

九州北東部，伽藍岳における最近約 2200 年間の水蒸気噴火

Phreatic Eruptions during the Past 2200 Years of Garandake Volcano in Northeastern Kyushu, SW Japan

筒井 正明¹⁾ 奥野 充²⁾
藤沢 康弘³⁾ 小林 哲夫⁴⁾

Masaaki TSUTSUI¹⁾,
Mitsuru OKUNO²⁾,
Yasuhiro FUJISAWA³⁾ and
Tetsuo KOBAYASHI⁴⁾

令和元年 5 月 31 日受理

Received May 31, 2019

1) (株) ダイヤコンサルタント

Disaster Prevention and Maintenance Division, Kanto Branch, DIA Consultant Co., Ltd., 2-272-3 Yoshinocho, Kita-ku, Saitama 331-0811, Japan

2) 福岡大学理学部地球圏科学科 (地球科学分野)

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

3) 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター

Sabo and Landslide Technical Center, 2-7-5 Hirakawacho, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0093, Japan

4) 鹿児島大学地震火山地域防災センター

Research and Education Center for Natural Hazards, Kagoshima University, 1-21-40 Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan

Corresponding author: M. Okuno,

okuno@fukuoka-u.ac.jp

Abstract

At least eight phreatic eruptions have occurred in the past 2200 years at Garandake volcano, northeastern Kyushu, SW Japan. The eruptions occurred much more frequently than previously known. The eruption ages of tephra are: T-Ga2, ca. 7th century, T-Ga1, ca. 9th century, and Tephra 1-3, approximately during 15th to 16th centuries. These tephras were mainly erupted from the sector collapse crater on the southern edifice of Garandake around Tsukahara hot spring, but the T-Ga1 tephra was erupted not only from the Tsukahara vent but also from the alignment of small craters or fissure vents which extend to the northeastern slope of the adjacent volcano. Associated with the T-Ga1 eruption, muddy lahar was generated along the Tsukahara hot spring valley.

Phreatic eruptions do not always occur in the preexisting craters, but may occur in newly opened vents on the slopes of the same volcano and adjacent areas. Thus, it is important that field surveys are undertaken over a wide area (i.e. the volcano and surrounding vicinity) to prevent missing out of the eruptions. It is also essential to conduct dating of tephra to establish the frequency and scale of the eruption with high accuracy.

Keywords: Garandake volcano, phreatic eruptions, AMS radiocarbon dating

1. はじめに

九州北東部に位置する伽藍岳 (Fig. 1) は、別府—島原地溝 (松本, 1979) の中に形成された活火山である「鶴見岳・伽藍岳」(気象庁, 2019) の北端部を構成している。この周辺には、別府—万年山断層帯 (松田, 1990) など多くの東西系の断層が分布している (小林, 1984)。伽藍岳は溶岩ドームの形態を示し、崩壊地形と推定される南側に開いた円弧状地形 (星住ほか, 1999) がある。現在、その中の塚原温泉周辺で噴気、温泉活動及び泥火山 (大沢ほか, 1996) が確認できるが、その他の火山活動は知られていない。一方、噴出物としては、伽藍岳溶岩流として一括された溶岩と、上位から伽藍岳 1 火山灰、伽藍岳 2 火山灰及び伽藍岳 3 火山灰 (T-Ga1, T-Ga2 及び T-Ga3) の 3 層の降下テフラが知られている (藤沢ほか, 2002) が、テフラを確認できる露頭が限定的であり、詳細な検討はなされ

ていない。

一般に水蒸気噴火は、マグマ噴火同様、必ずしも既存の火口を利用するとは限らず、活動が活発な場所ではなかった山体斜面や山麓で生じることがある (及川ほか, 2018)。最近では、草津白根山 2018 年噴火 (草津白根山降灰合同調査班, 2018) や御嶽山 2014 年噴火 (Oikawa *et al.*, 2016) がその事例である。したがって、過去の噴火堆積物を調査する際に、着目している地域から離れているという理由で調査が及ばず、見落とされているテフラも意外に多いかもしれない。

筆者らは、鶴見岳・伽藍岳の噴火について再検討を進め、伽藍岳周辺には約 2.2 cal ka BP (奥野ほか, 1999; Yamada *et al.*, 2017) の由布岳火山灰層 (YA₁; 小林, 1984) 以降に、これまで知られていなかった、より多くの降下テフラが存在することが明らかになった。本報告では、伽藍岳における最近約 2200 年間の活動に関する新たな知見と、より広域で詳細な調査の重要性

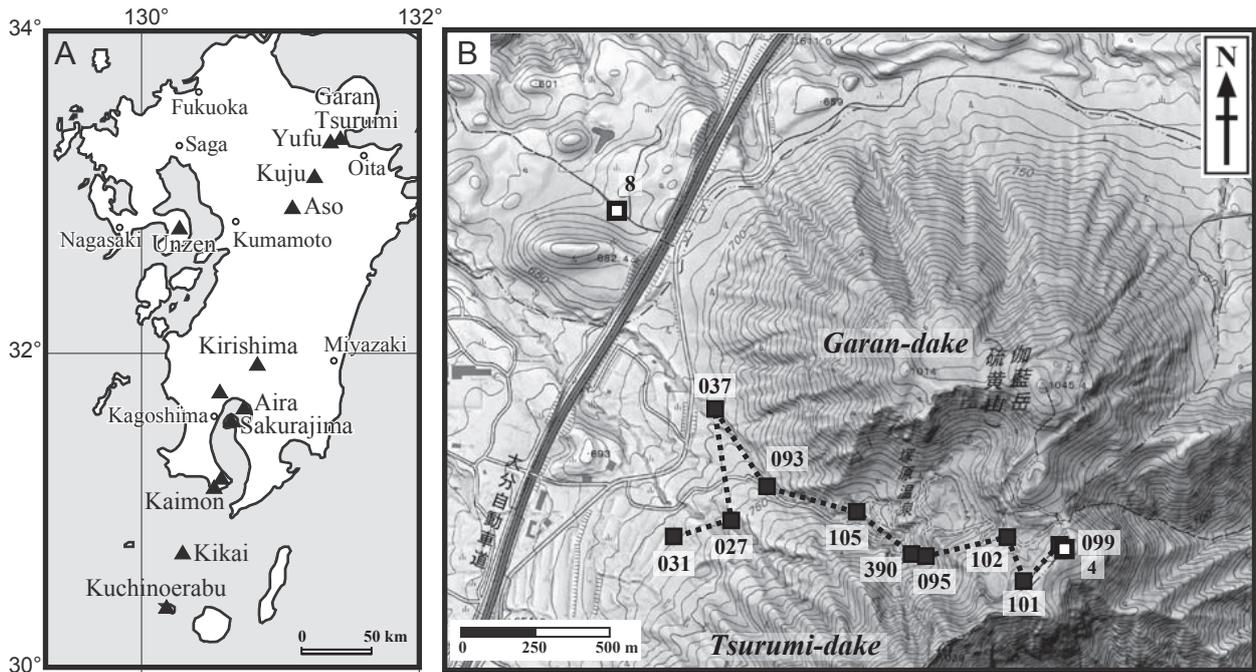


Fig. 1. Index maps. (A) Distribution of active volcanoes in and around Kyushu Island. (B) Location map of Garandake volcano. Closed and open squares show outcrop locations in this report and in Fujisawa *et al.* (2002), respectively. The topographic map “Beppu-seibu” in scale 1: 25,000 published from GSI (Geospatial Information Authority of Japan) was used as base map.

について報告する。

2. 降下テフラの記載

2. 1. T-Ga0

伽藍岳南側の標高 900 ~ 950 m の狭い範囲には、T-Ga1 及び T-Ga2 の上位に、白色で砂~粘土質火山灰層が分布する (Figs. 2, 3g, 3h, 4)。このテフラは、その色調と粒径の特徴から、T-Ga1 及び T-Ga2 をはじめとする他のテフラと容易に識別できる。したがって本報告では、伽藍岳 0 火山灰 (T-Ga0) と呼ぶ。T-Ga0 はその層相から水蒸気噴火によるテフラであり、分布の西側で層厚が急増する (Fig. 4)。また、構成する粒子は一般に砂~粘土サイズであるが、層厚同様に分布の北西側で含まれる類質岩片の粒径が増し、礫支持となる。これらのことから、T-Ga0 は、確認できる露頭が少ないものの、伽藍岳中央部にある塚原温泉周辺が給源であると判断される。

2. 2. T-Ga1

伽藍岳 1 火山灰 (T-Ga1) は、伽藍岳周辺において最も良く観察できる降下テフラである。藤沢ほか (2002) によって模式地として設定されている伽藍岳の南側の露頭 (Loc. 4 in Fig. 1) 周辺と、塚原温泉の北西~西~南西側を中心に、分布が確認できる (Fig.

4)。ただし、それらの中間に位置する塚原温泉周辺では、露岩・変質・人工改変地域が広がっているため、テフラの保存が悪く、分布状況は明確にできない。T-Ga1 は、淡黄色粘土質火山灰層で、場所によって礫サイズの類質岩片を含む。なお、T-Ga1 は模式地ではひとつの層として識別されるが、その周辺の伽藍岳南側と北東側では、腐植土を挟む 2 層に区分できる場合がある。この 2 層は層相が酷似しており、T-Ga1 上下の腐植土が明瞭であることと比較して、層間の腐植土は明瞭でない場合が多い。このため実際は、ある程度の腐植土が形成される程度に活動時期が離れた 2 回の噴火によるテフラであるが、条件の悪い露頭では両者の識別ができなかったものと判断した。したがって本報告では、上位のものを伽藍岳 1a 火山灰 (T-Ga1a)、下位のものを伽藍岳 1b 火山灰 (T-Ga1b) と呼ぶ。ただし、この 2 層が識別できる露頭は、露頭 Nos. 102 and 101 (Figs. 2, 3g, 3h) をはじめとする一部に限られ、他の地域ではひとつのテフラとして識別されるため、活動時期は異なるものの T-Ga1a 及び T-Ga1b を一括したものを、従来通り T-Ga1 と呼ぶ。

一方、伽藍岳やその周辺では、国土地理院の地形図だと不鮮明だが、植林が進む前の空中写真 (例えば、1939 (昭和 14) 年 12 月 5 日陸軍撮影など) や赤色立体地図 (データ提供: 大分県, 作成: アジア航測 (株)) において、東-西~北東-南西走向の凹地やリニアメ

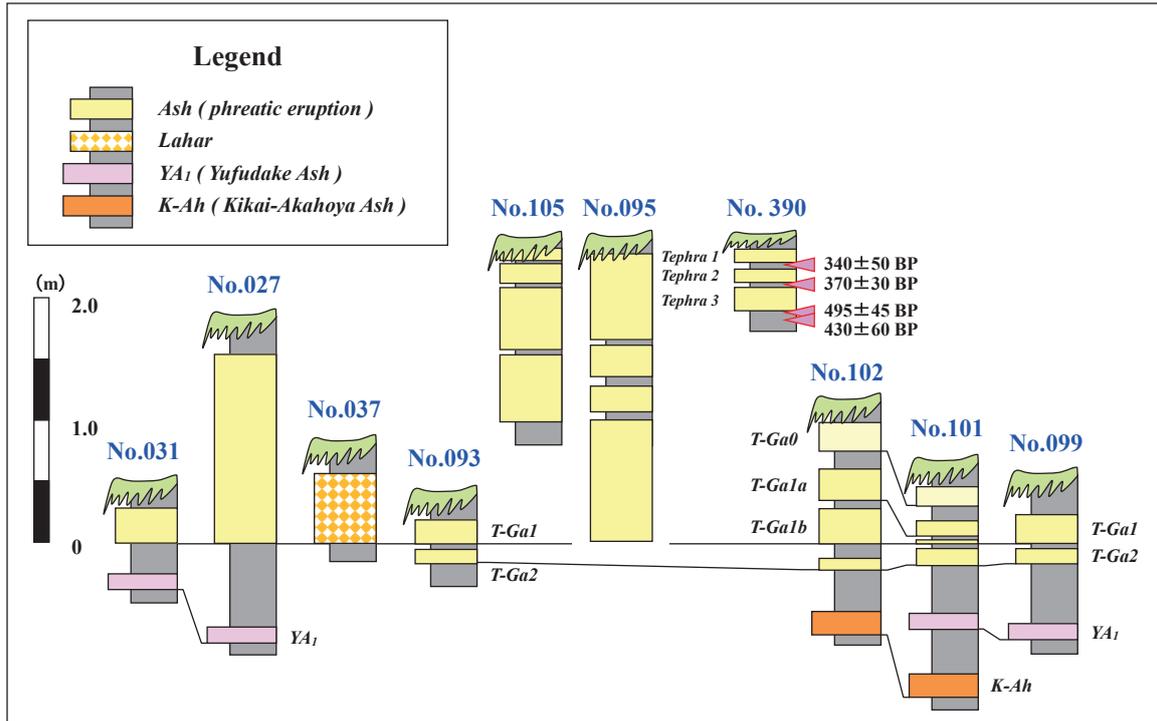


Fig. 2. Columnar sections of tephra layers from Garandake volcano. Tephra 1 to 3: Youngest tephtras in Garandake (around 15th to 16th centuries), T-Ga0 to T-Ga2: Garandake 0 ash to Garandake 2 ash, YA₁: Yufudake ash, K-Ah: Kikai-Akahoya ash. Outcrop numbers correspond to Figs. 1 and 3.

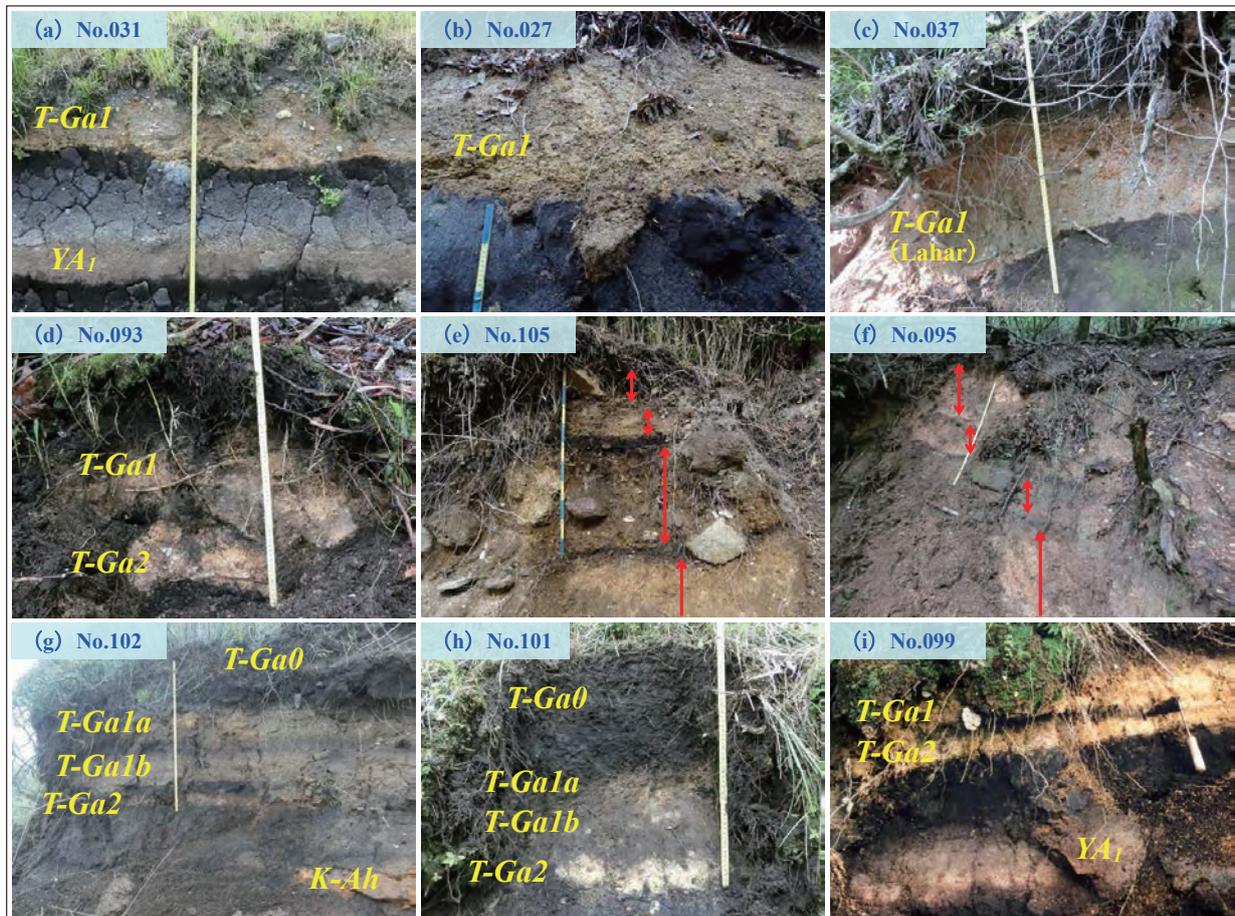


Fig. 3. Photographs showing typical tephra layers for the past 2200 years. Outcrop numbers correspond to Figs. 1 and 2.

ントが多数確認できる。このうち、塚原温泉南西側の鶴見岳山体斜面上に認められるものは、ごく小規模な火口や割れ目火口列と考えられる。この場所は現在、地震活動及び噴気活動もなく（福岡管区気象台地域火山監視・警報センター，2019），これまで全く注目されてこなかった。しかしながら、T-Ga1が、これらの火口方向に層厚や粒径を増し、最も西側にある最大規模の火口は、火口底直径約50 mの明瞭な火口地形を呈していることから、このテフラの主要な給源のひとつであることが明確となった。ただしT-Ga1は、伽藍岳の南側でも層厚が厚く、含まれる類質岩片の最大粒径も大きいことから、噴出地点は割れ目火口列である可能性がある。また、伽藍岳の南側から塚原温泉の東側は、現在廃鉱となっているが、一時期露天掘りで珪酸白土鉱床が採掘されていた（清島・原田，1967）。そのため、露岩・変質地域が広がっているととも、地形改変も進み明確には判断できないが、山頂部の陥没現象（小林，1984）ともされている伽藍岳山頂付近に確認できる北東-南西走向のリニアメントは、鶴見岳山体斜面上の火口や割れ目火口列と連続しているようにみえる。したがって、これらの凹地やリニアメントの南西端は明らかに噴火で形成されたものであるが、塚原温泉周辺あるいは北東側のものも噴火に関連している可能性がある。 ^{14}C 年代については、塚原温泉東側登山道沿いにあるT-Ga1b直下の腐植土から1160 ± 100 BPが得られている（藤沢ほか，2002）。

2.3. T-Ga2

伽藍岳2火山灰（T-Ga2）は、T-Ga1の下位に認められる淡黄色粘土質火山灰層で、その層相はT-Ga1と酷似している（Figs. 3d and 3i）が、T-Ga1と異なり層厚が薄く、伽藍岳の南側と西側に散在するのみで、連続的に確認できない（Fig. 5）。しかしながら、伽藍岳の南側に分布するT-Ga2（Loc. 4 in Fig. 1）と、西側に分布するT-Ga2（Loc. 8 in Fig. 1）の直下の腐植土の ^{14}C 年代値が、いずれも1410 ± 100 BP（藤沢ほか，2002）であることから、同じ噴火によるテフラと判断される。なお、詳細な露頭位置は不明であるが、星住ほか（1999）によって、T-Ga2に相当するテフラ直下の腐植土の ^{14}C 年代が測定され、1450 ± 50 BPが得られている。T-Ga2は、確認できる露頭が少ないものの、伽藍岳中央部にある塚原温泉周辺に向かって層厚を増し、含まれる類質岩片の粒径も大きくなるため、塚原温泉周辺がその給源だと判断される。

2.4. 塚原温泉近傍の降下テフラ

塚原温泉から概ね半径150 mのごく狭い範囲において、T-Ga0、T-Ga1及びT-Ga2と層位関係の不明な、

複数の降下テフラを確認した（Fig. 2）。いずれも淡黄色粘土質火山灰層で、層相が互いに酷似している。また、T-Ga1及びT-Ga2とも層相が酷似している（Figs. 3e, 3f）。この範囲は、前述したように露岩・変質・人工改変地域が広がっているため、テフラの保存も悪く、露頭間のテフラの対応関係を明確にするのが難しい。確認できる露頭は現時点で7地点のみだが、多くのテフラが確認できる露頭No.095（Fig. 3f）では、5～10 cm程度の厚さの腐植土を介して4層が重なり、全層厚は210 cm以上に達している。同様に、露頭No.105（Fig. 3e）では4層で全層厚138 cm、露頭No.390（Fig. 2）では3層で全層厚43 cmである。これらのテフラはいずれも、しばしば数～数十 cmの礫を多く含み、本報告では、上位からテフラ1、テフラ2及びテフラ3と呼ぶ。これらの給源は、層厚・粒径分布から、いずれも塚原温泉近傍の可能性が高い。

3. ラハール堆積物の記載

塚原温泉の西側山麓の溪流沿いには、T-Ga1と同層準のラハール堆積物が存在し、溪流部で厚く、地形的高所で急激に薄くなって分布していることが指摘されていた（藤沢ほか，2002）。このT-Ga1と同層準のラハール堆積物は、塚原温泉を流域に持つ溪流（以下、「塚原温泉沢」と呼ぶ）とその南側の溪流で発生、流域の標高700 m付近より下流側において北～北西に流下している。少なくとも標高600 m付近まで確認できる（Fig. 6）が、それより遠方（西側）では、塚原温泉沢の下刻が進んでいるため、分布の確認は困難となる。T-Ga1同様の淡黄色粘土質火山灰を基質とし、比較的円磨度の高い礫を含んでいる。含まれる礫はしばしば30 cmに達し、最大で直径約1 mのものも確認される。明瞭なユニットはほとんど確認できず塊状で、最大層厚は4 m以上である。ラハール堆積物はT-Ga1の層相と酷似するため、層厚が薄い場合や礫サイズの岩片を含まない場合には、T-Ga1との識別が困難な場合がある。しかしながら、ラハール堆積物はT-Ga1の分布域の外側にも確認できるものがある。T-Ga1には30 cm以上の礫を含む場合もあるがサグ構造が認められることがある（例えば、露頭No.027 in Fig. 3b）、といった特徴で区分できる場合がある。また、ラハール堆積物とT-Ga1は、一部で分布が重なっているが、ラハール堆積物の直下や直上に明瞭なT-Ga1を確認することはできない。分布が重なる地域において、T-Ga1の層厚は10 cm程度以下と薄いことから推測すると、恐らくT-Ga1堆積後にラハールが発生し、そのラハールによってT-Ga1が侵食され、T-Ga1が確認できなくなったのであろう。なお、ラハール堆積物は、伽藍

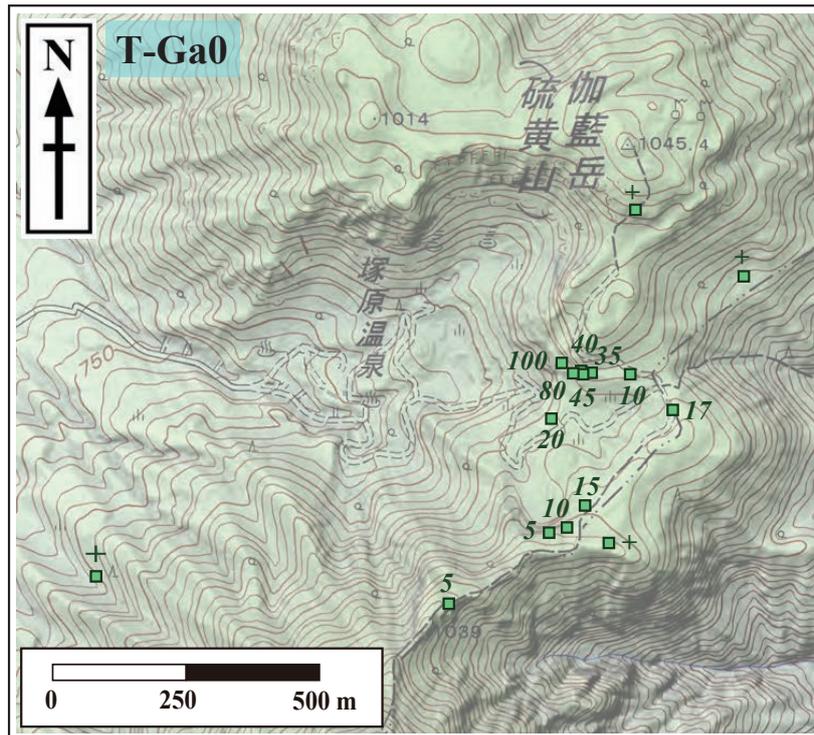


Fig. 4. Thickness of the Garandake 0 ash at each location. Values are in centimeter (cm). The topographic map “Beppu-seibu” in scale 1: 25,000 published from GSI was used as base map.

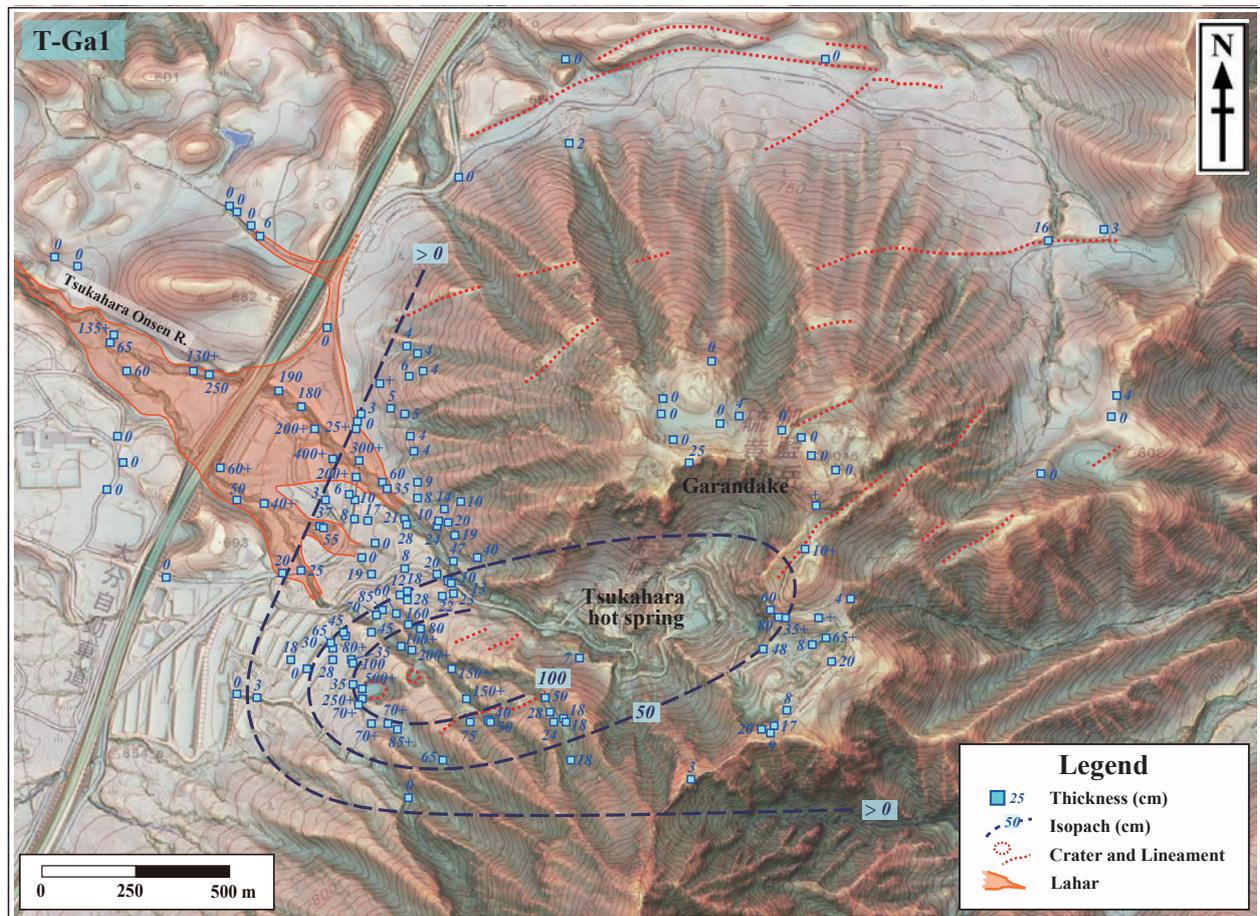


Fig. 5. Isopach map of the Garandake 1 ash. Values are in cm. The Red Relief Image Map is created by Asia Air Survey Co. Ltd. (courtesy of Oita Prefectural Government).

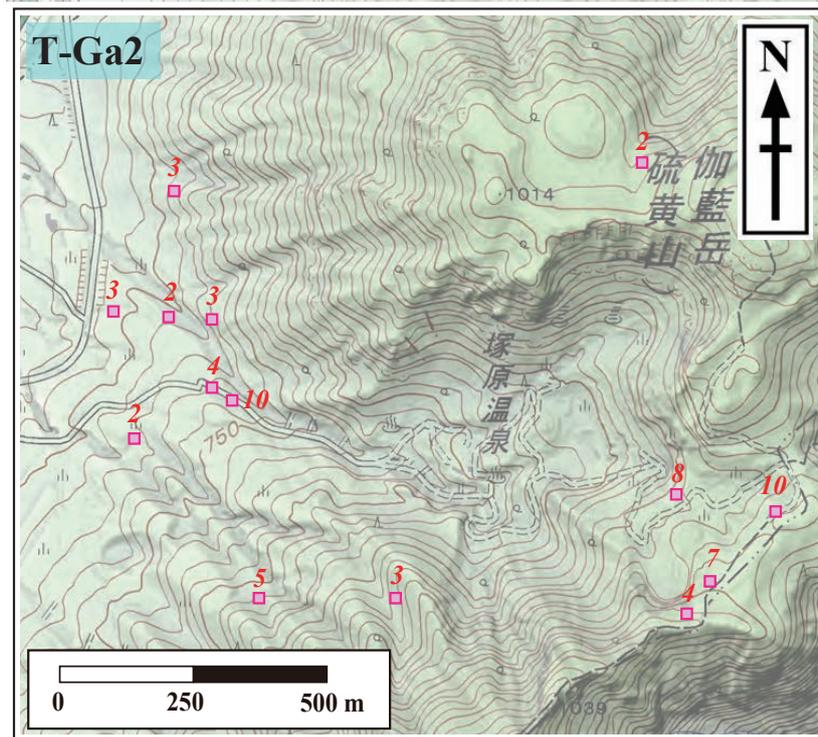


Fig. 6. Thickness of the Garandake 2 ash at each location. Values are in cm. The topographic map “Beppu-seibu” in scale 1: 25,000 published from GSI was used as base map.

岳山体斜面にあるその他の溪流では全く確認されないことから、T-Ga1 が比較的厚く堆積した流域のみで発生したものと推定される。伽藍岳山体斜面にある溪流は、いずれの溪流も常時流水は確認できないが、塚原温泉沢はそのなかで流域面積が最も広く、T-Ga1 の層厚に加え、降灰後の降雨による流量が大きく影響した可能性がある。¹⁴C年代については、塚原温泉西側山麓に分布するラハール堆積物直下の腐植土から、1010 ± 100 BP (藤沢ほか, 2002) 及び 1210 ± 50 BP (星住ほか, 1999) が得られている。

4. 活動時期

藤沢ほか (2002) は、T-Ga1b 及び T-Ga2 の噴出年代について、前述した¹⁴C年代の結果に古文書の記述の解釈を加え、それぞれ西暦 867 年及び 711 年とした。この T-Ga1b 及び T-Ga2 の¹⁴C年代を IntCal 13 (Reimer et al., 2013) 及び Oxcal 4.3 (Bronk Ramsey, 2009) を用いて改めて暦年較正すると、T-Ga1b 直下の腐植土で cal AD 861, T-Ga2 直下の腐植土で cal AD 622 及び cal AD 603 の中央値が得られる (Table 1)。また、T-Ga1 と同層準のラハール堆積物直下の腐植土 (星住ほか, 1999; 藤沢ほか, 2002) は、cal AD 1026 及び cal AD 813 の中央値が得られる。これらの結果から、本報告では、古文書の解釈は未検討であるが、T-Ga1b 及び

T-Ga2 の噴出年代を、それぞれ 9 世紀及び 7 世紀と考える。

今回、塚原温泉近傍の露頭 No.390 における 3 層の各テフラの下位に産出する炭化木片の¹⁴C年代を測定した。テフラ 1 直下で 340 ± 50 BP, テフラ 2 直下で 370 ± 30 BP, テフラ 3 直下及び 3 cm 下で 495 ± 45 BP 及び 430 ± 60 BP である。また、得られた年代値を前述した手法で暦年較正すると、その中央値は、それぞれ、テフラ 1 直下が cal AD 1555, テフラ 2 直下が cal AD 1515, テフラ 3 の直下及び 3 cm 下が cal AD 1424 及び cal AD 1478 となる。本報告では、これらの 3 層の年代を、一括して 15 ~ 16 世紀の噴火と考える。

これらのことから、塚原温泉近傍のごく狭い範囲でのみ確認できるテフラ 1 ~ 3 の 3 層の粘土質火山灰は、直接的な層位関係は不明だが、T-Ga1b 及び T-Ga2 より新しい時代の 3 回の水蒸気噴火による堆積物であると判断できる。ただし、年代測定を実施した露頭 (No.390) のすぐ近傍 (露頭 No.95 及び No.105) では、水蒸気噴火によるテフラが明瞭な腐植土を挟んで 4 層累重している。また、T-Ga0 及び T-Ga1a が T-Ga1b 及び T-Ga2 の上位に認められるが、これらの降下テフラとの詳細な関係は不明である。

Table 1 Radiocarbon dates for tephra layers of Garandake volcano.

Locality	Stratigraphic position	Material	Labo. ID	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	^{14}C age (BP)	Calibrated date (cal AD) (probability in 2σ)	Median Probability (cal AD)	Remarks
390	Just below Tephra 1	Charcoal	JAT-8271	-20.7	340 ± 50	1453 - 1645 (95.4%)	1555	This study
390	Just below Tephra 2	Charcoal	JAT-8301	-14.4	370 ± 30	1447 - 1528 (55.0%) 1553 - 1634 (40.4%)	1515	This study
390	Just below Tephra 3	Charcoal	JAT-8272	-22.0	495 ± 45	1316 - 1355 (11.4%) 1388 - 1471 (84.0%)	1424	This study
390	3cm below Tephra 3	Charcoal	JAT-8273	-28.6	430 ± 60	1406 - 1531 (68.5%) 1539 - 1635 (26.9%)	1478	This study
4 (099)	Just below T-Ga1b	Humic soil	NUTA-6906	-12.2	1160 ± 100	661 - 1031 (95.4%)	861	Fujisawa <i>et al.</i> (2002)
8	Just below T-Ga1 (Lahar)	Humic soil	NUTA-6909	-20.8	1010 ± 100	776 - 1220 (95.4%)	1026	Fujisawa <i>et al.</i> (2002)
-	Just below T-Ga1 (Lahar)	Humic soil	-	-	1210 ± 50	679 - 901 (90.4%) 921 - 952 (5.0%)	813	Hoshizumi <i>et al.</i> (1999)
4 (099)	Just below T-Ga2	Humic soil	NUTA-6771	-15.5	1410 ± 100	413 - 778 (92.3%) 791 - 827 (1.8%) 840 - 863 (1.2%)	622	Fujisawa <i>et al.</i> (2002)
8	Just below T-Ga2	Humic soil	NUTA-6772	-20.7	1410 ± 100	413 - 778 (92.3%) 791 - 827 (1.8%) 840 - 863 (1.2%)	622	Fujisawa <i>et al.</i> (2002)
-	Just below T-Ga2	Humic soil	-	-	1450 ± 50	435 - 451 (1.6%) 471 - 487 (1.8%) 534 - 666 (92.0%)	603	Hoshizumi <i>et al.</i> (1999)

Figs. 1 and 2 show the locality and abbreviation of tephtras, respectively.

5. まとめと今後の課題

伽藍岳では、藤沢ほか（2002）によって最近約 2200 年間に於いて 2 回の水蒸気噴火が発生したことが知られていたが、これらは実際には 3 回の水蒸気噴火によるものである。また、これらの 3 回の水蒸気噴火以降に、少なくとも 5 回の噴火が発生している。いずれも塚原温泉周辺が給源であると推定され、これまで知られていた以上の頻度で水蒸気噴火が発生していることが明らかとなった。年代については、T-Ga1a や T-Ga0 のように不明なものもあるが、最も古い T-Ga2（7 世紀頃）及び T-Ga1b（9 世紀頃）に続き、少なくとも 15～16 世紀頃に 3 回の噴火（テフラ 1～3）が発生している。また T-Ga1 は、従来想定されていた塚原温泉だけでなく、南西側に隣接する鶴見岳山体斜面上に小規模な火口や割れ目火口列が形成され、同時に噴火が生じることで形成された。加えて、この噴火に伴って、降下テフラが比較的厚く堆積したと思われる塚原温泉沢とその南側の溪流ではラハールが発生した。

一方、伽藍岳周辺では、未解決の問題も多い。Fig. 5 の範囲外である伽藍岳の西約 2.7 km にある明礬温泉付近の Loc. 10（藤沢ほか，2002）において水蒸気噴火の堆積物が確認され、T-Ga1 もしくは T-Ga2 に対比する可能性が指摘されていた（藤沢ほか，2002）。し

かしながら、詳細は後に譲るものの、明礬温泉付近でも水蒸気噴火に伴う降下テフラが複数確認でき、いずれもその層相、層厚及び類質岩片の粒径から、伽藍岳ではなく明礬温泉周辺を起源とする可能性が高い。また、伽藍岳の北側斜面には東－西走向のリニアメントが多数確認され、例えば Fig. 5 に示す最も北東のものは南落ちの正断層状で、山麓の堆積面を少なくとも比高 10 m 程度変位させている。これらの変動地形が噴火に関連したものかどうかは、現時点では不明である。いずれも、今後詳細な検討が必要であろう。水蒸気噴火は、マグマ噴火と比較し噴火規模が小さく、一般に堆積物として保存されにくい。そのため、草津白根山 2018 年噴火のように、従前の活動から想定されている地域から離れた場所で噴火が生じている場合には、調査が実施されずに、噴火現象そのものが見落とされてしまっている事例もあるだろう。鶴見岳・伽藍岳についても、今後さらに検討を進める予定であるが、水蒸気噴火によるテフラは、層相が互いに似ていることが多いため、より広域に及ぶ詳細な調査を進めるとともに、地形特性を把握することができる地形図の判読や、年代測定を実施することが、噴火の見逃しを防止し、噴火頻度やその規模を高精度で推定する上で最も有効だと考える。

謝 辞

伽藍岳周辺の赤色立体地図については、アジア航測(株)の千葉達朗氏に作成して頂き、大分県より提供頂いた。東濃地科学センターのAMSによる¹⁴C年代測定は、(独)日本原子力研究開発機構の「施設供用制度」を利用した。福岡大学研究推進部・推奨研究プロジェクト「斜面崩壊とその災害に関するアーカイブの構築に関する複合研究」(課題番号:167002, 研究代表者:奥野 充)を使用した。また、西日本技術開発(株)の稲倉寛仁氏には、素稿を読んで内容について有益なコメントを頂き、本報告の内容が改善された。Christchurch City CouncilのHannah Terbio博士には英文校閲をしていただいた。以上、記して御礼申し上げます。

引用文献

- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, **51**, 337-360.
- 藤沢康弘・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫 (2002) 九州北東部、鶴見火山の最近3万年間の噴火活動. *地質雑*, **108**, 48-58.
- 福岡管区気象台地域火山監視・警報センター (2019) 平成30年(2018年)の鶴見岳・伽藍岳の火山活動. 10p.
- 星住英夫・伊藤順一・川辺禎久 (1999) 由布-鶴見火山群北部、伽藍岳火山の水蒸気爆発堆積物. 日本火山学会1999年秋季大会講演要旨集, 106.
- 気象庁 (2019) 81 鶴見岳・伽藍岳. 日本活火山総覧(第4版) Web掲載版 (2019年5月30日閲覧), 1151-1162.
- 草津白根山降灰合同調査班 (石崎泰男・石塚吉浩・金子隆之・亀谷伸子・神田 径・小森次郎・宝田晋治・寺田暁彦・長井雅史・野上健治・平林順一・藤田英輔・古川竜太・本多 亮・前野 深・吉本充宏) (2018) 草津白根火山2018年1月23日噴火による降灰分布. *火山噴火予知連絡会会報*, no. 129, 87-91.

- 清島信之・原田種成 (1967) 大分県別府白土地帯の放射能強度分布調査報告. *地調月報*, **18**, 629-632.
- 小林哲夫 (1984) 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動. *地質学論集*, no. 24, 93-107.
- 松田時彦 (1990) 最大地震規模による日本列島の地震分帯図. *東大震研彙報*, **65**, 289-319.
- 松本徭夫 (1979) 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. *地質学論集*, **16**, 127-139.
- Oikawa, T., Yoshimoto, M., Nakada, S., Maeno, F., Komori, J., Shimano, T., Takeshita, Y., Ishizuka, Y. and Ishimine, Y. (2016) Reconstruction of the 2014 eruption sequence of Ontake Volcano from recorded images and interviews. *Earth Planet. Space*, **68**, doi: 10.1186/s40623-016-0458-5.
- 及川輝樹・大場 司・藤縄明彦・佐々木 寿 (2018) 水蒸気噴火の地質学的研究. *地質雑*, **124**, 231-250.
- 奥野 充・藤沢康弘・田島 (草薙) 恵・宇井忠英・中村俊夫・小林哲夫 (1999) 由布岳火山、池代および野々草火砕流堆積物中の炭化木片の加速器¹⁴C年代. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書(X), 199-203.
- 大沢信二・大上和敏・由佐悠紀 (1996) 1995年伽藍岳塚原鉞山跡に出現した泥火山. *火山*, **41**, 103-106.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., 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., van der Plicht, J. (2013) IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **55**, 1869-1887.
- Yamada, K., Takemura, K., Kuwae, M., Yamamoto, M. and Danhara, T. (2017) Revised ages of late Holocene tephra in Beppu Bay, central Kyushu, southwest Japan. *Quat. Intern.*, **452**, 33-42.

（要 旨）

筒井正明・奥野 充・藤沢康弘・小林哲夫，2019，九州北東部，伽藍岳における最近約 2200 年間の水蒸気噴火．福岡大学理学集報，49, 89-97. (Tsutsui, M., Okuno, M., Fujisawa, Y., Kobayashi, T. (2019) Phreatic eruptions during the past 2200 years of Garandake Volcano in Northeastern Kyushu, SW Japan. *Fukuoka Univ. Sci. Rep.*, **49**, 89-97.)

伽藍岳では，最近約 2200 年間に於いて少なくとも 8 回の水蒸気噴火が発生している．いずれも塚原温泉周辺が給源であると推定され，これまで知られていたよりも高頻度であったことがわかった．最も古い T-Ga2（7 世紀頃）及び T-Ga1b（9 世紀頃）の他に 15～16 世紀頃に 3 回の水蒸気噴火（テフラ 1～3）が発生している．また T-Ga1 は，塚原温泉だけでなく，南西側に隣接する鶴見岳山体斜面上に小規模な火口や割れ目火口列が同時に形成された．さらにこの噴火に伴って降下テフラが比較的厚く堆積したと思われる塚原温泉沢とその南側の溪流でラハールが発生している．水蒸気噴火は，必ずしも既知の火口を利用するとは限らず，活動が活発でない山体斜面や山麓で生じることがある．より広域に詳細な調査を進め，地形特性を把握できる地形図の判読や年代測定を実施して噴火の見逃しを防止し，噴火頻度やその規模を高精度で推定する必要がある．