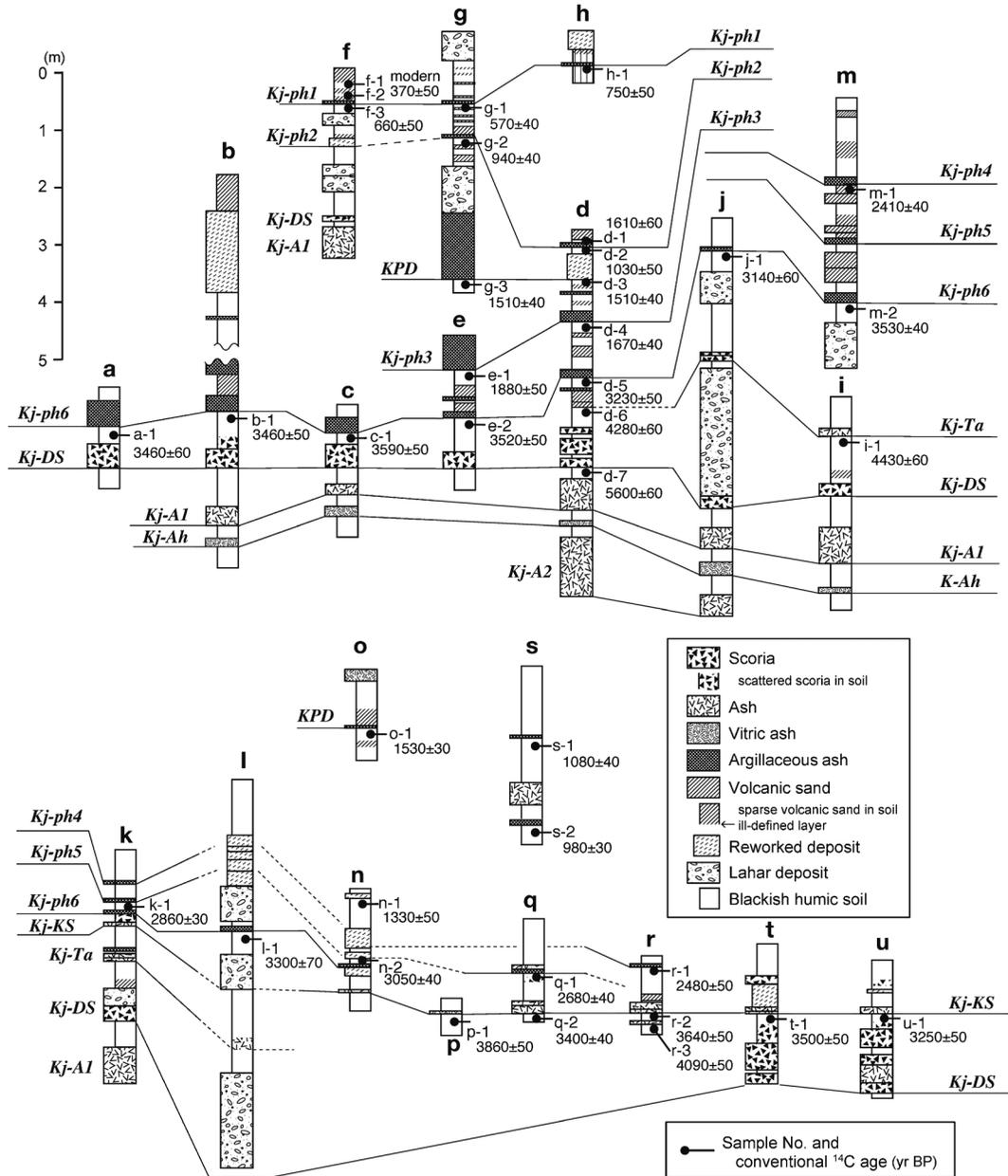


Fig. 2. Correlative stratigraphic columns for representative sections for Kuju volcano. Locations are shown in Fig. 1. Ages are shown as BP by ^{14}C dating method. Kj-A2; A2 ash, K-Ah; Kikai-Akahoya tephra, Kj-A1; Kj-A1 ash, Kj-DS; Danbaru scoria, Kj-KS; Komekubo scoria, KPD; Kitasenrigahama argillaceous pyroclastic deposit, Kj-Ph1 to 6; Kuju phreatic tephra 1 to 6.

ソデックなイベントによりもたらされたと考えられる粘土質の風化した火山灰層や土石流堆積物が挟在される。これらは、何らかの火山現象に由来する二次堆積物の可能性もあるが、本論では、特に堆積年代がほぼ一致した顕著な堆積物についてのみ、4-2節で報告するに留めた。

3-3 ^{14}C 年代測定の概要

粘土質火山灰の噴出年代を推定するために、それらが覆う黒ボク土の ^{14}C 年代の測定を行った。分析試料は、年代測定対象テフラの下位3cm以内の黒ボク土を採取した。年代測定はβ-ANALYTIC社に依頼し、 ^{14}C 濃度測

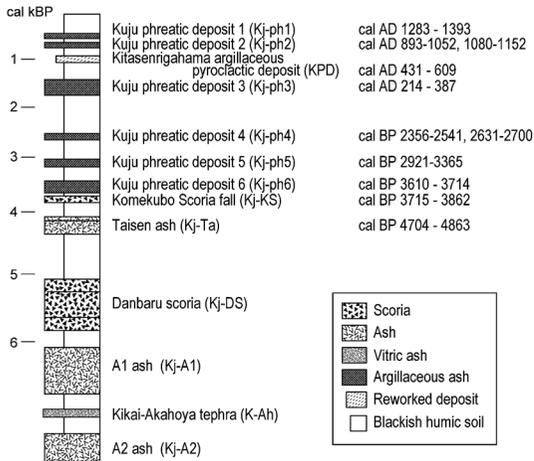


Fig. 3. Schematic columnar section of tephra deposits above the Kj-A2.

定には液体シンチレーションカウンターを用いた β 線計測法と加速器質量分析法が適用された。 ^{14}C 年代は、試料ごとの $\delta^{13}\text{C}$ 値により同位体分別効果が補正され、 ^{14}C 半減期としては5568年を用いて算出されている。また、 ^{14}C 年代(AD 1950を0年とする)から暦年代への較正には、暦年較正プログラムCALIB ver. 7.0.1 (Stuiver and Reimer, 1986; Stuiver *et al.*, 2014)を用い、較正データにはReimer *et al.* (2013)のIntCal 13を適用した。各分析試料に対する ^{14}C 年代測定結果をTable 1に示す。

4. 段原降下スコリアより上位のテフラ

4-1 降下テフラ

4-1-1 大船降下火山灰 (略称: Kj-Ta)

[産状]

大船山山腹の登山道および坊ガツル周辺で明瞭に確認され (Figs. 1 and 2 の d, j, k, i 地点), 諏蛾守越北部では黒ボク土中の砂質土壌層として確認される。Kj-DSとKj-KSとの間に存在する岩片質火山灰として、川辺・他 (印刷中) により認定・命名されたものである。大船降下火山灰は、大船山山腹ではKj-DSの上位15~30cmを黒ボク土を挟んで存在する岩片を伴う発泡の悪いスコリア質火山灰で、全体として灰色~茶褐色を呈する。大船山山腹では層厚は15cmで、スコリア粒径は1~2cmである。大船山山体から離れると急速に不明瞭となり、坊ガツル周辺では黒ボク土中に岩片が散在する灰白色帯として認められる。明瞭な層厚変化は認められなかったが、大船山を中心に複数の地点に露出し、坊ガツルの東部地域では黒ボク土との境界が明瞭で、スコリアの粒径も大きく

なることから、大船山付近を噴出源にもつと思われる。また、露頭地点が限られるため地層としての明確な追跡はできていないが、諏蛾守越登山道沿いの露頭 (Figs. 1 and 2 の d 地点) では、黒ボク土に挟まれる本テフラの層準には、コゲ茶色の火山礫混じり風化火山砂土壌が認められる。このことから、純層として保存されるほどではなかったが、本テフラの降下による碎屑粒子の供給量の一時的な増大は九重火山中央部にまで及んだと考えられる。

[^{14}C 年代]

本テフラ直下の黒ボク土からは3つの ^{14}C 年代が得られた (Table 2, Fig. 5)。 ^{14}C 年代の中央値は4,090~4,430 BPであるが、誤差範囲を考慮した10%以上の確率を示す暦年較正年代の平均値は4.7~4.8 cal kBP (4,704~4,863 cal BP) である。

4-1-2 米窪降下スコリア (略称: Kj-KS)

[産状]

鎌田 (1997) の米窪安山岩質降下火山灰に対比されるが、後述の理由により川辺・他 (印刷中) により米窪降下スコリア (略称: Kj-KS) に変更された。Kj-Taの上位を25~40cmの明瞭な黒ボク土を挟んで覆う。岩片を伴う灰色を呈する発泡の悪いスコリア質火山灰層である。大船山山腹では黒ボク土に覆われるが、坊ガツル西部付近ではスコリア混じりの黒ボク土を介して、灰色火山灰の散在ユニット (後述するKj-ph6) に覆われる。

大船山西部~坊ガツルにおいて黒ボク土中のスコリアに富む灰色火山灰層として確認され、大船山西部の登山道沿いでは下位の火山豆石組織を残して堆積する層厚2cm程度の細粒火山灰と、その上位のスコリア質火山灰に区分できる。坊ガツル周辺では下部の細粒火山灰はほとんど確認できなくなり、岩片が黒ボク土中に散在する産状となる。全般としてスコリア質火山灰であることから、川辺・他 (印刷中) により名称変更がなされた。

[^{14}C 年代]

本テフラ直下の5試料について ^{14}C 年代を求めた。試料p-1は他の試料に比較すると若干古い年代値を示すが、層相・分布域共にKj-KSと認定して矛盾がない。そこですべての ^{14}C 年代を用いて暦年較正年代の平均値を求めた結果、3.7~3.9 cal kBP (3,715~3,862 cal BP) となった (Table 2, Fig. 5)。

4-1-3 九重水蒸気噴火堆積物6 (略称: Kj-ph6)

本研究の結果、九重火山においてKj-DSより上位のテフラ群の中で水蒸気噴火による複数の粘土質火山灰の内、最下位の層準にあたる。奥野 (2002) により認定された星生山周辺の2枚の類質テフラの内、久住分れテフラに相当する。

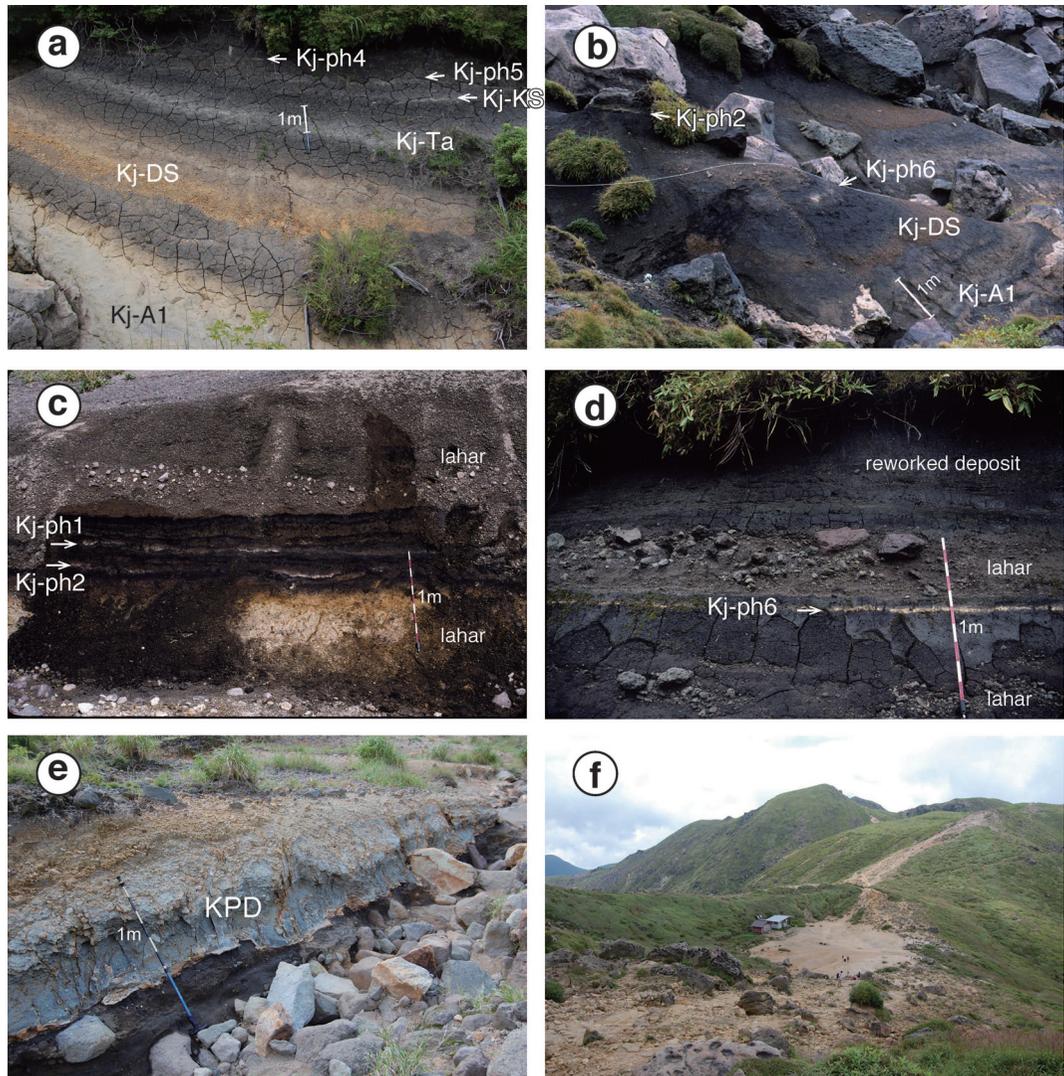


Fig. 4. Photographs for tephra layers for Kuju volcano. a) Phreatic and magmatic tephra layers at Bogatsuru (Loc. k). Kj-ph6 is present between Kj-ph5 and Kj-KS. b) Phreatic tephra deposits (Kj-ph6 and Kj-ph2) and magmatic tephra (Kj-DB and Kj-A1) at the outcrop near Sugamorigoe. Loc. d. c) Kj-ph1 and 2 and lahar deposits at east area of Kitasenrigahama, in Loc. g. d) Kj-ph1, lahar deposits and reworked deposits at Bogatsuru, in Loc. l. e) Kitasenrigahama argillaceous pyroclastic deposit. Location is near the Loc. g. f) Aerial photograph for the Kujuwakare crater, which erupted Kj-ph6. Abbreviations for pyroclastic units are same as Fig. 2.

本火山灰は乳白～黄土色の粘土質火山灰層で、坊ガツル西部の k 地点 (Fig.1, 2) において Kj-KS の岩片が散在する黒ボク土を覆い、北千里ヶ浜より西部では Kj-DS を層厚 40～50 cm の黒ボク土を介して覆う。また、前述のように坊ガツル付近 (k 地点; Figs. 1 and 2) では、Kj-KS 上部の岩片混じり黒ボク土を覆う。Fig. 4 (a) には k 地点の露頭写真を示したが、遠望写真では分かりにくいが、

Kj-KS と Kj-ph5 の間の灰色帯に本テフラが存在する。

奥野 (2002) は久住山周辺の等層厚線図しか示さなかったが、本調査の結果、このテフラの分布は久住分れ避難小屋付近を中心として、主に北東方向に広がり、坊ガツルから中岳周辺に達する (Fig. 6)。層厚 10 cm の等層厚線をもとに、Hayakawa (1985) の経験式を用いて噴出量を概算すると、 $6.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ となる。

Table 1. List of ^{14}C dating (to be continued)

Location Point	Sample No.	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ^{14}C age (BP)	Calibrated range AD or BP, 2 sigma [relative probability]	Measured Method	Lab.code BETA-	Preparation method
a	a-1	O	-20.8	3460±60	cal BP 3578 - 3871 [1.00]	β	93069	1, 2
b	b-1	O	-17.6	3460±50	cal BP 3592 - 3604 [0.01] 3605 - 3648 [0.99]	AMS	102958	1
c	c-1	O	-18.1	3590±70*	cal BP 3701 - 4085 [1.00]	β	102959	1
d	d-1	O	-17.1	1610±60	cal AD 262 - 277 [0.59] 328 - 584 [0.41]	AMS	94504	1
	d-2	O	-17.2	1030±50*	cal AD 1152 - 1080 [0.16] 1052 - 839 [0.84]	β	93073	1
	d-3	O	-15.3	1510±40	cal AD 636 - 526 [0.70] 523 - 506 [0.04] 496 - 428 [0.27]	AMS	94505	1
	d-4	O	-13.9	1670±40*	cal AD 530 - 491 [0.05] 431 - 311 [0.82] 305 - 252 [0.13]	β	93072	1
	d-5	O	-14.8	3230±50	cal BP 3365 - 3567 [1.00]	AMS	94506	1
	d-6	O	-15.1	4280±60	cal BP 4625 - 4763 [0.22] 4788 - 4979 [0.75] 5008 - 5036 [0.03] 4670 - 4652 [0.08]	AMS	94507	1
	d-7	O	-18.1	5600±60	cal BP 6289 - 6494 [1.00]	AMS	94508	1
e	e-1	O	-14.7	1880±50*	cal AD 247 - 19 [1.00]	β	93071	1
	e-2	O	-15.2	3520±50	cal BP 3645 - 3664 [0.03] 3685 - 3925 [0.97] 3951 - 3957 [<0.01]	AMS	102957	1
f	f-1		-27.0	modern	modern	AMS	114609	1
	f-2	O	-15.7	370±80	cal AD 1415 - 1665 [0.99] 1785 - 1793 [<0.01]	AMS	127316	1
	f-3	O	-17.1	660±50	cal AD 1401 - 1270 [1.00]	AMS	114608	1
g	g-1	O	-16.2	570±40*	cal AD 1428 - 1379 [0.40]	β	93070	1
	g-2	O	-15.5	940±60	cal AD 1216 - 995 [1.00]	AMS	127317	1
	g-3	C	-15.4	1510±40	cal AD 636 - 526 [0.70] 523 - 506 [0.04] 496 - 428 [0.27]	AMS	102956	1
h	h-1	O	-22.1	750±50	cal BP 1383 - 1365 [0.04] 1303 - 1180 [0.95] 1178 - 1169 [0.01]	AMS	114606	1
i	i-1	O	-9.3	4430±60	cal BP 4866 - 5090 [0.61] 5097 - 5143 [0.08] 5157 - 5286 [0.31]	AMS	114607	1
j	j-1	O	-11.6	3140±60	cal BP 3182 - 3195 [0.01] 3207 - 3479 [0.99]	AMS	126796	1
k	k-1	O	-14.0	2860±50	cal BP 2855 - 3082 [0.92] 3090 - 3144 [0.08] 3155 [<0.01]	AMS	112381	1
l	l-1	O	-14.1	3300±70*	cal BP 3382 - 3651 [0.95] 3657 - 3692 [0.05]	β	102960	1
m	m-1	O	-28.6	2410±40	cal BP 2347 - 2540 [0.78] 2587 - 2617 [0.06] 2632 - 2699 [0.16]	AMS	105767	1
	m-2	O	-16.1	3530±40	cal BP 3694 - 3914 [1.00]	AMS	105768	1

久住分れ鞍部で層厚 1 m 以上に及び、直径 10 cm 大の岩片を伴うことから、本堆積物の噴出源は奥野 (2002)

により、久住分れ避難小屋が立地する直径約 100 m の低平な円形凹地 (Fig. 4 (f)) とされており、これを本論も支

Table 1. List of ^{14}C dating (continued)

Location Point	Sample No.	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Conventional ^{14}C age (BP)	Calibrated range AD or BP, 2 sigma [relative probability]	Measured Method	Lab.code BETA-	Preparation method
n	n-1	O	-17.5	1330±50	cal AD 605 - 776 [1.00] 794 - 798 [<0.01]	AMS	114605	1
	n-2	O	-24.6	3050±40	cal BP 3085 [0.40] 3157 - 3366 [<0.01]	AMS	126800	1
o	o-1	O	-10.8	1530±50	cal AD 624 - 418 [1.00]	AMS	112380	1
p	p-1	O	-13.3	3860±50	cal BP 4103 - 4108 [0.01] 4148 - 4419 [0.99]	AMS	126797	1
q	q-1	O	-12.4	2680±40	cal BP 2747 - 2854 [1.00]	AMS	126798	1
	q-2	O	-13.3	3400±40	cal BP 3561 - 3728 [0.94] 3748 - 3765 [0.02] 3792 - 3823 [0.04]	AMS	126799	1
r	r-1	O	-14.8	2480±50	cal BP 2365 - 2367 [<0.01] 2377 - 2725 [1.00]	AMS	112377	1
	r-2	O	-12.6	3640±50	cal BP 3836 - 4090 [1.00] 4132 - 4137 [<0.01]	AMS	112378	1
	r-3	O	-15.3	4090±50	cal BP 4439 - 4486 [0.09] 4499 - 4728 [0.70] 4750 - 4820 [0.20]	AMS	112379	1
s	s-1	O	-16.9	1080±40	cal AD 887 - 1023 [1.00]	AMS	105765	1
	s-2	O	-24.6	980±30	cal AD 1154 - 1075 [0.52] 1058 - 994 [0.48]	AMS	105766	1
t	t-1	O	-14.2	3500±50	cal BP 3641 - 3894 [1.00]	AMS	140513	1
u	u-1	O	-14.3	3250±50	cal BP 3375 - 3581 [1.00]	AMS	140514	1

Location Point a: E131° 13' 01" N33° 05' 37", Point b: E131° 14' 12" N33° 05' 11", Point c: E131° 14' 22" N33° 05' 10", Point d: E131° 14' 31" N33° 05' 51", Point e: E131° 14' 38" N33° 05' 45", Point f: E131° 14' 45" N33° 05' 45", Point g: E131° 14' 35" N33° 05' 29", Point h: E131° 15' 03" N33° 05' 04", Point i: E131° 15' 05" N33° 06' 42", Point j: E131° 15' 05" N33° 05' 53", Point k: E131° 15' 31" N33° 06' 11", Point l: E131° 15' 34" N33° 06' 10", Point m: E131° 15' 36" N33° 05' 59", Point n: E131° 15' 37" N33° 05' 57", Point o: E131° 15' 35" N33° 05' 53", Point p: E131° 15' 36" N33° 05' 27", Point q: E131° 16' 07" N33° 06' 18", Point r: E131° 16' 10" N33° 05' 55", Point s: E131° 16' 10" N33° 05' 37", Point t: E131° 18' 00" N33° 04' 44", Point u: E131° 18' 13" N33° 14' 50"

Material; O: Organic sediment, C; Charcoal

* in ^{14}C age; extended counting

Preparation method; 1: Acid washes, 2: Bulk-low Carbon Material

持する。久住分れ周辺に分布する本堆積物には成層構造を示す褐鉄鉱の破片や褐鉄鉱にコーティングされた礫(直径数 cm)が散在することなどから、熱水・温泉滞留が生じていた地熱変質域が爆発的な現象を発生することで火口地形を形成したものと思われる。

また、九重山西部の沓掛山の登山道に沿って、このテフラと同層準に、層厚が 20 cm~50 数 cm に局所的に変化し、粒径 1 cm に達する変質岩片を含む淘汰の悪い粘土質堆積物が分布する (Figs. 1 and 2 の a 地点)。これを奥野 (2002) は、火山灰降下に伴う土石流堆積物としている。同質の堆積物は、北千里浜の東方や、中岳南方にも認められる。本テフラの分布域内及びその周辺の斜面低所や谷底部で確認されることから、起伏に富む地形を覆った Kj-ph6 が土石流として再移動したものと考えら

れる。

[^{14}C 年代]

本テフラについては、8 つの ^{14}C 年代を求めた。土石流としての産状を示す堆積物直下の試料 (a-1) も含まれているが、 ^{14}C 年代の中央値は 3,140~3,590 BP の範囲内にある。すべてのデータを用いた暦年較正年代の平均値は 3.6~3.7 cal kBP (3,610~3,714 cal BP) である (Table 2, Fig. 5)。これは、層序として下位の Kj-KS の平均年代値よりも若干若い値となっており、層序的にも矛盾のないものとなっている。

4-1-4 九重水蒸気噴火堆積物 5 (新定義: Kj-ph5)

坊ガツル西部 (k 地点) で Kj-ph6 の上位の上位 22 cm を覆う灰白色の粘土質火山灰で、この地点では Kj-ph6 は黒ボク土中に散った産状を示すが、Kj-ph5 との間に明

Table 2. List for ^{14}C dating results for tephra layers and pyroclastic deposit from Kuju volcano.

Tephra name Sample No	Conventional ^{14}C age (yr BP)	Average (weight include calibration curve 2 sigma)			
Kj-ph1					
g-1	570±40	cal AD	1283	- 1324	[0.44]
f-3	660±50		1345	- 1393	[0.56]
h-1	750±50				
Kj-ph2					
g-2	940±60	cal AD	893	- 1052	[0.84]
d-2	1030±50		1080	- 1152	[0.16]
Kitasenrigahama argillaceous pyroclastic deposit (KPD)					
g-3	1510±40	cal AD	431	- 491	[0.20]
d-3	1510±40		531	- 609	[0.80]
o-1	1530±50				
Kj-ph3					
d-4	1670±40	cal AD	214	- 387	[1.00]
e-1	1880±50				
Kj-ph4					
m-1	2410±40	cal BP	2356	- 2541	[0.66]
r-1	2480±50		2563	- 2575	[0.02]
			2585	- 2617	[0.09]
			2631	- 2700	[0.24]
Kj-ph5					
q-1	2680±40	cal BP	2887	- 2908	[0.06]
k-1	2860±50		2921	- 3065	[0.94]
n-2	3050±40				
Kj-ph6					
j-1	3140±60	cal BP	3610	- 3714	[1.00]
d-5	3230±50				
l-1	3300±70				
b-1	3460±50				
a-1	3460±60				
e-2	3520±50				
m-2	3530±40				
c-1	3590±70				
Komekubo scoria (Kj-KS)					
u-1	3250±50	cal BP	3715	- 3862	[1.00]
q-2	3400±40				
t-1	3500±50				
r-2	3640±50				
p-1	3860±50				
Taisen ash (Kj-Ta)					
r-3	4090±50	cal BP	4653	- 4669	[0.03]
d-6	4280±60		4704	- 4757	[0.24]
i-1	4430±60		4809	- 4863	[0.73]
Danbaru scoria (Kj-DS)					
d-7	5600±60	cal BP	6289	- 6494	[1.00]

瞭な黒ボク土が挟在される。坊ガツル周辺でも分布が確認され、純層として保存される (m 地点) ほか、層理が不鮮明な二次堆積物 (n 地点) としても保存される。層準を示す鍵テフラも不明確なことが多く、 ^{14}C 年代をもとにテフラ対比を行った。また、諏蛾守越 (d 地点) では、Kj-ph6 の上位に黒ボク土を介して、暗黄土色の土壌質火山砂層が複数層準で確認されるが、変質物質の散在層準が確認できなかったため、本テフラとの対比には至らなかった。

[^{14}C 年代]

3 試料について ^{14}C 年代を求めた。このうち、n-2 は層

厚 60 cm に達する複数ユニットからなる白色粘土質の二次堆積物に覆われる黒ボク土である。この試料採取地点では、下位に Kj-ph6 に対比される白色粘土質火山灰が認められ、 ^{14}C 年代も矛盾が無いことから、Kj-ph5 の噴火年代とした。3 試料に対する暦年較正年代の統計的平均値は 2.9~3.1 cal kBP (2,921~3,065 cal BP: probability > 10%) となる (Table 2, Fig. 5)。

4-1-5 九重水蒸気噴火堆積物 4 (新定義: Kj-ph4)

坊ガツル西部 (k 地点) で Kj-ph5 の上位 24 cm を覆う灰白色の火山灰層で、黒ボク土中に散在する傾向にあり、露頭内でも連続性は悪い。坊ガツル周辺でのみ確認されており、大船山西部の登山道沿いでは、地表下 20~30 cm 付近に存在する層厚 3~5 cm の黄白色火山灰層として比較的明瞭に認められる。露出状況から考えると、噴出源は大船山周辺の可能性も考えられる。

[^{14}C 年代]

大船山西部山腹および坊ガツルを埋積する堆積物中の 2 試料 (r-1, m-1) の ^{14}C 年代を本テフラの年代値とする。 ^{14}C 年代は、2,410 ± 40 BP および 2,480 ± 50 BP で、10% 以上の確率を示す暦年較正年代の統計的な平均値は 2.4~2.7 cal kBP (2356~2541 および 2631~2700 cal BP) の範囲内にある (Table 2, Fig. 4)。坊ガツルの地点 n において、地表近傍に層厚 10 cm 程度の岩片を含む黄白色風化火山灰層が認められるが、 ^{14}C 年代が 1,330 ± 50 BP (試料 n-1) であり、本テフラの年代値と 1,000 年以上隔絶していることと、後述する北千里浜粘土質火砕堆積物の年代値に近いことから、本テフラとは認定しなかった。

4-1-6 九重水蒸気噴火堆積物 3 (新定義: Kj-ph3)

諏蛾守越 (d 地点) においては、Kj-ph6 の上位 1.1 m にあり、層厚 18 cm に達する暗黄灰色を呈する粘土質火山灰である。奥野 (2002) による硫黄山テフラ (Kj-Iw) に相当する。本研究で確認された九重火山から噴出した粘土質火山灰の内、上位から 3 番目のものであることから Kj-ph3 とする。本テフラが確認される地点は北千里浜周辺で、その分布から奥野 (2002) は噴出源を硫黄山付近と考えた。しかしながら、北千里浜の南~東部では層厚が厚く、直径数 cm に達する岩片に富む産状を示す。例えば、e 地点では層厚が 40 cm を超え、直径 15 cm に達する変質岩片、褐鉄鉱破片を多量に含む。この層相は、中岳に連続する溶岩ドームの斜面 (標高 1520 m 付近: 北千里浜の底部の標高は 1460 m 程度) を薄く覆うことから、淘汰の悪い降下堆積物と推定される。以上の産状から、本火山灰の噴出源は、現在は埋積されてしまっている北千里浜内の東部と考えた方が妥当と思われる。山塊に囲まれた低地部から上空に飛散した火山灰の一部が、硫黄山から諏蛾守越に至る鞍部を超えて北側斜面に堆積

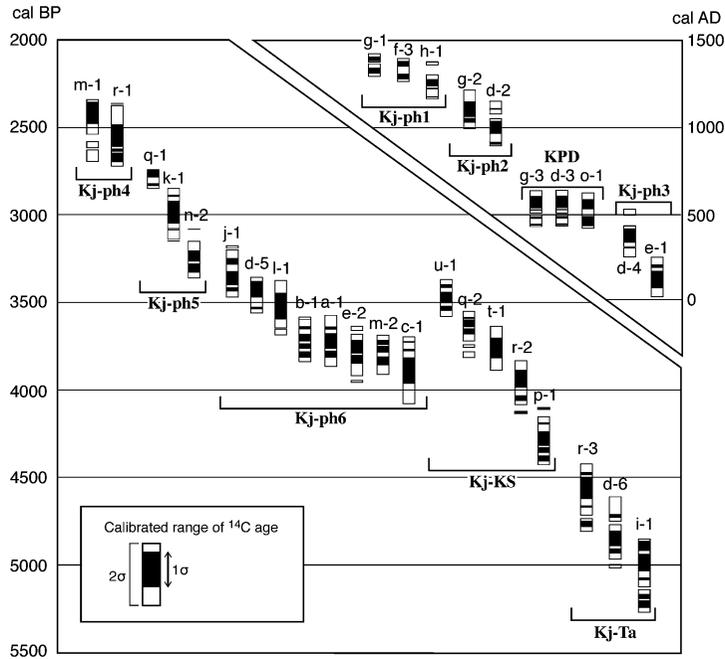


Fig. 5. Calibrated ¹⁴C age for tephra layers and pyroclastic deposit in Kuju volcano.

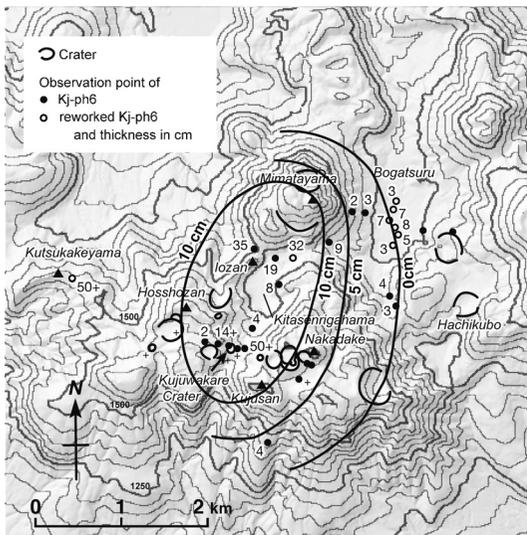


Fig. 6. Isopach map of KJ-ph6. Topographic map was drawn by NMVr, which used 10 m DEM (volcanoes) by GSI.

することで、奥野 (2002) が示した分布がもたらされたと考えられる。

[¹⁴C年代]

北千里浜東部と諏蛾守越の2試料から¹⁴C年代を求め

た。¹⁴C年代は1,670±40BPおよび1,880±50BPで、暦年較正年代の統計的な平均値は3~4世紀(calAD214~387)を示す(Table2, Fig.5)。

4-1-7 九重水蒸気噴火堆積物2(新称; KJ-ph2)

諏蛾守越(d地点)の地表面から下部30cm付近に認められる層厚8cmの黄白~白色粘土質火山灰.北千里浜では、表層を覆う土石流堆積物下の黒ボク土と土壤質火山砂互層に認められる2層の白色粘土質火山灰の内、下位の白色粘土質火山灰に対応する。確認地点は、諏蛾守越から北千里浜の東部地域のみで、噴出源・分布範囲は特定できていない。

[¹⁴C年代]

2試料(g-2, d-2)の¹⁴C年代は940±60BPおよび1,030±50BPで、暦年較正年代の平均値は9世紀末~12世紀(calAD893~1052, 1080~1152)を示す(Table2, Fig.5)。なお、d地点で本テフラの上位の黒ボク土(d-1)からは地質層序と逆転する¹⁴C年代(1,610±60BP)が得られている。上位層は地表面から続く不明瞭な火山砂層であるのに対し、試料d-2上位の白色粘土質火山灰層は保存状態の良い降下火山灰層であることから、試料d-2の年代値を本テフラの年代として採用した。これまでのところ、KJ-ph5の噴火に対応すると思われる古記録は確認されていない。

4-1-8 九重水蒸気噴火堆積物 1 (新称: Kj-ph1)

北千里浜の南東部および中岳の南方において最上位で確認される灰～黄灰色粘土質火山灰である。北千里浜東部 (f 地点) では、地表から 40～50 cm 下位に灰白色火山灰として特に明瞭に確認される。北千里浜で層厚 3～5 cm を示すが、複数地点の観察において層厚変化の傾向は明らかでなく、噴出源は特定できていない。

[^{14}C 年代]

3 地点において本テフラ下位の黒ボク土から ^{14}C 年代が測定された。その結果、得られた暦年較正年代の統計的平均値は cal AD 1283～1324, 1345～1393 で、本テフラを覆う黒ボク土 (f-2) からは cal AD 1415～1665 の値が得られている (Table 2, Fig. 4)。このことから、Kj-ph1 の噴火年代は 13 世紀末～14 世紀と判断される。

これまでに実施されてきた九重火山に対する史料火山学的研究 (井村・鎌田, 1996) では、成因を問わず地表に火砕物を飛散させる激しい火山活動としては、寛文二 (1662) 年以降のものしか知られていない。本テフラは、堆積物として確認される粘土質火山灰の最上位のものであるが、その ^{14}C 年代は江戸時代以前を示しており、歴史記録に残される噴火活動に対比される堆積物は現状の地質調査では確認できない事となる。

4-1-9 対比ができなかった堆積物

大船山西部への粘土質火山灰の分布を確認するために、鉢窪 (s 地点) で確認された粘土質火山灰について ^{14}C 年代測定を行っている。この地点は、大船山と立中山たちゅうとうざんに挟まれ、周辺には火口地形と思われる地形も認められることから、九重山東部の火山活動の履歴を編む上で重要な観察地点と思われる。s 地点は、地表 1 m 以深まで殆ど黒ボク土からなり、黄褐色～黄土色を呈する層厚 1～4 cm 程度の連続性の悪い風化火山灰層が 2 層準で確認された。層序関係としては間に 70 cm 近い黒ボク土を間に挟むにもかかわらず、2 試料 (s-1, s-2) の ^{14}C 年代は、 ^{14}C 年代値が殆ど同じで、しかも層序と逆転する結果 (上位の s-1 から $1,080 \pm 40$ BP, 下位の s-2 から 980 ± 30 BP) が得られた。この値は Kj-ph2 と類似するが、火山灰層序とは矛盾している。試料を採取した露頭は特に急な斜面に位置しているわけではなく、しかも層相観察において地層の重複は確認されていない。他のテフラとの層位関係も確認することができないことから、これらの ^{14}C 年代測定結果が測定対象テフラの堆積年代を示すかどうかは不明確であり、他のテフラとの対比データとして採用しなかった。

4-2 噴火堆積物以外の砕屑物

既に記載した火山灰以外に、九重火山の黒ボク土中には、火山砂が濃集する層準が複数認められる。黒ボク土

形成域への火山砂の一時的な供給増加がこれらの堆積物をもたらしたものと考えられるが、その要因は必ずしも噴火活動による砕屑粒子の供給だけでなく、噴気地帯の拡大に起因する裸地の拡大による飛散土砂の供給など多様であると推定される。また、北千里浜の底部には黒ボク土を覆う厚い粘土質火砕岩層が確認できる。本論では、これらすべてのテフラについて詳細な検討を行うことはできなかったが、比較的層厚が厚く、特徴的な堆積物に対して ^{14}C 年代測定を行った。その結果、複数地点で ^{14}C 年代値が極めて整合性の良い結果が得られ、九重火山における何らかの地質変動現象に対応する堆積物と考えられたことから以下に記述する。

4-2-1 北千里浜粘土質火砕堆積物 (新称: KPD)

北千里浜には、地表面から 80 cm 下位より最大層厚 1 m に達する粘土質火砕堆積物が存在し、黒ボク土を覆っている (g 地点、その近傍の露頭写真が Fig. 4 (e))。本堆積物は粘土質の基質部が大部分を占め、その中に粒径数 cm～10 cm に達する岩塊が混在する淘汰が悪い火砕物である。全体としては青灰色を呈するが、上面は黄褐色に漸移し、上下方向に伸びるクラックには褐鉄鉱が析出している。明瞭な堆積構造は認められない均質な堆積構造を持つことから、本火砕堆積物は一挙に堆積したイベント性堆積物と考えられ、クラックは堆積後、乾燥化に伴う体積収縮により生じたものと思われる。本堆積物は北千里浜の平坦部を埋め、その表面から数 m 上位となる北千里浜南部のなだらかな斜面を僅かにアバットする様に分布する。北千里浜において特徴的な堆積物であることから北千里浜粘土質火砕物と命名する。また、底部に黒ボク土が認められ、葎に似た中空の茎を持つ植物片が混入することから、現在よりも植生が発達していた山岳低地である北千里浜が本火砕堆積物により埋積されたと推測される。この堆積物に含まれる植物遺骸 (g-3) は ^{14}C 年代値 $1,510 \pm 40$ BP を示した。

また、坊ガツルは大船山-平治岳-三俣山に取り囲まれた高原湿地で、この低地を下刻する鳴子川なるこがわの両岸に堆積物の断面が露出する (例えば、Fig. 4 (d))。構成物は黒ボク土を主体とするが、礫質の土石流堆積物や灰白～黄灰色の粘土質堆積物や砂質の風化火山灰層 (総層厚約 20 cm) が挟在されており、周辺火山体の変動事象による堆積物を保存している。鳴子川沿いで、坊ガツルを埋積する堆積物の断面が露出する最も上流の露頭地点 (o 地点) には、地表から約 60 cm 下位に、層厚約 20 cm の黄褐色を呈する砂質風化火山灰層がある。本層は細粒の変質岩片を含み、不鮮明な連続性の悪い成層構造が認められる風化した火山砂で、坊ガツルに非定常的な土砂供給イベントがあったことを示唆している。本堆積物下位の黒ボ

ク土 (o-1) からは $1,530 \pm 50$ BP の ^{14}C 年代が得られており、この年代値は北千里浜粘土質火砕物の下位から得られた値と良く一致する。

一方、諏蛾守越 (d 地点) では、Kj-ph3 の上位 35 cm 上位に、総層厚 45 cm に達する暗褐色の土壌質火山砂堆積物が認められる。この堆積物は、変質岩片に富む粗粒火山砂で、連続性の悪いラミナ構造が観察され、フィルム状の白色火山灰薄層を挟在する。構成物としては火山砂や粘土質物質が含まれることから、火砕物供給の増大と共に、二次的な斜面移動を被った堆積物と考えられる。この堆積物直下の黒ボク土の ^{14}C 年代は $1,510 \pm 40$ BP (試料 d-3) で、北千里浜粘土質火砕堆積物のそれと一致する。

[^{14}C 年代]

北千里浜粘土質火砕堆積物 (g-3)、諏蛾守越 (d-3) および坊ガツル (o-1) の 3 試料から得られた暦年較正年代の統計的平均値は 5~6 世紀 (cal AD 431~491 (probability: 20%), cal AD 531~609 (probability: 80%)) を示す (Table 2, Fig. 4)。

5. 考察

5-1 九重火山における水蒸気噴火の特徴

野外調査により把握された九重火山の水蒸気噴火の活動履歴と、九重火山のマグマ噴火の活動史 (Kamata and Kobayashi, 1997; 川辺・他, 印刷中) との時間・空間的関連性について整理する。

前章で記載してきたように、九重火山における水蒸気噴火堆積物は、大船降下火山灰 (噴火年代 4.7~4.8 cal kBP と推定) よりも上位のみで確認され、また、噴火ユニットとして確認されたものの活動間隔はおおよそ 200~500 年に 1 回程度であった。噴火位置に関しては、マグマ噴火はおおよそ 1.5 万年以降平治岳や大船山などの東部地域が中心であるのに対し (川辺・他, 印刷中)、水蒸気噴火は Kj-ph3 や Kj-ph6 に代表されるように星生山~北千里浜周辺等の九重火山中央部で発生している。その他の水蒸気噴火堆積物の噴出源は特定されていないが、露頭における確認地点の分布からは、星生山から北千里浜および中岳周辺の九重火山中央部が最近数千年の水蒸気噴火発生の中心域と推定される。すなわち、九重火山では、マグマ噴火の活動域が 1.5 万年以降九重火山東部に遷移した後、最近 4 千年以降にマグマ噴火の活動中心から 4 km 以上離れた九重火山中央部において地熱・噴気活動が地表部で顕在化し、水蒸気噴火が活性化すると推定される。

5-2 地層としての水蒸気噴火堆積物の認定について

火山灰などが地層として保存されるためには、堆積直

後から始まる侵食作用や地表の擾乱作用に耐えるとともに、上面が土壌形成などにより覆われる必要がある。火砕物が地層として保存されるか否かを左右する重要な要因の一つが噴出物量であると考えられており、奥野 (2002) はその閾値は 10^5 m^3 程度である事を指摘している。水蒸気噴火の場合、噴火規模が小さく、斜面上での滑動による地層の重複によるテフラの過剰評価を避けるため、奥野 (2002) は層厚分布の系統性といった降下火砕物としての特徴を基にしたテフラ認定の必要性を指摘した。

一方、噴火規模が小さな水蒸気噴火については、堆積物としての保存が困難なことから、山麓部を中心とする野外地質調査では噴火履歴を数え落とす可能性がある。例えば、噴出物量 $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ (中田・他, 1996) とされる 1995~96 年噴出物は今日ではほとんど確認することはできない。しかしながら、限られた地点、例えば久住山への登山道では岩塊底部の土壌表面をフィルム状に覆っているのが確認できる。その観察地点は急傾斜地であるが岩塊が多く、1995~96 年火山灰はその隙間に落ちこみ表土に堆積することで、その後の風雨や擾乱作用を免れた様子で、今後、風成堆積物や土壌の形成により地層として保存されると予想される。このように、噴火規模の小さな水蒸気噴火堆積物は、一部の条件下では地層として保存され得るので、水蒸気噴火の噴火履歴を解明する上では、これらを的確に捉えることも重要となる。本論では、露頭間で層序学的に矛盾が生じていないという条件の下、黒ボク土の ^{14}C 年代測定を多用することで、極限られた地点で把握される粘土質火山灰を対比し、水蒸気噴火の痕跡と認定することで、少なくとも 6 回の水蒸気噴火を認定した。

5-3 北千里浜を埋積した粘土質火砕堆積物

北千里浜粘土質火砕物の堆積年代とほぼ同時期に、坊ガツルおよび諏蛾守越において、変質物質を含む二次的な堆積物が分布する。北千里浜からは三俣山^{みまたやま}と中岳の間を経由して法華院温泉に向かう狭い谷地形が入っており、坊ガツルは北千里浜から排出される土砂の堆積域となっている。このことから、北千里浜を埋積した土砂の一部が坊ガツルにまで到達した可能性が考えられる。また、北千里浜の埋積が裸地を増加させ、これによる火山灰・砂の飛散が星生山北側斜面 (諏蛾守越) への火山砂供給を増大させた可能性が考えられる。以上より、これらは北千里浜の変質土砂による埋積 (おおよそ $1 \times 10^5 \text{ m}^3$ と推定) を要因とする一連の地質現象に伴う堆積物と考えることができる。北千里浜の埋積を引き起こした現象としては、北千里浜を取り囲む山体斜面における地熱変質地帯において、熱水活動の活発化に伴う強変質斜面の

崩壊あるいは土石流の発生が考えられる。硫黄山の噴気活動は現在では北側斜面での活動が優勢であるが、噴気孔の位置やその勢いは近年 100 年間の間でも変化しており、硫黄山南斜面すなわち北千里浜側で活発な時期があったことが指摘されている(松本・他, 1998)。硫黄山の北千里浜側斜面一帯も強変質を被っており、地形的にも円弧状の地形が認められることから、この粘土質火砕物の供給源としてこの硫黄山南斜面を想定することは妥当と思われる。

6. ま と め

1) 九重火山における水蒸気噴火の発生履歴を解明するために山頂近傍域を対象とした地質調査を行った。

2) 水蒸気噴火により放出されたと思われる粘土質火山灰は、Kj-Ta (4.6~4.7 cal kBP) より上位では把握されたが、その下位の Kj-A2 との間では認められなかった。

3) 地質調査において確認できた粘土質火山灰については、その層相・構成物が類似していることから、近接した露頭間で層序関係を確認すると共に、¹⁴C 年代の類似性によりユニット対比を行った。既に報告されていた 2 層を含め、地層として確認された水蒸気噴火堆積物は 6 層準で、それらを九重水蒸気噴火堆積物群と総称する。それらの水蒸気噴火の噴火間隔は 500±200 年程度である。

4) 最も規模が大きい水蒸気噴火は Kj-ph6 で、その噴火年代は 3.6~3.7 cal kBP、噴出量は $6.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ と推定される。

5) 5~6 世紀には北千里浜や坊ガツルの低地に約 $1 \times 10^5 \text{ m}^3$ の粘土質変質火砕物をもたらす何らかの地質現象(例えば地熱変質を被った山体斜面の表層崩壊など)が、北千里浜周辺で発生したと推測される。

6) 堆積物として確認される最新の水蒸気噴火は 13~14 世紀 (cal AD 1283~1324 あるいは 1345~1393) に発生したと思われる。

7) マグマ噴火と水蒸気噴火の関連で見ると、九重火山では、マグマ噴火の活動域が 1.5 万年前以降九重火山東部に遷移した後、4 cal kBP 以降から現在までに九重火山中央部において地熱・噴気活動が地表部においても顕在化し、その活動が現在も継続している。

8) 古記録に残されている江戸時代の水蒸気噴火に相当する地熱地域からの火山灰放出現象や 1995~96 年の噴出物は、現在ではほとんど地層として保存されていない。このことから、堆積物として残されない程度の地熱地域の爆発現象は、上記 3) で示したのものよりも高頻度で発生している可能性が考えられる。

謝 辞

1996 年の科学技術庁(当時)緊急調査において、九重火山山頂部での現地調査は応用地質株式会社(担当責任者:小野晃司氏)によってなされた。本研究の発端となった地質調査所(当時)の緊急調査を組織した須藤茂氏(環境地質部火山地質課長;当時)、冬期の過酷な状況で高地での現地調査を実施された小野晃司氏(故人)をはじめとする応用地質(株)の技術者の方々に敬意を表す。現地調査においては、5 万分の 1 地質図幅「宮原」の執筆者である鎌田浩毅氏に種々のご教示いただいたほか、環境省阿蘇くじゅう国立公園管理事務所にはお世話になった。このほか、本論の編集をされた奥野 充氏、査読をして頂いた大場 司氏、長谷川 健氏、工藤 崇氏のコメントは本論を改善するにあたり大変有効であった。以上に対し、記して感謝申し上げます。

引用文献

- 波多江憲治・渡辺公一郎・渡辺一徳・筒井智樹・本村慶信 (1997) 九重火山 1995-96 年噴火活動に伴う火山灰中の発泡ガラス含有量の経時変化。火山, **42**, 345-353.
- Hayakawa, Y. (1985) Pyroclastic geology of Towada volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **60**, 507-592.
- 星住英夫・川辺禎久・鎌田浩毅・斎藤英二 (1996) 九重火山 1995 年 10 月の噴火とその堆積物。地質ニュース, no. 498, 33-35.
- 井村隆介・鎌田浩毅 (1996) 九重火山の歴史時代の活動の再検討。地学雑, **105**, 208-214.
- 伊藤順一・川辺禎久・星住英夫・須藤 茂・鎌田浩毅 (1996) 九重火山山頂部で発生した小規模噴火の活動履歴。火山噴火予知連絡会報, no. 66, 102-103.
- 科学技術庁研究開発局編 (1997) 平成 7 年九重山噴火に関する緊急研究成果報告書。科学技術庁, 130p.
- 鎌田浩毅 (1997) 宮原地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅)。地質調査所, 127p.
- Kamata, H. and Kobayashi, T. (1997) The eruptive rate and history of Kuju volcano in Japan during the past 15,000 years. *J. Volcanol. Geothermal. Res.*, **76**, 163-171.
- 川辺禎久・星住英夫・伊藤順一・山崎誠子(印刷中) 九重火山地質図。火山地質図 no. 19。産総研地質調査総合センター。
- 松本徂夫・武石干雄・佐藤真一・佐藤三千代・甲斐素純 (1998) 九重の自然と歴史。葦書房, 368p.
- 三宅康幸・小坂丈予 (1998) 長野県安曇村中ノ湯における 1995 年 2 月 11 日の水蒸気爆発。火山, **43**, 113-121.
- 長岡信治・奥野 充 (2014) 九重火山のテフラ層序。月刊地球, **36**, 281-296.
- 中田節也・渡辺一徳・渡辺公一郎・本村慶信・檀原 徹 (1996) 九重火山, 1995 年 10 月-1996 年 1 月噴火: 地質と岩石。文科省科研費 (no. 07300017) 突発災害調査研究成果(代表:小林芳正) 1995 年 10 月九重火山の水蒸気爆発の発生機構と火山活動推移の調査・研究, 33-39.
- 奥野 充 (2002) 水蒸気噴火の噴火史研究。金沢大学文学部地理学報告, no. 10, 29-36.

- 奥野 充 (2011) 地質調査による高分解能なテフラ層序学・年代学の構築. 地質雑, **117**, 654-662.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk R. C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafliadason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M., and van der Plicht. J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869-1887.
- Stuiver, M. and Reimer, P. J. (1986) A computer program for radiocarbon age calibration. *Radiocarbon*, **28**, 1022-1030.
- Stuiver, M., Reimer, P. J. and Reimer, P. (2014) CALIB Radiocarbon Calibration Program ver. 7.0.1., be download to May 2014, from <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- 東京大学地震研究所・熊本大学教育学部・合同観測班地質・岩石グループ (1995) 九重火山, 1995年10月噴火についての地質観察. 火山噴火予知連絡会会報. no. 63, 45-47.
- 塚本 齊・遠藤秀典・高橋正明・伊藤順一 (1998) 1997年澄川地すべりにおける地すべり・水蒸気爆発・土砂流出の発生プロセスとそのメカニズム. 地すべり, **35**, 54-61.
- 渡辺一徳・星住英夫・池辺伸一郎 (1992) 雲仙普賢岳 1990年11月～1991年5月の噴火活動: 噴火開始から溶岩出現まで. 熊本大教育紀要, 自然科学, no. 41, 47-60.
(編集担当 奥野 充)