

霧島・御鉢火山の噴火史

筒井正明*・奥野 充**・小林哲夫***

(2006年4月25日受付, 2006年12月6日受理)

Eruptive History of Ohachi Volcano, Kirishima Volcano Group, Southern Kyushu, Japan

Masaaki TSUTSUI*, Mitsuru OKUNO** and Tetsuo KOBAYASHI***

The Kirishima Volcano Group is composed of many Quaternary volcanoes occupying an area about 600 km². Ohachi Volcano is a small, active stratovolcano situated at the southeastern part of the Kirishima Volcano Group. It has a considerably large crater compared to the size of its volcanic edifice, with thick agglutinates that crop out on the wall of the crater.

We studied the eruptive history of Ohachi Volcano by tephrochronological method, and recognized 15 tephra deposits around the volcano. Geological and archeological data and documentary records of eruption indicate that the oldest tephra from the Ohachi Volcano is the Araso tephra (AsT) erupted in ca. AD 700. All other tephra deposits were erupted in historic time such as Katazoe tephra (KzT) in AD 788, Miyasugi tephra (MsT) in ca. AD 1000, Takaharu tephra (ThT) in AD 1235, and Takachihogawara tephra 1-11 (TgT-1 to TgT-11) in the period of AD 1250-1700. Thus, the Ohachi is a very young volcano at 1300 years old.

We recognized two types of magmatic eruption: sub-plinian and vulcanian. Lava emission took place at least four times in association with sub-plinian eruptions. Among these eruptions, ThT is the most voluminous, and a pyroclastic flow was also generated. The total volume of erupted magma (volcanic edifice included) was calculated to be about $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ (DRE). Eruption rate was not constant throughout the eruptive history of Ohachi volcano, that is, the eruptive history is conveniently divided into three stages by the eruption rate: the early stage from AD 700 to 1235 (ca. 540 years), the middle stage from AD 1236 to 1717 (480 years), and the late stage from AD 1718 up to present (290 years). This indicates that more than 80% of the total amount of magma was produced in the early stage, while the remaining 20% of magma was erupted in the middle stage. Although there are many recorded eruptions during the late stage, it is difficult to find any tephra deposits around the Ohachi Volcano, which suggests that the scale of volcanic eruption is progressively diminishing through time.

The volcanic edifice of Ohachi is composed mainly of succession of thick tephra layers, some of them changed to agglutinates. Correlation of the proximal deposits to the distal tephra suggests that the volcanic edifice had grown mainly during the two eruptive stages of KzT and ThT, which are comparatively large-scale sub-plinian eruptions (order of 10^7 m^3 to 10^6 m^3). Hence, the most important process in generating agglutinates is rapid accumulation of voluminous tephra around the crater which are generated during sub-plinian eruptions.

Key words: Ohachi volcano, Kirishima volcano group, eruptive history, sub-plinian eruption, agglutinate

1. はじめに

御鉢 (標高 1,425 m) は、鹿児島・宮崎両県境に広がる

霧島火山群の南東部に位置し、高千穂複合火山 (井ノ上, 1988) の一部を構成する火山である。高千穂複合火山は、

* 〒331-8638 さいたま市北区吉野町 2-272-3
株式会社ダイヤコンサルタント 砂防・防災センター
DIA Consultant Co., Ltd., Sabo and Disaster Pre-
vention Center, 2-272-3 Yoshino-cho, Kita-ku, Saitama
331-8638, Japan.

** 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1
福岡大学理学部地球圏科学科
Department of Earth System Science, Faculty of Sci-
ence, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku,

Fukuoka 814-0180, Japan.

*** 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-35
鹿児島大学理学部地球環境科学科
Department of Earth and Environmental Sciences, Fac-
ulty of Science, Kagoshima University, 1-21-35 Kori-
moto, Kagoshima 890-0065, Japan.

Corresponding author: Masaaki Tsutsui
e-mail: m.tsutsui@diaconsult.co.jp

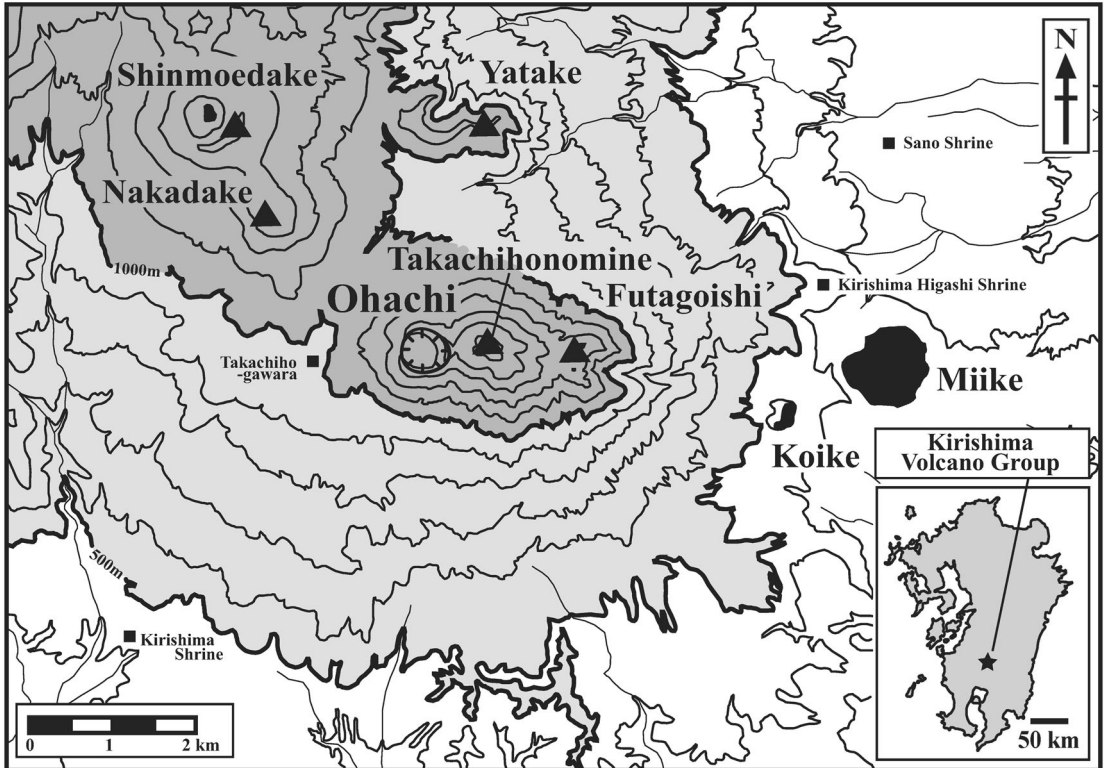


Fig. 1. Map showing the location and topography of the southern part of Kirishima volcano group. Contour interval is 100 meters.

東から西に二子石、高千穂峰（標高 1,574 m）及び御鉢が順に重なって形成され、東側山麓には御池マール及び小池マールが存在し、北西側には新燃岳及び中岳が隣接している (Fig. 1).

御鉢は、末期 (6.8 cal ka BP; 奥野, 2002) に皇子スコリア (井ノ上, 1988) を噴出した高千穂峰の西側斜面に生じ、直径約 500 m、深さ約 200 m の大きな火口を持つ。霧島の中で最も新しく活動を開始した火山のひとつで、8 世紀にまで溯る多数の噴火記録が残されている (大森, 1918)。また、西暦 1923 (大正 12) 年の噴火以降、現在もなお小規模ながら噴気活動を継続している活動的な火山である (筒井・他, 2005)。

霧島火山群全体の地質及び噴火史については、小田 (1922) や沢村・松井 (1957) 以降、多くの研究成果がある。また、御鉢のテフラに言及した研究としては、伊田 (1948)、宮地 (1965)、成瀬 (1966)、遠藤・小林ローム研究グループ (1969)、井ノ上 (1988)、Imura (1992) 及び Inoue (1993) などがあり、年代値についても、岡田 (1985) 以降、多数蓄積されてきた。このように御鉢山麓のテフラに関する研究は進展しつつあるが、御鉢のテフラの認

定は充分とはいえず、活動開始時期など、いまだ明確でないことも多い。

一方、御鉢の火口近傍は崖錐状の急斜面を持つ火砕丘であるが、標高 1,100~900 m 付近で傾斜がやや緩やかとなり、それより遠方では溶岩流が広く分布している。このため本論では、標高 1,100~900 m 以上の火砕丘の部分を山体、それ以下の部分を山麓と呼ぶ。また、火口壁は、露出が良く、その大部分は、赤色~黒色のスコリアや火山弾などのテフラから構成されている。色調や粒径の違いによる成層構造が顕著で、その一部は様々な程度に溶結したアグルチネートとなっている (小林, 1979; Kobayashi *et al.*, 1981; 小林, 1984; Kobayashi and Kagi-yama, 1988)。さらに、御鉢の山体斜面や高千穂峰との境界部に発達するガリーにおいても、山体の内部構造が観察できる。ただし、御鉢の山麓に分布するテフラと山体を構成するテフラとの具体的な対応関係については、これまで議論されておらず、いまだ解明されていない。

山麓と山体の噴出物の対比は、最も基礎的で重要な研究であるが、これまで実施された事例はほとんどない。このため、御鉢は小型の成層火山の形成過程を研究する

Table 1. Comparison of tephra layers with previous studies.

Inoue (1988)	Inoue (1993)	This study	
	Oh10	Takachihogawara tephra 11 (TgT-11)	
		Takachihogawara tephra 10 (TgT-10)	
		Takachihogawara tephra 9 (TgT-9)	
		Takachihogawara tephra 8 (TgT-8)	
		Takachihogawara tephra 7 (TgT-7)	
		Takachihogawara tephra 6 (TgT-6)	
		Takachihogawara tephra 5 (TgT-5)	
	Oh9	Takachihogawara tephra 4 (TgT-4)	
		Takachihogawara tephra 3 (TgT-3)	
		Takachihogawara tephra 2 (TgT-2)	
Ohachi afa	Oh8	Takachihogawara tephra 1 (TgT-1)	
Takaharu sfa		Oh7	Takaharu tephra (ThT)
Miyasugi afa	Oh6	Miyasugi scoria (MsS)	Miyasugi tephra (MsT)
		Miyasugi ash (MsA)	
Katazoe sfa	Oh5	Katazoe ash (KzA)	Katazoe tephra (KzT)
	Oh4	Katazoe scoria (KzS)	
	Oh3	Araso tephra (AsT)	
	Oh2		
	Oh1		

*) afa: ash fall deposit, sfa: scoria fall deposit.

ための貴重な研究対象となる。また、御鉢のアグルチネートは、火山体の上方への成長に大きく寄与していることが明らかであり、アグルチネートを形成する噴火様式を理解することは、山体形成の検討において重要な意義を持っている。

このため本論では、御鉢周辺の火山を含めた噴出物を再検討することで御鉢の噴火史を明確にし、御鉢の噴火様式の特徴、山麓と山体のテフラの対応関係から山体の形成史について考察する。

2. 山麓に分布する噴出物

御鉢の山麓に分布する噴出物について、降下テフラ、溶岩流と火砕流堆積物に区分して以下に記載する。

2-1 降下テフラ

本論では、山麓に分布する御鉢の降下テフラを15区分し、下位より荒襲テフラ層(AsT)、片添テフラ層(KzT)、宮杉テフラ層(MsT)、高原テフラ層(ThT)、高千穂河原テフラ層1~11(TgT-1~TgT-11)と呼ぶ。これら15層のテフラは、それぞれ腐植土や風化火山灰土によって挟まれることで区分される。Table 1に既往研究におけるテフラ区分との対応関係を示す。また、Fig. 2a 及び 2b に

御鉢のテフラの代表的な柱状図、Fig. 3に御鉢のテフラの模式柱状図を示す。

Inoue (1993) は、御鉢の南側山麓においてAsTの下位に2層の御鉢のテフラ(Oh1及びOh2)を記載している。しかしOh1及びOh2は、中岳近傍にも分布し、層厚と岩片の粒径が御鉢ではなく中岳方向に増大することから、中岳起源と判断した。中岳は鬼界アカホヤ火山灰(7,300 cal BP)以降、御鉢の誕生頃までの間に断続的な活動を行っていたと推定されている(Inoue, 1993)。今回、中岳のテフラ5層準6試料について¹⁴C年代測定を実施し、4,700-2,200 cal BPの年代値を得た。しかし、中岳の東側山麓には、これらの層準の上下位にも中岳起源の溶岩やテフラと組成や岩相が酷似し、中岳方向に追跡できることから中岳起源と考えられるテフラが存在している。このため、現時点では中岳の正確な活動開始及び終了年代については明確だとはいえない。このようなテフラの上位に、風化火山灰土を介してAsTが分布している。

また、TgT-11の上位には、隣接する新燃岳を起源とする新燃岳一草保軽石(Sm-KP、西暦1716~1717年の噴火; 井村・小林, 1991)が御鉢周辺に広く分布している(Figs. 2a, 2b)。さらに、Sm-KPの上位には、直径1mを越す火

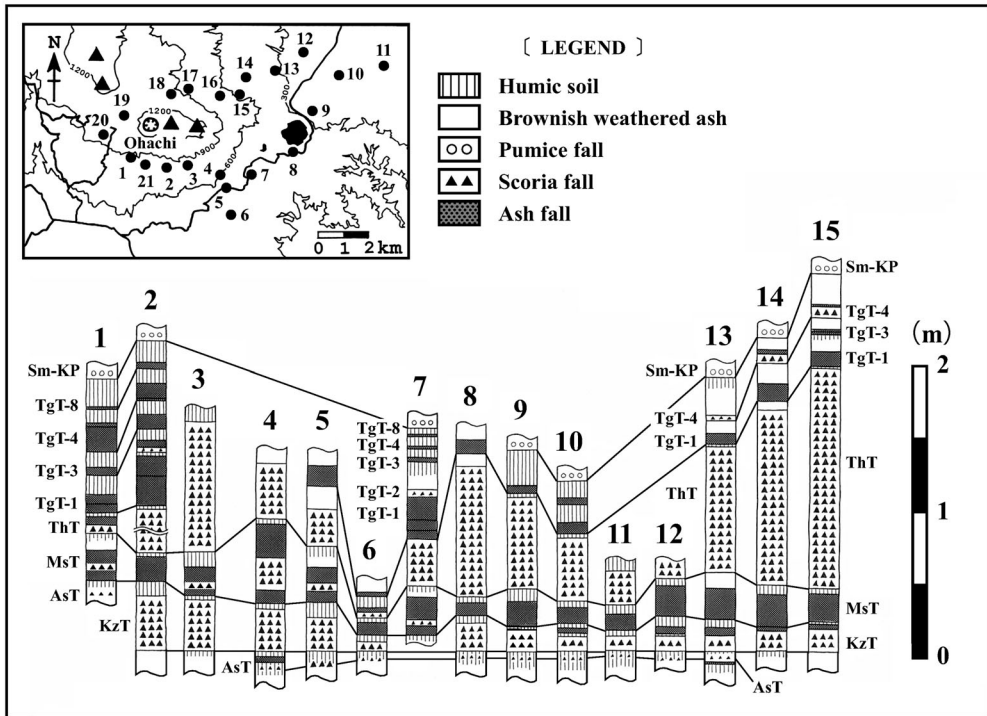


Fig. 2a. Stratigraphic columns showing the lateral correlations of representative tephra (Locality number 1-15). AsT: Araso tephra, KzT: Katazoe tephra, MsT: Miyasugi tephra, ThT: Takaharu tephra, TgT-1~TgT-11: Takachihogawara tephra 1-11, MiP: pumice of Miike and Sm-KP: Shinmoedake-Kyoho pumice (AD 1716-1717).

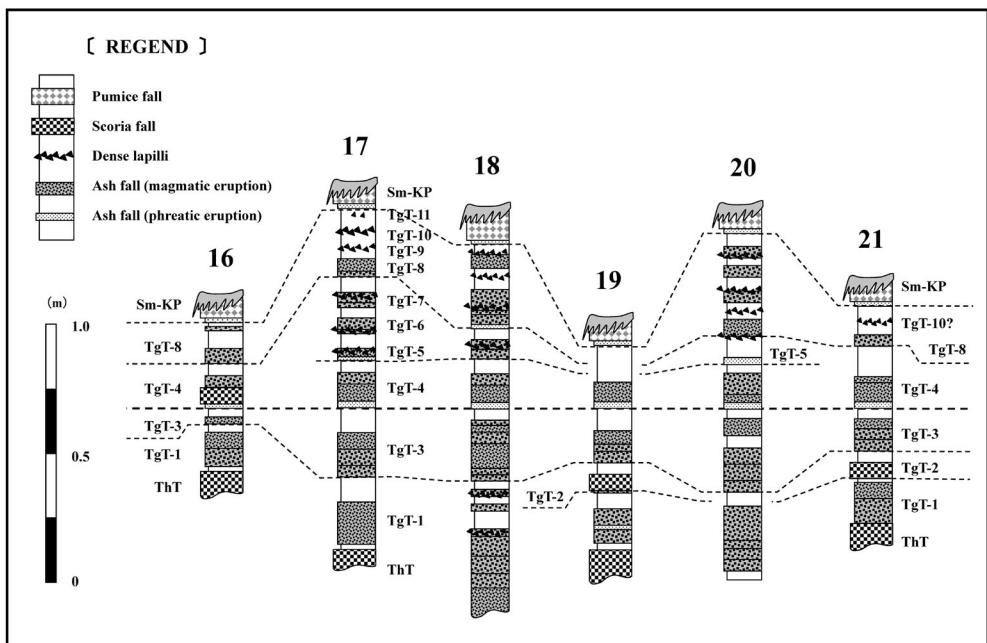


Fig. 2b. Stratigraphic columns showing the lateral correlations of representative tephra (Locality number 16-21). ThT: Takaharu tephra, TgT-1~TgT-11: Takachihogawara tephra 1-11, Sm-KP: Shinmoedake-Kyoho pumice (AD 1716-1717). Locality number are referred to Fig. 2a.

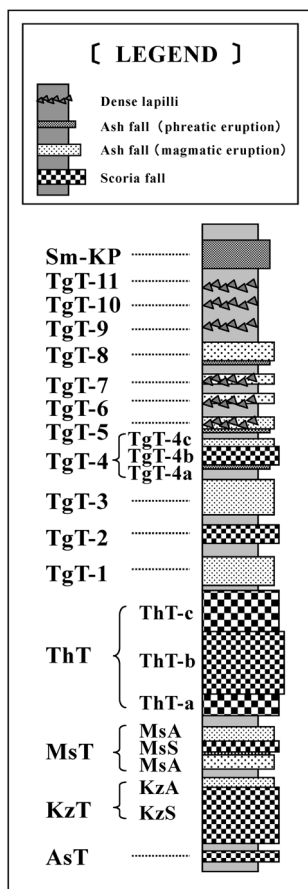


Fig. 3. Idealized columnar section of tephra layers from Ohachi volcano (not to scale).

山岩塊が点在している。これらの火山岩塊は明治～大正時代の御鉢の噴出物であるが、御鉢火口から2 km以遠では確認できない。これらのテフラについては、筒井・他 (2005) に示したことから、本論では詳述しない。

2-1-1 荒襲テフラ層 (AsT)

荒襲テフラ層 (AsT) は、御鉢の東～南方向を中心に広く分布するが、ほとんどの露頭で褐色風化火山灰土中に散在する程度で、等層厚線図を描けるほどの層厚はない。しかし、等粒径線図を描くと、給源は明らかに御鉢に求められる (Fig. 4)。御鉢南側山麓の林道に模式的に分布し、KzTの下位に2～5 cmの褐色風化火山灰を介して堆積している。Fig. 2aの地点1では、層厚約1 cmの褐色～レンガ色の発泡の良いスコリア層 (平均粒径0.5 cm, 最大粒径4.5 cm) で、その付近ではスコリアの上位に黒色の粗粒火山灰を伴うこともある。

AsTより下位には、岩相及び分布から明らかに御鉢起源と判断できるテフラは存在しない。このためAsTは、

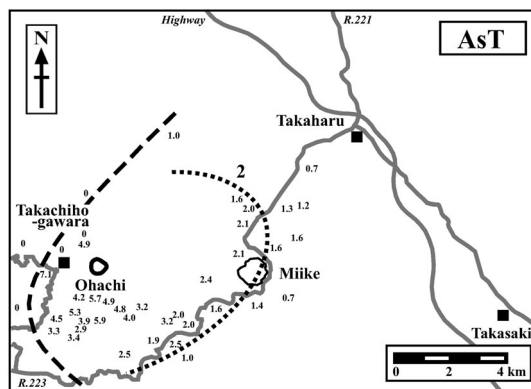


Fig. 4. Isopleth map of Araso tephra (AsT). Values in centimeters. Dashed lines indicate the limit of distribution of tephra, and dotted lines indicate the isopleth.

御鉢最初期のテフラと判断される。

2-1-2 片添テフラ層 (KzT)

片添テフラ層 (KzT) は、火口から東方向に分布軸を持つ下部のスコリア層 (KzS) と、火口から北東方向に分布軸を持つ上部の火山灰層 (KzA) からなる。ともに火口から北東～南東方向に広く分布する (Fig. 5)。

主体をなす下部のKzSは、Fig. 2aの地点5では層厚約19 cmで、粒径や色調の違いにより下位より黒色の粗粒火山灰～スコリア (平均粒径0.5 cm)、褐色スコリア (平均粒径0.5 cm)、最も粗粒な褐色～黒色スコリア層 (平均粒径1 cm) に3区分される。いずれも発泡が良く、どの降下ユニットも逆級化層理を示す。各ユニット間に時間間隙を示す証拠がなく、単一の噴火期に連続して発生した3回の噴火によって形成されたと考えられる。

上部のKzAは、Fig. 2aの地点10において、KzSの上位に、層厚約3 cmの火山灰層として認められる。KzAの下半部は火山灰サイズの赤色の発泡の良いスコリア微粒子が主体の細粒火山灰、上半部は青灰色～青黒色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰からなる。層厚は薄い、黒色腐植土中で特徴的なピンク色を呈し、識別は容易である。KzSとKzAの間には腐植土が存在することがあり、Inoue (1993) 及び早田 (1997) はKzAを独立したテフラとして記載した。しかし、この腐植土はKzAが薄く、かつかく乱された箇所でのみ認められることから、KzAの上位から入り込んだみかけ上の腐植土と考えられる。それゆえKzSとKzAは、一連の噴火によるテフラと判断した。

2-1-3 宮杉テフラ層 (MsT)

宮杉テフラ層 (MsT) の大部分は粗粒火山灰 (MsA) で

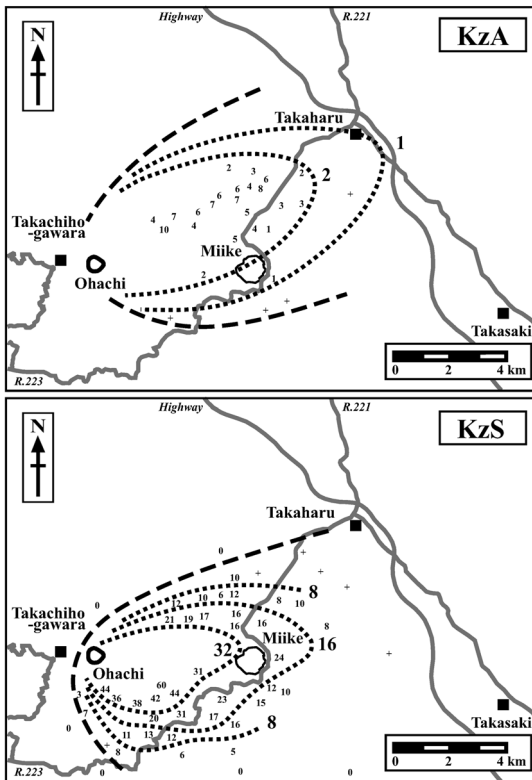


Fig. 5. Isopach maps of KzS (scoria) and KzA (ash) of Katazoe tephra (KzT). Values in centimeters. Dashed lines indicate the limit of distribution of tephra, and dotted lines indicate the isopach.

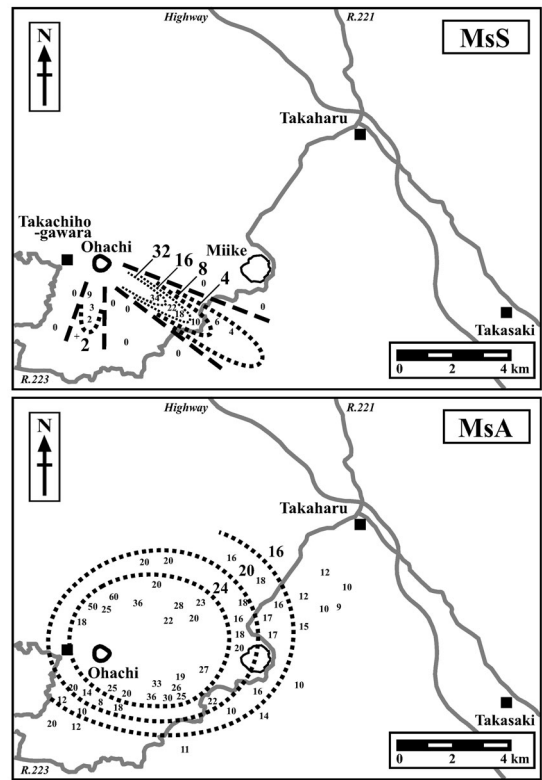


Fig. 6. Isopach maps of MsA (ash) and MsS (scoria) of Miyasugi tephra (MsT). Values in centimeters. Dashed lines indicate the limit of distribution of tephra, and dotted lines indicate the isopach.

あるが、南～南東山麓では MsA 中にスコリア層 (MsS) を挟んでいる (Fig. 6).

MsS を除く MsA は、主に青灰色～青黒色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰からなり、火口を中心にほぼ同心円状に分布している。Fig. 2a の地点 7 では層厚約 16 cm である。色調や粒径の違いによる細かなラミナが発達し、しばしば凹地に厚く堆積している。また、多くの層準に白色の植物印象を含む。

MsS は、火口から南方向と南東方向に明瞭な 2 つの分布軸を持って分布している。Fig. 2a の地点 7 では層厚約 7 cm で、黒色の発泡の良いスコリア (平均粒径 1 cm) やつぶれた餅のようなスコリアからなり、まれに白色軽石や火山灰サイズの赤色の発泡の良いスコリア微粒子も含む。

2-1-4 高原テフラ層 (ThT)

高原テフラ層 (ThT) は、粒径や色調の違いにより下位より ThT-a、ThT-b 及び ThT-c に 3 区分でき、それぞれ火口から北東、東及び北東方向に分布軸を持って分布する (Fig. 7)。ThT-a、ThT-b 及び ThT-c は、Fig. 2a の地

点 13 で、それぞれ 22 cm、5 cm 及び 44 cm の層厚がある。

ThT-a は、黒色の発泡の良い粗粒火山灰～スコリア (平均粒径 1 cm) からなり、粒径や色調によってさらに 3 つのユニットに細分できる。ThT-b は、黒色～褐色の発泡の良いスコリア (平均粒径 3 cm) からなるが、粒径 10 cm に達する粗粒で赤みを帯びたスコリアを含み、上下のユニットと比べ淘汰が悪い。また、最上部には白色軽石や縞状軽石が散在するため識別は容易である。ThT-c は、黒色～褐色の発泡の良いスコリア層 (平均粒径 1.5 cm) であるが、山体に近づくとも上部に粒径がやや大きくなり、赤褐色～赤紫色のスコリアを挟むことがある。

ThT-a と ThT-b、ThT-b と ThT-c の間には、しばしば火山灰サイズの赤色の発泡の良いスコリア微粒子や炭化木小片が散在するが、腐植土などを挟まず長い時間間隙を示す証拠はない。それゆえ、ThT-a～ThT-c は、単一の噴火期に連続して発生した 3 回の噴火によって形成されたと考えられる。なお、ThT は御鉢のテフラの中で最大規模であり、火砕流堆積物を伴っている (2-2-6 節参照)。

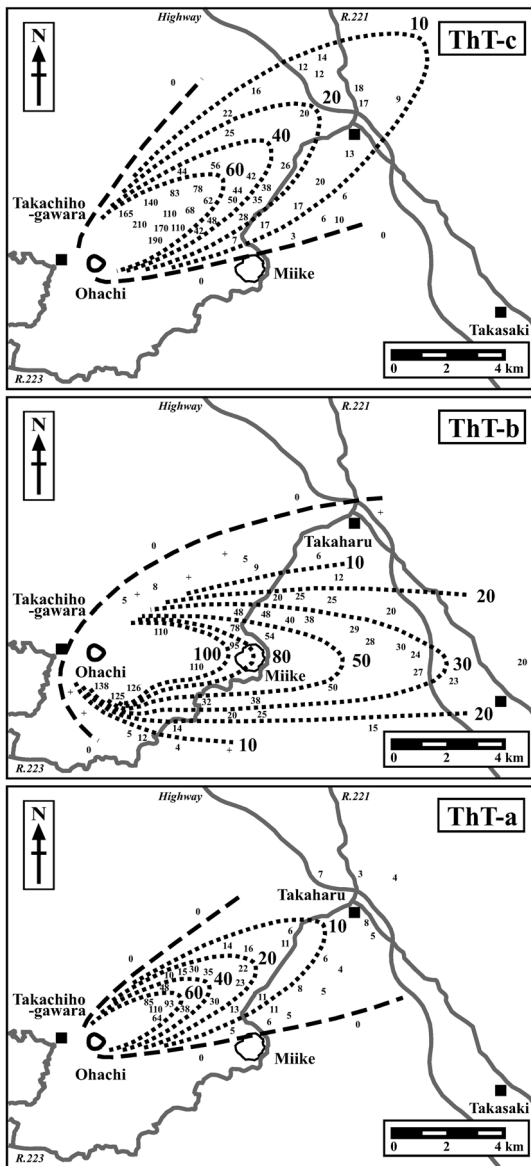


Fig. 7. Isopach maps of ThT-a, ThT-b and ThT-c of Takaharu tephra (ThT). Values in centimeters. Dashed lines indicate the limit of distribution of tephra, and dotted lines indicate the isopach.

2-1-5 高千穂河原テフラ層 1~11 (TgT-1~TgT-11)

高千穂河原テフラ層 1~11 (TgT-1~TgT-11) は, ThT と Sm-KP の間にあるテフラで, 火口から北東方向では TgT-2 を除く 10 層が識別できる (Fig. 2b の地点 17). なお, ほとんどが KzT, MsT 及び ThT と比較して小規模であり, 一括して議論する場合には, 高千穂河原テフラ層 (TgT) と呼ぶ. Fig. 8 に, TgT-1~TgT-11 の分布図を

示す. ただし, TgT-5~TgT-7 は, いずれも分布が限られ等層厚線図を描けない. また, TgT-9~TgT-11 も同様に小規模であるため個別の等層厚線図は描けないが, 一括した等粒径線図を示した.

TgT-1 は青灰色~青黒色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰層であり, 火口を中心にほぼ同心円状に分布している. Fig. 2a の地点 2 での層厚は約 36 cm である. MsA 同様, 細かなラミナが発達し, 多くの層準に白色の植物印象を含み, 凹地に厚く堆積している. なお, TgT-1 と TgT-2 の間にある褐色風化火山灰土中には, 数 cm 単位の細かな青灰色や淡いピンク色の火山灰の薄層が挟在することがあり, 風化火山灰土が形成された期間にも小規模な噴火が発生していたことを示唆している.

TgT-2 はスコリア層で, 主体は発泡の良い褐色~黒色のスコリアであるが, 火山灰サイズの赤色で発泡の良いスコリア微粒子もわずかに含む. 火口から南, 南東及び北西の 3 方向に分布軸を持つ. Fig. 2a の地点 2 では層厚約 5 cm (平均粒径 0.5 cm) である. ThT-a~ThT-c 同様, 3 回の噴火によって形成されたものであるが, それぞれの降下ユニットの岩相や粒径は類似し, 分布域が重ならないため層位関係は不明である.

TgT-3 は肌色~ピンク色の火山灰層であり, 火山灰サイズの赤色の発泡の良いスコリア微粒子と黒色や白色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰からなる. Fig. 2a の地点 2 では層厚約 12 cm である. TgT-1 同様, 火口を中心にほぼ同心円状に小規模に分布している. なお, TgT-3 中には, ごく薄い褐色風化火山灰土を挟むことがある.

TgT-4 は, 下位より粘土質火山灰層, スコリア層, 粗粒火山灰層に 3 区分できる (TgT-4a, TgT-4b 及び TgT-4c). 3 つの降下ユニット間には, 時間間隙を示す証拠がなく, 単一の噴火期のテフラと考えられる. TgT-4a, TgT-4b 及び TgT-4c は, Fig. 2a の地点 15 で, それぞれ 0.5 cm, 13 cm 及び 4 cm の層厚がある. TgT-4a は淡黄色粘土質火山灰層である, 黒色や白色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰, 赤褐色の発泡したスコリア微粒子などを含む. 火口を中心にほぼ同心円状に小規模に分布している. 山麓での層厚は一般に 2 cm 以下であるが, 保存状態は良い. TgT-4b は, 主に褐色~黒色の発泡の良いスコリア (平均粒径 0.5 cm) やつぶれた餅のようなスコリアからなり, まれに白色軽石を含む. 火口から東北東方向にのみ分布する. TgT-4c は, 主に青紫色~青灰色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰からなり, 火口を中心にほぼ同心円状に小規模に分布している. また, MsA や TgT-1 と類似した堆積構造 (ラミナ の発達, 植物印象の包含) を有している.

TgT-5, TgT-6 及び TgT-7 は, いずれも緻密で発泡の悪い粗粒火山灰からなる. 一般に層厚 1~2 cm もしくは

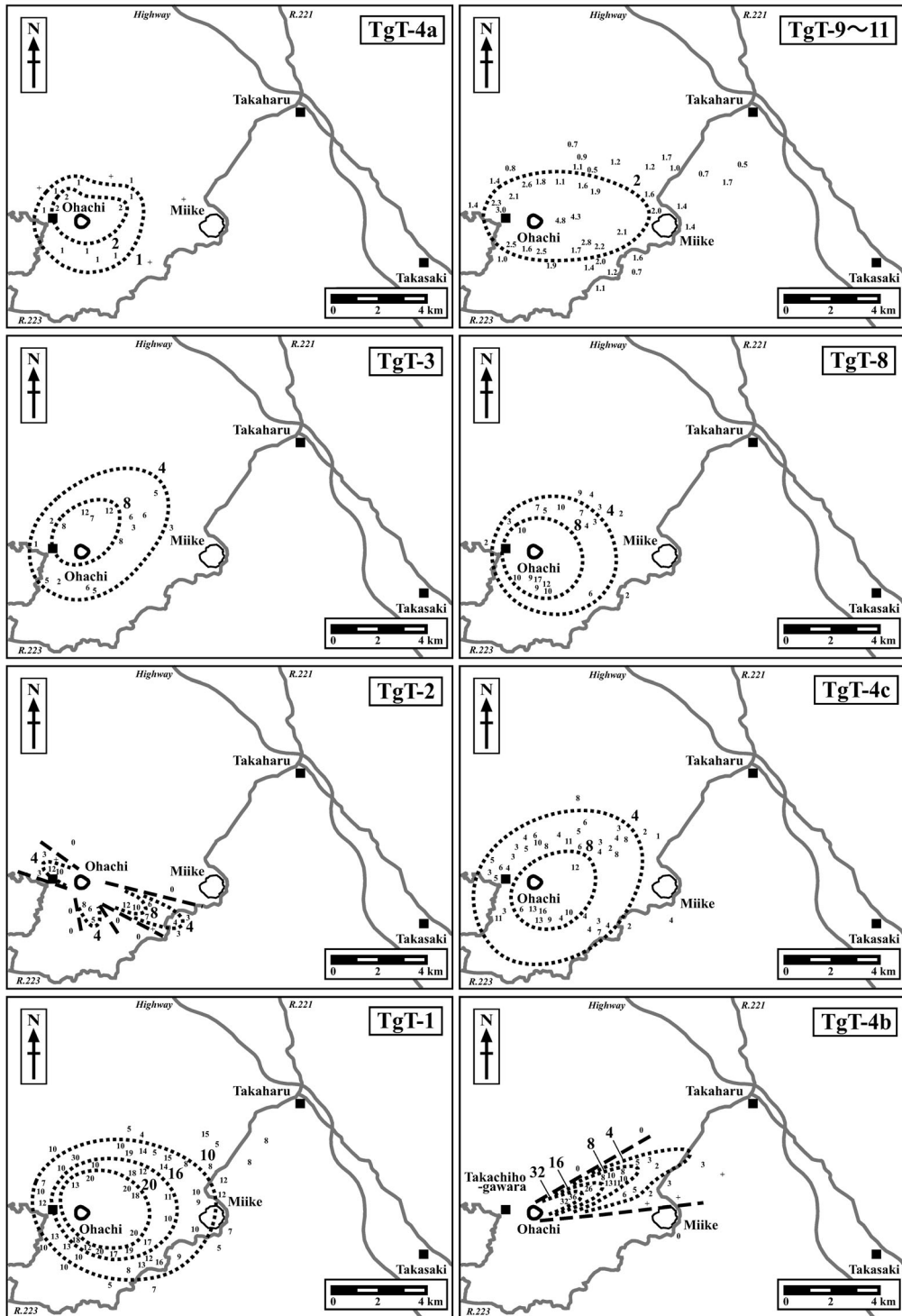


Fig. 8. Isopach maps of TgT-1, TgT-2, TgT-3, TgT-4a, TgT-4b, TgT-4c and TgT-8, and isopleth map of tephra layers from TgT-9~TgT-11 of Takachihogawara tephra (TgT). Values in centimeters. Dashed lines indicate the limit of distribution of tephra, and dotted lines indicate the isopach or isopleth.

腐植土中に火山礫の多い層準として認められる程度で、個別に等層厚線図を描けるほどの層厚はない。

TgT-8は淡黄色～青灰色の火山灰層であり、主に黒色や白色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰と火山灰サイズの赤色の発泡の良いスコリア微粒子からなる。Fig. 2aの地点2では層厚約5cmであり、火口を中心にほぼ同心円状に小規模に分布している。

TgT-9, TgT-10及びTgT-11は、いずれも緻密で発泡の悪い粗粒火山灰や火山礫からなる。腐植土中に火山灰や火山礫の多い層準として認められる程度で、個別に等層厚線図を描けるほどの層厚はない。TgT-9～TgT-11は、いずれも酷似し、3層揃っていない場所それぞれを識別することは困難である (Fig. 2bの地点17)。このため、TgT-8とSm-KPの間に存在する礫を一括し、TgT-9～TgT-11の等径線図として示した。TgT-9～TgT-11は、全体としてやや東側に張り出した形で火口を中心に全方向に分布している。なお、火口縁から西方約1.5kmの地点では直径10cm程度の火山岩塊も認められる。

2-2 溶岩流と火砕流堆積物

本論では、山麓に分布する溶岩流を層位と岩相にもと

づき4区分し、下位より霧島神宮溶岩 (KjL)、狭野溶岩 (SnL)、神宮台溶岩 (JdL)、高千穂河原溶岩 (TgL) と呼ぶ。また、山麓には分布しないが火口内にわずかに残存する溶岩を、御鉢火口内溶岩 (CrL) と呼ぶ。さらに、火砕流堆積物としては、ThTに伴い発生した御鉢スコリア流堆積物 (OhSf; 井ノ上, 1988) がある。Table 2に既往研究における溶岩流との対応関係を示し、Fig. 9に御鉢の溶岩流と火砕流堆積物の分布とテフラとの層位関係を

Table 2. Comparison of lava flows with previous studies.

Inoue (1988, 1993)	This study
Ohachi lava flow VIII	Crater fill lava (CrL)
Ohachi lava flow VII	Takachihogawara lava flow (TgL)
Ohachi lava flow VI	Jingudai lava flow (JdL)
Ohachi lava flow V	Sano lava flow (SnL)
Ohachi lava flow IV	Kirishimajingu lava flow (KjL)
Ohachi lava flow III	
Ohachi lava flow II	
Ohachi lava flow I	

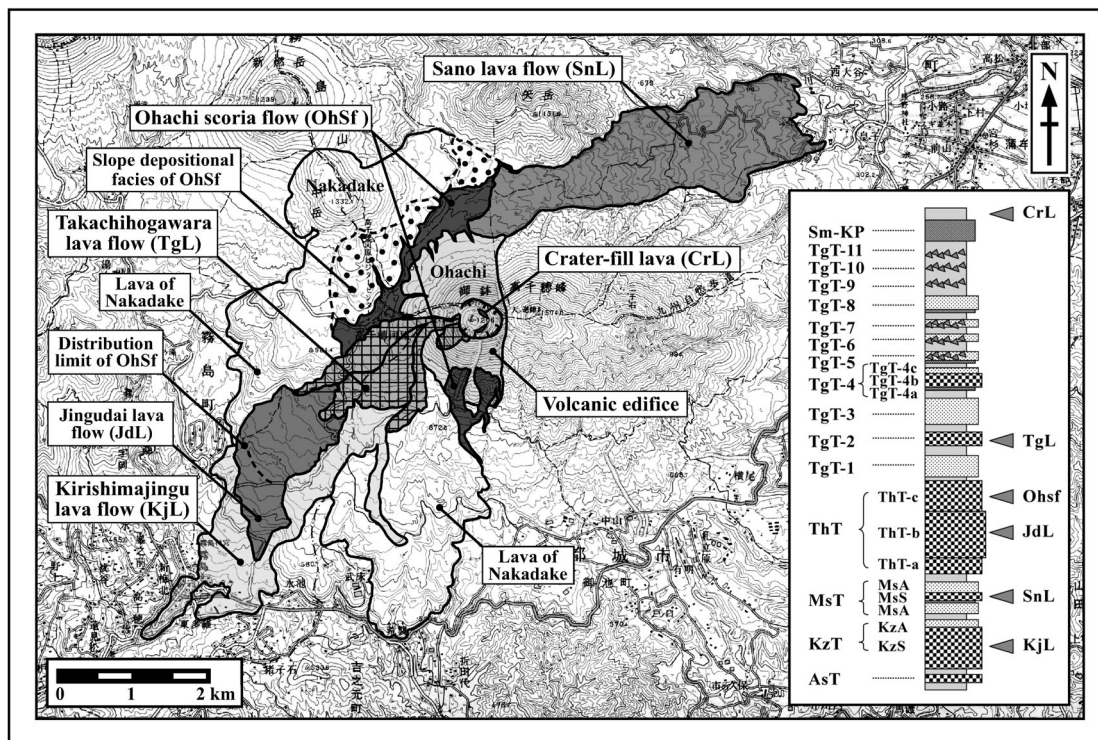


Fig. 9. Distribution of lava flows and pyroclastic flow deposit from Ohachi volcano. Their stratigraphic positions are also shown in the idealized tephra section. Base map is 1: 50,000-scale topographic map of “Kirishimayama” published by the Geographical Survey Institute of Japan.

示す。

井ノ上 (1988) は、御鉢の南側山麓において、霧島神宮溶岩の下位に 3 つの溶岩流 (御鉢溶岩 I~III) を記載している。しかし、御鉢溶岩 I~III の岩相や全岩化学組成は、御鉢の北西側に広く分布する中岳の溶岩流と酷似する。また、御鉢溶岩 I~III に挟在する Oh1 及び Oh2 も、2-1 節に示したように、岩相や分布等から中岳のテフラであることが明らかとなった。

Fig. 10 に、御鉢と近傍火山 (中岳と新燃岳) の噴出物の全岩化学組成分析の結果得られた K_2O-SiO_2 図を示す。 SiO_2 wt% を指標とすると、御鉢の噴出物は最初期の AsT が 50-51 wt% と最も低い値を示し、SnL、最新期の TgT-9~TgT-11 及び CrL が 58-60 wt% とやや高い値を示す。また ThT-b 中の白色軽石は 62 wt% と最も高い値を示すが、それ以外の噴出物はすべて 51-56 wt% の範囲

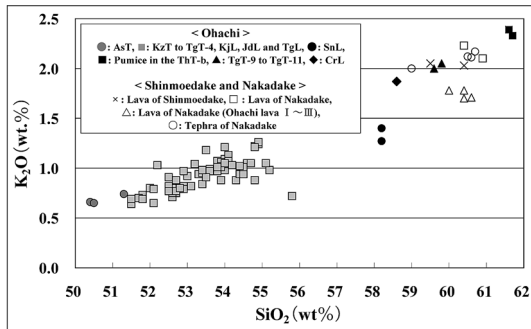


Fig. 10. Whole-rock K_2O-SiO_2 diagram.

に集中する。一方、中岳と新燃岳のテフラと溶岩流は、従来御鉢溶岩 I~III とされたものも含めて、59-61 wt% の比較的狭い範囲に集中する。

さらに、小田 (1922)、沢村・松井 (1957)、井村・小林 (2001) の地質図や、国土地理院発行の地形図 (縮尺 1/25,000)、火山基本図「霧島山 (縮尺 1/10,000, 1985)」、火山土地条件図「霧島山 (縮尺 1/30,000, 1999)」及び空中写真を参考に、現在の地形から御鉢近傍の火山の活動以前の地形を埋積法によって順に推定すると、Fig. 11 に示すように、御鉢溶岩 I~III は中岳から流下したと考えて問題は生じない。すなわち、中岳誕生当時は、中岳から東側と南側方向に凹地形が存在し、中岳の溶岩流はこの凹地形に沿って流出した可能性が高い。中岳の南側に分布する溶岩流と御鉢溶岩 I~III は、御鉢の薄い溶岩流によって覆われているため分断されて別の溶岩流に見えるが、国土地理院発行の地形図 (縮尺 1/25,000) などから、それぞれの溶岩末端崖が地形的に連続していることが読み取れる。それゆえ、御鉢溶岩 I~III は、中岳の溶岩流と判断した。

2-2-1 霧島神宮溶岩 (KjL)

霧島神宮溶岩 (KjL) は、御鉢の南西山麓に広く分布し、最も遠方では火口から 6 km ほど離れた霧島神宮付近まで流下している。層厚は 5 m 以下と薄い。KjL は、御鉢の南西側山麓において褐色風化火山灰土を介して MsT に覆われており、KzT の噴火に伴う溶岩流といえる。高千穂峰の西側斜面に誕生した御鉢から西~南西方向に流下している。岩質はかんらん石含有普通輝石紫堇

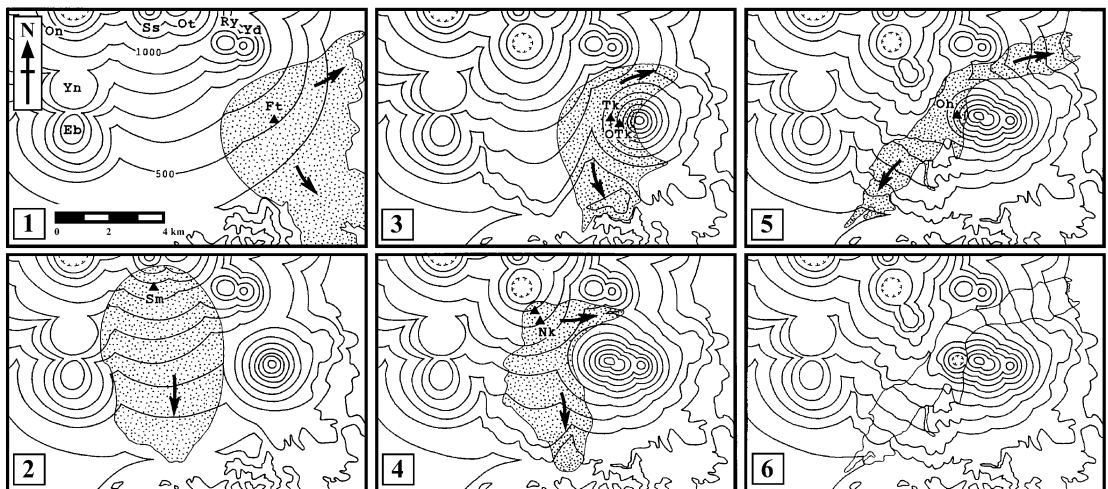


Fig. 11. Schematic diagrams showing geomorphic development of volcanic edifices around Ohachi volcano. Eb: Eboshidake, Yn: Yunotanidake, Ss: Shishikodake, Yd: Yatake, Ry: Ryuodake, On: Onamiike, Ot: Ohatayama, Oh: Ohachi, Nk: Nakadake, Tk: Takachihonome, OTk: Old-Takachiho, Sm: Shinmoedake, Ft: Futagoishi.

輝石安山岩である。

2-2-2 狭野溶岩 (SnL)

狭野溶岩 (SnL) は、主に御鉢の北～北東山麓に広く分布し、御鉢と矢岳との間の沢を埋め、火口から 5.5 km ほど離れた狭野神社の手前まで流下している。また、ごく小規模なため図示していないが、御鉢南側斜面の標高 950 m 付近にもわずかに露出する。層厚は、通常 5 m 以下、末端でも 10 m 以下だが、旧谷地形を埋めている場所では 20～25 m に達している。SnL は御鉢の北東側山麓において MsA に直接覆われている。その露頭での SnL 上の MsA の厚さから、SnL の噴出層準は MsA のほぼ中間と考えられる。SnL と MsS は、分布域が重ならないため直接的な層位関係は不明であるが、MsS は MsA のほぼ中間の層準に挟在することから、SnL は MsS の噴火に伴う溶岩流である可能性が高い。岩質は普通輝石紫蘇輝石安山岩である。

2-2-3 神宮台溶岩 (JdL)

神宮台溶岩 (JdL) は、御鉢の南西山麓に分布し、最も遠方では、火口から 4.5 km 程度まで流下している。層厚は 5 m 以下と薄い。高千穂河原西側の沢沿いなどでは、非常に新鮮な JdL の表面を火砕流 (OhSf) が腐植土を介さず覆っている。OhSf は ThT-c の噴火に伴い発生しており (2-2-6 節参照)、JdL は ThT の噴火に伴う溶岩流といえる。岩質は紫蘇輝石含有普通輝石かんらん石安山岩である。

2-2-4 高千穂河原溶岩 (TgL)

高千穂河原溶岩 (TgL) は、地形の低まった西側火口縁から山麓に流下し、最も遠方では火口から 2.5 km 程度まで流下している。層厚は通常 2 m 以下で、火口縁付近では 1 m 以下とさらに薄い。TgL は、御鉢の南西側山麓において褐色風化火山灰土を介して TgT-3 に覆われている。これ以外に、南西側山体斜面には、火口縁を越えてあふれたが、山麓まで流下せず山体斜面にそのまま停止した TgL が確認できる。山体斜面で停止した TgL は、末端での厚さが 5～10 m 程度で、ThT を覆い TgT-2 のアングルチネートによって直接表面を覆われている (4-1-2 節参照)。したがって、TgL は TgT-2 の噴火に伴う溶岩流といえる。岩質は紫蘇輝石含有普通輝石かんらん石安山岩である。

2-2-5 御鉢火口内溶岩 (CrL)

御鉢火口内溶岩 (CrL) は、御鉢の溶岩の中で最も新しく、火口内の南～東側斜面にへばりついて分布する。崖錐堆積物に覆われ露頭は限られるが、火口内の南側斜面では火口底に連なる階段状の溶岩地形が確認できる。火口縁や火口近傍の山体斜面には、明治～大正時代の火山礫や火山岩塊が散在している (筒井・他, 2005)、その

全岩化学組成 (例えば、 $\text{SiO}_2 \text{ wt}\% = 59.73$, $\text{K}_2\text{O wt}\% = 1.80$; 進野, 1966) は CrL と酷似している。したがって、CrL は、明治～大正時代に御鉢火口内を満たした溶岩の残存物といえる。岩質はかんらん石両輝石安山岩である。

2-2-6 御鉢スコリア流堆積物 (OhSf)

御鉢スコリア流堆積物 (OhSf) は、御鉢の南側斜面と西～北側山麓に分かれて分布する。いずれも山体方向には、標高 1,100～1,050 m 付近まで確認できる。主に直径数～十数 cm の丸みを帯びたスコリアと同質のマトリックスからなるが、しばしば巨大な火山岩塊 (最大長径約 2 m) や波うった表面構造を持つ座布団状の火山弾 (最大長径 4 m 程度) を含む。特に御鉢の西～北側山麓に分布する OhSf には、これらの巨大な本質物質が顕著に認められる。OhSf は南側斜面で ThT-b を覆い、北側山麓で ThT-c に挟在するため、ThT-c の噴火に伴う堆積物と判断される。

南側斜面の OhSf は、山体斜面に形成されたガリーに沿って狭い範囲に分布する。特定のガリーを選択的に流下し、通常 5 m 以上の層厚を持つが、尾根部に薄く堆積していることもある。最も遠方では、火口縁から約 1.5 km 地点にあたる標高 760 m 付近まで流下している。

一方、西～北側山麓の OhSf は、中岳や矢岳との間の沢を埋めて比較的広い範囲に分布し、通常 2～3 m 程度の層厚を持つ。北側では火口縁から約 2 km まで連続して分布し、粒度特性などによって、少なくとも 2～3 つのフローユニットが識別される。西側の OhSf は、火口縁から約 1.5 km 地点まで連続的に分布するが、それ以遠 (~約 3 km) においても、霧島神宮方向の JdL 上に点在している (Fig. 9)。また、高千穂河原西側の沢沿いでは、非常に新鮮な JdL の表面を OhSf が腐植土を介さず直接覆っている。このような産状は、桜島火山の大正溶岩の事例 (小林, 1986a) と同様に、まだ流動している JdL 上に OhSf が堆積したため、OhSf がブロック化し、より下流域に運搬されたことを示唆するのかもしれない。

なお、御鉢の北西に対面する中岳の山体斜面には、最高で標高 1,160 m 付近まで OhSf と同質のスコリアや長径 2 m に達する巨大な火山岩塊及び座布団状の火山弾が広く点在している (Fig. 9)。この堆積物はマトリックスを欠くため一見降下テフラのようであるが、本質物質は砕けておらずインパクトクレーターも認められない。また、系統的な粒径の変化は認められないが、低地に向かって層厚を増し、谷を埋める OhSf に連続する。このためこの堆積物は、中岳を這い上がった OhSf のうち斜面上に取り残された堆積物と考えられる。

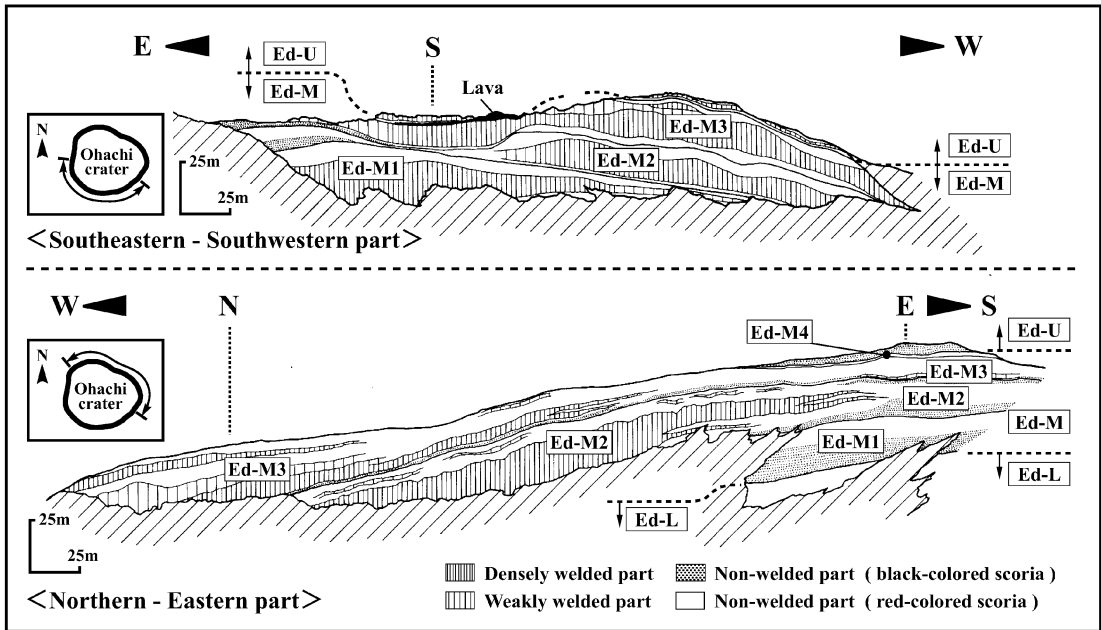


Fig. 12. Sketches of the crater wall of Ohachi volcano. Ed-L (Lower unit), Ed-M (Middle unit) and Ed-U (Upper unit). Ed-M is subdivided into four units; from the bottom, Ed-M1 to Ed-M4.

3. 山体を構成する噴出物

新しく形成された火山は一般に内部構造を観察するのが難しいが、御鉢は大きく深い火口を持ち火口壁の露出が良い。また、隣接する高千穂峰との境界部に深いガリーが発達する。このため山体の内部構造が観察できる。

御鉢の火口壁は色調や粒径の違いによって成層構造が顕著なテフラから構成され、次に示すような産状によって下部層 (Ed-L)、中部層 (Ed-M) 及び上部層 (Ed-U) に3区分できる (Fig. 12)。

3-1 下部層 (Ed-L)

下部層 (Ed-L) は東側のみに露出し、15~20m程度の層厚を持つが、最下部は崖錐堆積物などに覆われ確認できない。多数の紡錘状火山弾を含む非溶結のスコリア層で全体的に赤色を呈している。一方、高千穂峰との境界部に発達する山体斜面南側のガリーでは、Ed-Lが高千穂峰の斜面を直接覆う。これらのことから、火口壁で観察できない山体の下半部は、すべてEd-Lで構成されている可能性が高い。なお、最上部は部分的に侵食を受け、Ed-Mとは一部不整合で接している。

3-2 中部層 (Ed-M)

中部層 (Ed-M) は西側を除いて広く火口壁に分布し、火口壁に分布する堆積物の主体をなす。部分的に厚いアグルチネートとなっているが、東側はすべて非溶結のスコリア層であり、規則的な岩相変化を繰り返す4つのユ

ニット (下位より Ed-M1~Ed-M4) に細分できる。

Ed-M1~Ed-M4の岩相は、いずれも下部から、1) 主に変質した黄褐色~赤褐色の岩片及び火山灰、2) 黒色スコリア、3) 赤色スコリアに3区分でき、いずれも整合的に接している。1) は成層構造が顕著で固く締まっている。3) は2) が高温酸化し赤色化したもので、火口から離れると黒色スコリアに変化する。また、火口壁では、3) の厚みを増した部分がアグルチネートに移化している。この1) から3) への岩相変化は、類質岩片を主体とした爆発角礫層や火山灰層を形成した小規模な水蒸気~マグマ水蒸気噴火から、一部アグルチネートを伴うスコリア層を形成したマグマ噴火へと連続的に移行したことを示している。

最下位のEd-M1は、層厚15~20m程度で、南側では強く溶結し、厚さ10~15m程度のアグルチネートとなっている。非溶結部には多数の紡錘状火山弾 (最大長径2m以上) が含まれている。Ed-M2は層厚15~20m程度で、北側では下部が強く溶結し、アグルチネートとなっている。最上部には層厚30cm程度の白色軽石層があり、識別が容易である。Ed-M3は層厚10~15m程度であり、岩相はEd-M2と類似している。北側では、上部と下部の2層準が強く溶結しアグルチネートとなっている。この最上部も少量ではあるが白色軽石を含む。最上位のEd-M4は、層厚5m程度と薄く、すべて非溶結であ

り、分布も西側だけに限られている。

3-3 上部層 (Ed-U)

上部層 (Ed-U) は東側と西～南側の火口縁付近に2箇所に分かれて分布する。東側のEd-Uは、すべて非溶結で、全層厚は15~20m程度である。Ed-Mとは整合的に接しており、この場所は高千穂峰との鞍部にあたり、Ed-U堆積時に比較的平坦な地形であったため、多くの非溶結テフラが保存されたと考えられる。Ed-Uは、下位より粗粒火山灰及び火山礫層、スコリア層、岩片に富む粗粒火山灰及び火山礫層の順に堆積している。中位のスコリア層は3層準に薄い粘土質火山灰を挟在しており、4つのユニットに区分できる。

一方、西～南側のEd-Uは、Ed-M1~Ed-M4同様の成層構造を持つひとつのユニットで、層厚は2~4m程度である。このうち上部1~3mがアグルチネートとなっており、小規模ではあるが不安定な火口縁近傍の急な山

体斜面に残存できたと考えられる。Ed-Mとは概ね整合的に接しているが、南西側ではEd-MとEd-Uの間にごく小規模な溶岩流 (TgL; Fig.12) を挟む。

4. 考 察

4-1 山麓と山体の噴出物の対応関係

御鉢の火口壁にみられるテフラ (Ed-L, Ed-M 及び Ed-U) は、以下に示すような岩相の特徴や層位関係から、それぞれ山麓の片添テフラ層 (KzT), 高原テフラ層 (ThT) 及び高千穂河原テフラ層 (TgT) に対比される (Fig. 13)。なお、記載は山体を構成するEd-L, Ed-M 及び Ed-Uのうち最大規模を有し、火口壁の大部分を占めるEd-Mから行う。

4-1-1 中部層 (Ed-M)

Ed-Mは、Ed-M1~Ed-M4に4区分され、いずれも大規模なスコリア噴火によって比較的短時間に形成された

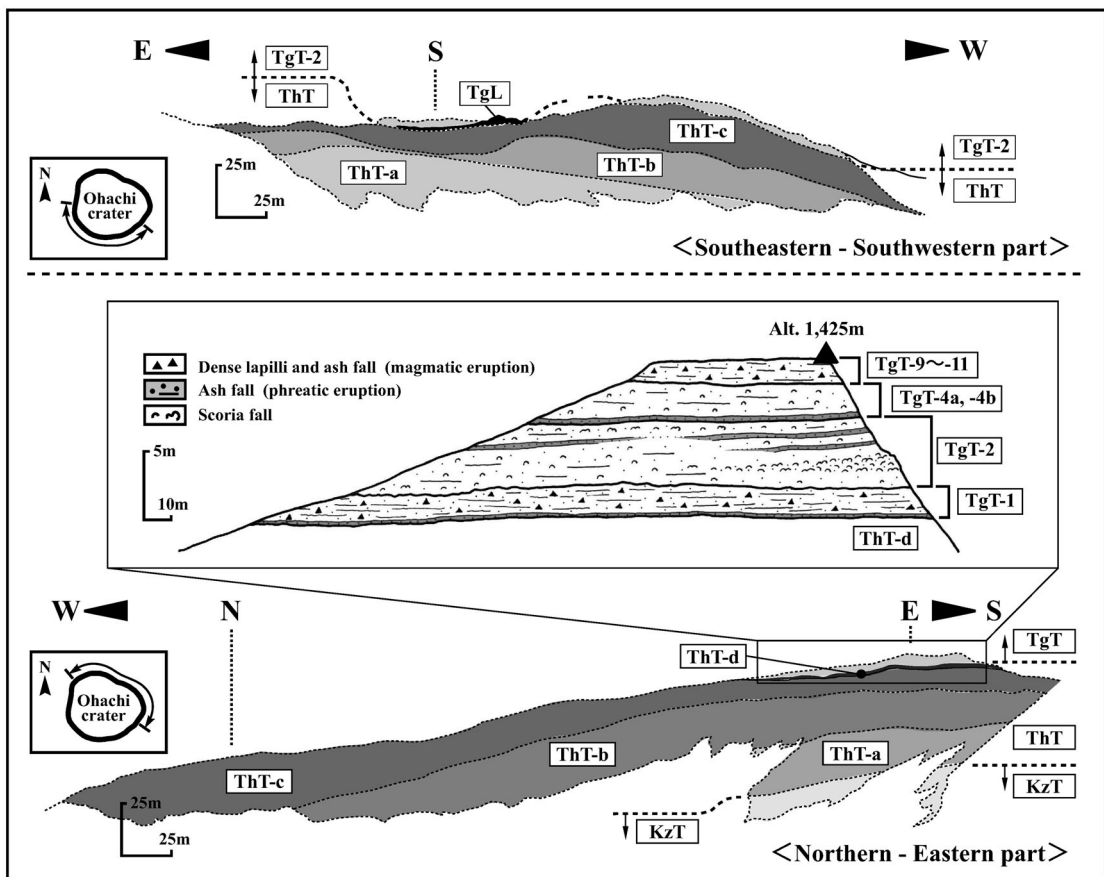


Fig. 13. Correlation of the proximal to distal tephra layers of Ohachi volcano. Ed-L (Lower unit) corresponds to KzT, Ed-M (Middle unit) to ThT, and Ed-U (Upper unit) to TgT, respectively. Ed-M1 to Ed-M4 correspond to ThT-a to ThT-d.

堆積物である。このうち Ed-M2 は強溶結部が最も厚く、最上部に白色軽石が存在する。一方、山麓の降下テフラでは ThT が最大規模で、このうち ThT-b が最も規模が大きい。ThT-b は、最上部に白色軽石を含み、Ed-M2 と同じ特徴を示すことから、両者は確実に対比できる。

したがって最下位の Ed-M1 は ThT-a である。残る Ed-M3 と Ed-M4 のうち、最上位の Ed-M4 は、火口縁で最大層厚 5 m 程度と規模がごく小さく、火口縁近傍のみに分布し、山麓には分布していない。このため、Ed-M3 は ThT-c に対比される。なお火口縁近傍のみに分布する Ed-M4 は、ThT の一連の噴火で形成されたテフラであることが明らかで、ThT-a~ThT-c の上位に分布するため ThS-d と呼ぶ。

4-1-2 上部層 (Ed-U)

4-1-1 に示したように Ed-M は、全体として ThT に対比できる。それゆえ Ed-U は、TgT-1~TgT-11 のいずれかに対比されることになる。

西~南側の Ed-U は、Ed-M の上位に堆積しているが、南西側ではその間に小規模な溶岩流 (TgL) を挟む。この TgL を直接覆う層位関係から、西~南側の Ed-U は TgT-2 に対比できる。

東側の Ed-U のうち最下位の粗粒火山灰及び火山礫層は、成層構造が発達し、山麓に分布する TgT-1 の特徴と類似することから、TgT-1 に対比できる。中位のスコリア層に挟在する粘土質火山灰層のうち、最上位のものは 30 cm 以上の層厚があり、淡黄~ピンクという特徴的な色調から TgT-4a に対比できる。このため最上位のスコリア層は TgT-4b である。また、TgT-4a の下位のスコリア層は、黄色~ピンク色の 2 層の薄い火山灰によって 3 つのユニットに区分され、その層位と山麓で 3 つの降下ユニットを持つという特徴から、TgT-2 に対比できる。最上位の粗粒火山灰及び火山礫は、TgT-5~TgT-11 のいずれか (もしくは複数) に対比可能である。ただし、最下位の TgT-1 と比較し成層構造に乏しく、直径 3~5 cm 以下の比較的大きな岩片を多く含む特徴から、TgT-9~TgT-11 に対比される可能性が高い。

4-1-3 下部層 (Ed-L)

Ed-L は火口壁で少なくとも 20 m の層厚がある。Ed-L に対比できるテフラとしては、AsT、KzS 及び MsS の 3 つしかない。AsT:KzS:MsS の噴出量比はほぼ 2:48:7 (4-5 節参照) であり、火口付近に堆積する量が噴出量に比例すると仮定すれば、Ed-L は KzS に対比される。

なお、AsT 及び MsS は、TgT-2 及び TgT-4b と噴火様式、噴出量や分布状況が類似している。地形的に保存されやすい平坦な地形に堆積した TgT-2 及び TgT-4b であっても、火口縁で 5 m 以下の層厚しかなく、AsT と MsS に

ついては、火口縁に保存されなかった可能性が高い。

4-2 全岩化学組成

Fig. 14 に、火口内で上下方向に採取したテフラ (▲: 非溶結部, ■: アグルチネート)、山麓に分布するテフラ (△) 及び溶岩流 (□) の SiO₂ wt% を、4-1 節で対比させた噴火ユニット毎に並べて示す。MsS と SnL のように、同じ噴火ユニットでも組成に幅がある事例もあるが、全体的に山腹と火口内の堆積物は、ユニット毎に全岩組成が非常に良く一致する。このように、全岩化学組成は、岩相と層位関係から判断される山麓と山体の噴出物の対応関係を裏付けている。

時系列的には、最初期の AsT から MsT にかけて、SiO₂ が増加している (50→58 wt%)。また最新期の TgT-1 から TgT-9~TgT-11 にかけても、上位のものほど SiO₂ wt% に富む傾向がある (53→60 wt%)。中間の ThT は単一の噴火期のテフラであるが、大局的には ThT-a から ThT-d にかけて SiO₂ wt% が増加している (52→55 wt%)。

これらの変化は、御鉢の火山活動が単一の噴火期や、ある程度休止期を挟んだ活動時期を通じて、SiO₂ に乏しいものから富むものへと移行する特徴を有していることを示唆するのかもしれない。

4-3 噴火様式

御鉢のテフラは、構成物質、分布及び堆積様式などから、大きく 3 つのタイプに分類できる。第 1 のタイプは褐色~黒色のスコリアが主体で、特定の分布軸を持って分布する。比較的遠方でも地層として確認でき、分布 (規模) と粒度特性から Walker (1973) による準プリニー式噴火に分類できる。KzS、MsS、ThT、TgT-2 及び TgT-4b がこの例である。なお、山麓に分布する溶岩流は、いずれも準プリニー式噴火に伴って流出している。

第 2 のタイプは主に青灰色~黒色の緻密で発泡の悪い粗粒火山灰からなり、特定の分布軸を持たず、御鉢を中心にほぼ同心円状に分布する。1955 年以降の桜島 (小林, 1986b) や 1949 年以降の諏訪之瀬火山 (井村, 1991) の活動で山麓に形成されている小規模なテフラの集積物と同様、ブルカノ式噴火の継続により形成された堆積物である。MsA、TgT-1、TgT-3 及び TgT-5 がこの例である。

第 3 のタイプは、粘土質火山灰を主体とする水蒸気噴火による堆積物である。単独で分布することはなく、いずれも前述した 2 つのタイプのマグマ噴火に伴っている。少なくとも MsS、TgT-4、TgT-5 及び TgT-8 の最初期に確認できる。一方、比較的規模の大きな KzS や ThT などでは、水蒸気噴火の痕跡が確認できないため、いきなりマグマ噴火が発生したか、発生していたとしてもごく小規模で、堆積物としては保存されにくかったであろう。

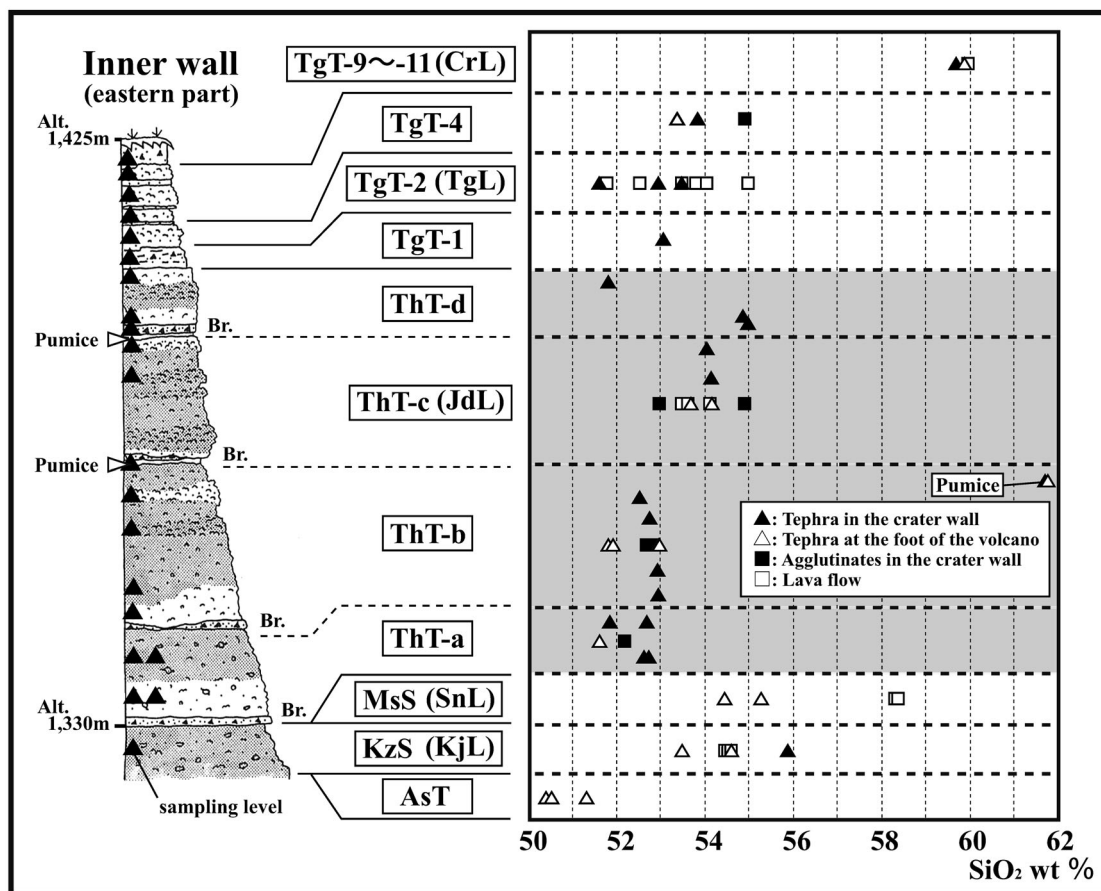


Fig. 14. Variation of Whole-rock SiO₂ content of the erupted material on the crater wall of Ohachi volcano and distal area. Br: breccia. Date of CrL are taken from Shinno (1966).

4-4 噴火の年代

岡田 (1985) 以降, 多くの ¹⁴C 年代値が公表されている (早田, 1997; 井村・古賀, 1992; 宮崎県埋蔵文化財センター, 1998; Okuno *et al.*, 1998). これらに, 本論の成果を加えた ¹⁴C 年代及び暦年代を Table 3 に示す. なお, 暦年代への較正は, ¹⁴C 年代-暦年代データセット INTCAL98 (Stuiver *et al.*, 1998) にもとづくコンピュータ・プログラム Oxcal ver. 3.10 (Bronk Ramsey, 1995; 2001) を使用した. また, 松元 (1997) は, 溶岩流と火砕流堆積物の残留磁化方位を測定し, 噴火年代を推定した. これらの測定結果に歴史時代の噴火記録や考古学的な知見をあわせ, 御鉢の噴火年代を考察する.

4-4-1 AsT, KzT 及び ThT

KzT 及び ThT については, 多くの ¹⁴C 年代値が公表されている. ThT については, 沢村・松井 (1957) が噴火記録に照らし, 西暦 788 (延暦 7) 年の噴火と推定し, その後の研究成果もこの考えを支持していた (井村, 1994;

井村・古賀, 1992; 井ノ上, 1988; 中村, 1987; 岡田, 1985 など). しかし, ThT の下位から 9~10 世紀前半の土師器が出土し (東, 1996; 栗畑・東, 1997), この年代について疑問が示された. その後, Okuno *et al.* (1998) は層序にそった系統的な ¹⁴C 年代測定を実施し, 噴火記録の記述を考慮したうえで KzT の噴火年代を 788 (延暦 7) 年, ThT の噴火年代を 1235 (文暦元) 年と推定した. 松元 (1997) は, 御鉢の西~南西側に分布する溶岩 (本論の KjL と JdL に対応) について残留磁化方位を測定し, KjL と JdL の年代が KzT と ThT に対比できることを示した. 本論で得られた KjL 直下の炭化木小片の ¹⁴C 年代値 (Table 3) も, Okuno *et al.* (1998) の既往研究と整合的である. これらのことから, KzT と ThT の噴火年代は, 近年指摘されているように, 西暦 788 (延暦 7) 年及び 1235 (文暦元) 年と判断して良いであろう.

最下位の AsT の年代値は得られていないため, KzT, MsT 及び ThT 間の腐植土の層厚をもとに, 腐植土の堆

Table 3. Radiocarbon dates for the erupted material of Ohachi volcano.

Stratigraphic position*		Lab.No.	Method **	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	^{14}C age *** (BP)	Cal range AD **** (probability = 2 δ)	Ref.*****		
Tephra	TgT-9	In*	Beta-184287	AMS	Charcoal	-26.3	650 ± 50	1270 - 1410		
	TgT-8	In	Beta-183445	AMS	Charcoal	-29.1	520 ± 40	1310 - 1360 · 1380 - 1450		
	TgT-7	Below	Beta-183443	AMS	Charcoal	-25.3	230 ± 30	1640 - 1690		
	TgT-4	Below	Beta-183444	AMS	Charcoal	-25.2	220 ± 30	1630 - 1690		
		Below	NUTA-4324	AMS	Soil	-25.1	590 ± 70	1280 - 1440	1	
	TgT-3	Below	Beta-183442	AMS	Charcoal	-27.7	690 ± 40	1250 - 1330 · 1340 - 1400		
	TgT-2	Below	Beta-183441	AMS	Charcoal	-26.1	530 ± 40	1300 - 1360 · 1380 - 1450		
	TgT-1	Below	NUTA-4473	AMS	Soil	-20.0	610 ± 70	1270 - 1440	1	
	OhSf	In	Gak-15326	β	Charcoal	—	760 ± 90	1040 - 1400	2	
		-b	In	NUTA-4240	AMS	Charcoal	-11.4	780 ± 100	1020 - 1330 · 1340 - 1400	1
			In	NUTA-4265	AMS	Charcoal	-11.4	930 ± 100	890 - 920 · 940 - 1280	1
			In	NUTA-4653	AMS	Charcoal	-26.0	750 ± 70	1050 - 1080 · 1150 - 1330 · 1340 - 1400	1
		-a	In	NUTA-4652	AMS	Charcoal	-28.0	970 ± 70	890 - 920 · 950 - 1220	1
	ThT	Below	NUTA-4472	AMS	Soil	-24.8	960 ± 70	890 - 920 · 960 - 1230	1	
		Below	Beta-82725	AMS	Charcoal	-11.3	830 ± 60	1040 - 1280	3	
		—	—	β	Charcoal	—	1,050 ± 110	700 - 1250	4	
	MsT	In	Beta-183439	AMS	Charcoal	-11.1	910 ± 40	1030 - 1210		
		Below	NUTA-4465	AMS	Soil	-24.6	1,090 ± 70	770-1050 · 1080-1150	1	
		Below	Beta-82726	AMS	Charcoal	-27.6	1,180 ± 80	670 - 1000	3	
		Below	—	β	Charcoal	—	1,660 ± 60	240 - 540	5	
KzT	Below	NUTA-4464	AMS	Soil	-24.2	1,060 ± 80	770 - 1160	1		
	Below	NUTA-4328	AMS	Soil	-24.8	1,150 ± 70	690 - 750 · 760 - 1020	1		
	Below	NUTA-4697	AMS	Soil	-24.8	1,330 ± 90	540 - 900	1		
	Below	—	β	Charcoal	—	1,330 ± 70	590 - 880	5		
Lava	TgL	Below	Beta-183448	AMS	Charcoal	-26.0	520 ± 40	1310 - 1360 · 1380 - 1450		
	SnL	Below	Beta-183446	AMS	Charcoal	-24.9	1,120 ± 40	780 - 790 · 800 - 1020		
		Below	Gak-15324	β	Charcoal	—	Modern	—	2	
		Below	Gak-15325	β	Charcoal	—	1,220 ± 100	640 - 1020	2	
	KjL	Below	Beta-183447	AMS	Charcoal	-24.9	1,100 ± 40	860 - 1030		

* In: Charcoal in the tephra, Below: Charcoal under the tephra.

** AMS: accelerator mass spectrometry method, β : radiometric method.

*** ^{14}C ages were analyzed based on the Libby's ^{14}C half life of 5,568 years.

**** Cal range AD were converted by the OxCal 3.10 (Bronk Ramsey, 1995; 2001).

***** 1: Okuno *et al.* (1998), 2: Imura and Koga (1992), 3: Miyazaki Prefectural Center for Archaeological Operations (1998), 4: Okada (1985),

5: Soda (1997), Blanks: this study.

積速度が一定であるとして推定した。その結果、AsTとKzTの時間間隙は50~200年程度となり、本論ではほぼ中間の値を採用し、AsTの噴出年代をKzTの100年前、すなわち西暦700年頃と考える。

4-4-2 MsT

MsTは、層位的にKzT(788年)とThT(1235年)に挟まれている。奥野(2002)はOkuno *et al.* (1998)の ^{14}C 年代値をもとに、MsTを10世紀の噴火と推定した。松元(1997)はMsTと同時期に流出したSnLについて、西暦800~1000年頃と推定した。本論で得られた ^{14}C 年代値は、MsT中の炭化物が西暦1000~1200年、SnL直下の炭化物が西暦800~1000年の年代を示した。このようにMsTに関する年代値は、多少ばらつき、特定の時期に集中していない(Table 3)。これは、4-3節で示したように、MsTがある程度時間をかけて形成されたテフラであることと関係するのであろう。

一方、考古学的なデータでは、宮崎県高平原の広原地

区遺跡群や荒迫遺跡で、MsTの下位から9世紀後半の土器が検出されている(宮崎県埋蔵文化財センター, 1998; 高平原町教育委員会, 2003)。MsTに対比可能な噴火記録としては、西暦960年代頃の平家物語(長門本)中の記載、西暦1112(天永3)年、1167(仁安2)年及び1183(寿永2)年の記録がある。このうち、平家物語中の記載は、「長時に猛火もえ上りて、雲につ続く、いつとなく黒砂ふり下りて、すゑ何千里とはかる事なし」とあり、長期にわたって火山灰を噴出している様子が示されている。また、西暦1112(天永3)年には錫杖院(霧島東神社の別当寺)、1167(仁安2)年には西生寺(宮崎県高平原町狭野周辺)の焼失が記載され、いずれも火口から5~6km付近に位置する(Fig. 1)ことから、比較的規模の大きな噴火だったことが推測できる。ただし、いずれも噴火当時の史料ではなく、記録そのものの信憑性の評価も難しい。あわせて、当時の噴火記録が残されていない可能性もある。このため、現時点でMsTの噴火年代を特定

Table 4. The estimated eruption age of Takachihogawara tephra (TgT-1 to TgT-11).

Stratigraphic position		Estimated eruption age (AD)	Eruptive style	Eruption records
Tephra	Lava			
TgT-5~11	—	ca. 1650 - 1700	Sporadic but strong vulcanian explosions accompanied by ejection of volcanic bombs and block	Frequent several - 20 year interval (1554 - 1716)
TgT-4	—	ca. 1650 (1628 or 1637 - 1638 ?)	phreatic eruption → Sub-plinian eruption → Vulcanian eruptions	
TgT-3	—	ca. 1350 - 1650	Vulcanian eruptions generating large volume of ash	
TgT-2	TgL	ca. 1350	Sub-plinian eruptions generating scoria and lava	Not clear (1235 - 1554)
TgT-1	—	ca. 1250 - 1350	Vulcanian eruptions generating large volume of ash	

することはできないが、おおよそ西暦 900~1100 年の間 (1000 年前後頃) と考える。

4-4-3 TgT-1~TgT-11

TgT-1~TgT-11 は、層位的に ThT (1235 年) と Sm-KP (1716~1717 年) に挟まれている。この期間の前半は明確な火山活動の記録が残されていない。一方、後半の西暦 1554 (天文23) 年以降は数多くの噴火記録があり、噴火は数年から長くとも 20 数年間隔で頻繁に繰り返されていたことがわかる。しかしながら、TgT-1~TgT-11 は、時系列的に次第に規模が縮小しており (4-6 節参照)、噴火記録から推定される噴火の規模と実際の堆積物の規模はうまく対応していない。

また、TgT-1~TgT-11 の大半は小規模噴火がある程度継続して形成されたテフラであり、個々のテフラの年代を特定することは難しい。本論で得られた ^{14}C 年代値も、TgT-2 及び TgL の噴火年代が西暦 1350 年頃と推定できる以外は、層位と年代値が逆転しているものもあり、充分年代を特定することができなかった。それゆえ、現段階では、TgT-1~TgT-11 の噴火年代については、歴史記録と各テフラの層位及び産状を考慮し、Table 4 のように推定した。

すなわち、TgT-1 は、既往の ^{14}C 年代値 (760±90 BP; Okuno *et al.*, 1998) と層位関係から、西暦 1250~1350 年頃、TgT-2 は、 ^{14}C 年代値 (530±40 BP) 及び同時期の TgL の ^{14}C 年代値 (520±40 BP) から西暦 1350 年頃と推定した。なお、これらの噴火に対比できる噴火記録は確認されていない。TgT-3 は、 ^{14}C 年代値 (690±40 BP) と層位関係から、西暦 1350~1650 年頃、TgT-4 は、層位関係から ^{14}C 年代値 (220±40 BP) を採用し、西暦 1650 年頃と推定した。TgT-5~TgT-11 の噴火年代は、TgT-7、TgT-8 及び TgT-9 について ^{14}C 年代値を得たが、一部層位的に矛盾する値もあり、層位関係から大まかではあるが、西暦 1650~1700 年頃と推定した。

4-5 噴出量

御鉢の噴出物の体積は、降下テフラ、山体 (火砕丘)、火砕流堆積物及び溶岩流に 4 区分し、それぞれ以下のような方法で求めた。等層厚線が描けるテフラは、噴火様式によらず Fierstein and Nathenson (1992) の算出式を使用した。等層厚線図が描ける最小規模のテフラ (TgT-4 a) の噴出量は $0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ であった。このため、等層厚線図が描けない小規模なテフラ (TgT-5~TgT-7, TgT-9~TgT-11) の噴出量は、一律に $0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ と仮定した。山体部については、そのほとんどが KzT と ThT の噴火で形成され、山麓のテフラから推定される以上に火口近傍にテフラが堆積していることから、火山基本図「霧島山 (縮尺 1/10,000, 1985)」の 25 m 間隔の計曲線を用い、山体が厚さ 25m の仮想の板が重なって構成されているとして求めた。火砕流堆積物と溶岩流については、分布面積に平均層厚を乗じて算出した。

また、相互比較のため DRE (dense rock equivalent) 体積を求め、Table 5 にまとめた。みかけ密度は、火山灰層を 1.5 g/cm^3 、スコリア層を 0.8 g/cm^3 、火砕流堆積物を 1.0 g/cm^3 、火砕丘を 1.2 g/cm^3 、溶岩流を 2.5 g/cm^3 と仮定した。テフラ (火砕流を含む) は約 $1.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、火砕丘は約 $0.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、溶岩流は約 $0.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ となり、総噴出量は約 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ となる。すなわち総噴出量の 8 割以上がテフラとして噴出したことになる。

4-6 噴火様式と噴出量の時系列変化

噴火様式の時系列的な変化をみると、準プリニー式噴火を主体とした活動 (AsT~KzT~ThT) から、次第に規模を縮小しつつ、ブルカノ式噴火を主体とした活動 (TgT-1~TgT-11) へと移行している。また TgT-1 から TgT-11 にかけても、その前半は明瞭な地層を形成するブルカノ式噴火 (TgT-1, TgT-3) や小規模な準プリニー式噴火 (TgT-2, TgT-4) が卓越するが、その後半の TgT-5 以降は、ブルカノ式噴火でも単発的で粗粒火山灰や岩片がわずかに識別できる程度の噴火 (TgT-5~TgT-7 や

Table 5. Volume (DRE) of erupted material of each eruption of Ohachi volcano. Eruption age is also shown.

Age (AD)	Tephra					Volcanic edifice				Lava					Total		
	Name	Volume ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Density (g/cm^3)	Mass ($\times 10^{12} \text{ g}$)	Volume (DRE) ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Volume ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Density (g/cm^3)	Mass ($\times 10^{12} \text{ g}$)	Volume (DRE) ($\times 10^3 \text{ m}^3$)	Name	Area (km^2)	Thickness (m)	Volume ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Mass ($\times 10^{12} \text{ g}$)	Volume (DRE) ($\times 10^3 \text{ m}^3$)		
ca.1650~1700	TgT-11	0.5	1.5	0.8	0.3										0.3		
	TgT-10	0.5	1.5	0.8	0.3										0.3		
	TgT-9	0.5	1.5	0.8	0.3										0.3		
	TgT-8	3.4	1.5	5.1	2.0										2.0		
	TgT-7	0.5	1.5	0.8	0.3										0.3		
	TgT-6	0.5	1.5	0.8	0.3										0.3		
ca.1650	TgT-5	0.5	1.5	0.8	0.3										0.3		
	TgT-4c	8.1	1.5	12.2	4.9	5.7									5.7		
	TgT-4b	1.5	10.1	0.8	1.2											0.5	
TgT-4a	0.5	1.5	0.8	0.3													
ca.1350~1650	TgT-3	3.8	1.5	5.7	2.3										2.3		
ca.1350	TgT-2	1.3	0.8	1.0	0.4					TgL	1.5	2	3.0	7.5	3.4		
ca.1250~1350	TgT-1	21.3	1.5	32.0	12.8										12.8		
1235	ThT-c	OhSf (N)	2.2	1.0	2.2	0.9	29.6	110	1.2	132	53	JdL	2.3	3	6.9	17.3	89.5
		OhSf (S)	1.0	1.0	1.0	0.4											
		26.7	91.7	0.8	21.4	8.6											
	ThT-b	52.0	0.8	41.6	16.6												
	ThT-a	9.8	0.8	7.8	3.1												
ca.900~1100	MsS	2.2	99.1	0.8	1.8	0.7	58.9				SnL	4.8	5	24.0	60.0	82.9	
	MsA	96.9	1.5	145.4	147.2	58.2											
788	KzA	2.1	17.2	1.5	3.2	1.3	6.1	70	1.2	84	34	KjL	4.6	3	13.8	34.5	53.9
	KzS	15.1	0.8	12.1	15.3	4.8											
ca.700	AsT	0.5	0.8	0.4	0.2											0.2	
Total		250.4	—	298.7	119.8	180	—	216	87	—	13.2	—	47.7	119	254.5		

TgT-9~TgT-11) が卓越し、規模は縮小傾向にある。

噴出量の時系列的な変化をみると、御鉢は西暦 700 年頃に噴火を開始し、現時点までの約 1,300 年間の噴出率は、単純計算で約 $2.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ky}$ となる (Fig. 15)。しかし、個々の噴火の規模は $10^7 \sim 10^6 \text{ m}^3$ オーダー (KzT~ThT) から $10^6 \sim 10^5 \text{ m}^3$ のオーダー (TgT-1~TgT-4), 10^5 m^3 オーダー (TgT-5~TgT-11) へと次第に縮小している。すなわち AsT から ThT までの誕生から最初の約 540 年間に、総噴出量の 9 割以上 (テフラの 8 割程度、溶岩流の 9 割以上) が噴出したが、TgT-1 以降の約 770 年間は噴出量も著しく減少し、噴出率 (約 $0.4 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ky}$) もそれ以前 (約 $4.0 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{ky}$) と比較して 1/10 となっている。なお、明治~大正時代には噴火が頻発したが、山麓で明瞭なテフラは確認できない (筒井・他, 2005)。したがって、その規模はさらに縮小しているといえる。

4-7 山体の成長

高千穂峰と御鉢のピークを通る東西方向の地形断面を Fig. 16 に示す。地表面下に隠れている高千穂峰の西側山体斜面については、火山基本図「霧島山 (縮尺 1/10,000, 1985)」をもとに、現在地表面にみえている高千穂峰の北側及び南側山体斜面を参考に、滑らかな曲線で等高線を結び復元した。御鉢の比高は、東側火口縁で火口底から約 250 m 程度で、火口底の約 30 m 下には高千穂峰の山体斜面が存在している。このため、山体の比高

に対して 9 割にも達する深い火口を持つといえるが、火口壁の下半部は崖錐堆積物などに覆われ、実際に観察できるのは山体の上部 5 割程度である。

火口壁での観察及び推定した断面から、現在の山体の下部に、主に KzS で構成される比高 150 m 程度の山体 (火砕丘) が埋没していることがわかる。その上位に ThT からなる比高 80 m 程度の山体 (火砕丘) が重なり、TgT は高千穂峰との鞍部にあたり、比較的平坦な地形であった東側火口縁だけに 20 m の層厚で堆積している。

したがって、火口壁に露出する堆積物の大半は準プリニー式噴火による KzS と ThT であり、これら 2 回の噴火によって現在とほぼ同じ規模の山体が形成されたといえる。換言すると、溶岩流やブルカノ式噴火及び水蒸気噴火のテフラは、いずれも小規模で山体斜面も急であるため、火口近傍にとどまることができず、山体の上方への成長にほとんど寄与していない。

規模の大きな準プリニー式噴火では、火口近傍に厚くテフラが集積し、様々な溶結度のアグルチネートが出現した。アグルチネートを形成した ThT-a, ThT-b, ThT-c の噴出量は、 $10^7 \sim 10^6 \text{ m}^3$ オーダーである。一方、アグルチネートを形成していない MsS 及び TgT-4b の噴出量は、 10^5 m^3 オーダーである。なお、TgT-2 も 10^5 m^3 オーダーの噴出量しかなく、火口縁東側では非溶結であるが、火口縁南西側でアグルチネートとなっている。TgT-

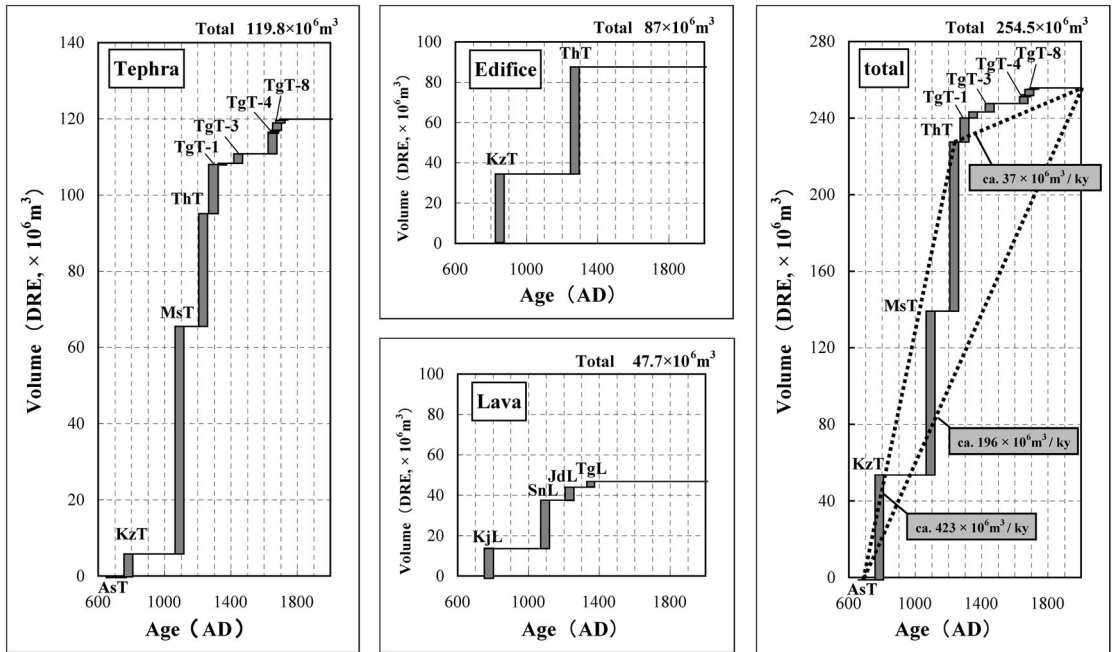


Fig. 15. Cumulative magma volume (DRE) versus calibrated age of each eruption of Ohachi volcano. Light: tepura, upper middle: volcanic edifice, lower middle: lava and left: total erupted material.

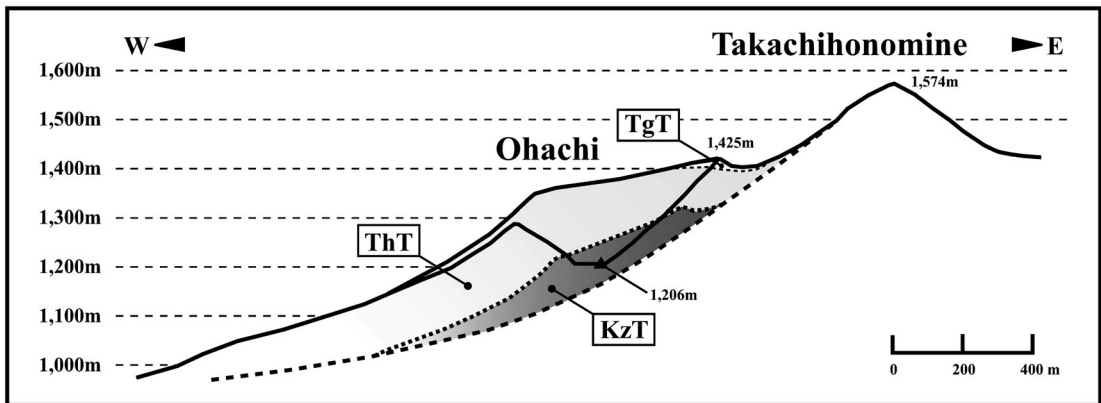


Fig.16. Cross section of the Ohachi volcano.

2のアグルチネートは、まだ高温の溶岩流 (TgL) をスコリアが直接覆ったために生じた特殊な事例であろう (類似例; Bacon, 1983)。このように、御鉢では、 10^6 m^3 以上の噴出量の準プリニー式噴火が、山体を大きく成長させるうえで重要な役割を果たしている。

なお、井ノ上 (1988) は、御鉢の西側山体斜面に存在する、火口縁から標高 1,100m 付近まで連続する凹地形について、火口から流出した最も新しい溶岩流 (御鉢溶岩 VII; TgL に対比) の溶岩堤防と考えた。しかし御鉢火口

周辺の噴出物分布図 (Fig. 17) に示すように、この凹地形は少なくとも ThT-c によって覆われており、TgL はすでに存在した凹地形を選択的に流下したに過ぎない。このような地形は、五島列島福江島の鬼岳火山 (長岡・古山, 2004) の事例のように、スコリア噴火と溶岩の流出が同時に行なわれたときに形成される火砕丘でしばしば認められ、溶岩の流下する方向に降下した火砕物が、溶岩流によって破壊・運搬されることで形成される。KzS の噴火でも西側山麓に KzJL を流出しており、この噴火

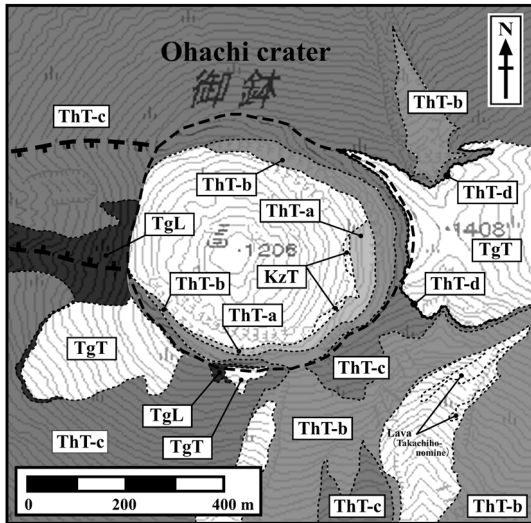


Fig. 17. Distribution of tephra and lava deposits around Ohachi crater.

で出現した山体は現在の御鉢と同様に、西側火口縁が低い形態であったと考えられる。ThTの噴火では、この地形をほとんど覆い隠すように多量の火砕物が火口近傍に堆積したものの、西側火口縁が最も低いという形状に変化はなく、JdLも西側に流下しており、続くThT-cの噴火後も西側火口縁が最も低いという形状に大きな変化はなかった。

5. ま と め

御鉢のテフラと溶岩流の関係を精査し、御鉢の噴火様式とその特徴、噴火年代について検討した。また、山麓と山体のテフラの対応関係から山体の形成史について検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 山麓において御鉢のテフラは、下位よりAsT, KzT, MsT, ThT及びTgT-1~TgT-11の15層が識別される。これらの噴火様式は、準プリニー式噴火とブルカノ式噴火で、水蒸気噴火を伴うこともある。溶岩流は、山体斜面から山麓に分布するKjL, SnL, JdL及びTgLと、火口内に残存するCrLの5つが識別される。溶岩流は、それぞれKjLがKzS, SnLがMsS, JdLがThT, TgLがTgT-2の噴火時に流出した。すなわち山麓に分布する溶岩流は、すべて準プリニー式噴火に伴っている。

2) 御鉢は約1,300年前のAsTの噴火によって誕生して以降、約 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ のマグマを地表に噴出している。このうち8割以上がテフラとして噴出した。また、AsTからThTまでの最初の約540年間に、総噴出量の9割以上を噴出し、現在とはほぼ同じ規模の山体を形成してい

る。TgT-1以降の約770年間も小規模な噴火を繰り返したが、噴出量は1/10と著しく減少している。特に、Sm-KP(1716~1717年)以降の噴火は、現在テフラが確認できないほど小規模である。

3) 山体のほとんどはKzSとThTの2回の噴火で形成されている。2回の噴火はいずれも比較的大規模な準プリニー式噴火($10^7 \sim 10^6 \text{ m}^3$ オーダー)で、多量のテフラが火口近傍に厚く堆積することで山体が大きく成長している。同じテフラであっても、ブルカノ式噴火や水蒸気噴火及び小規模な準プリニー式噴火(10^5 m^3 オーダー)によるテフラは、溶岩流同様に火口壁に存在しないか、存在してもごくわずかしき認められず、山体の上方への成長にはほとんど寄与していない。

4) 最大規模であったThTの噴火では、山麓に分布するThT-a, ThT-b及びThT-cの噴火時に多量のテフラが火口近傍に厚く堆積し、それぞれが厚いアグルチネートを形成している。アグルチネートは、山体をより強固にするため、山体の上方への成長に重要な役割を果たしている。

謝 辞

鹿児島大学理学部の井村隆介氏、株式会社レアックスの藤野直樹氏、株式会社ダイヤコンサルタントの尾関信幸氏、東北大学東北アジア研究センターの宮本 毅氏、国土交通省国土技術政策総合研究所の伊藤英之氏、日本工営株式会社の田島靖久氏には、現地でも議論して頂きました。特に、宮本 毅氏には一部噴出物の全岩化学組成分析をして頂き、分析値について有益な助言を頂きました。鹿児島県立武岡台高等学校の成尾英仁氏、宮崎県都城教育委員会の柔畑光博氏、鹿児島県埋蔵文化財センターの東 和幸氏には考古学関係に関する知見を教えて頂きました。現地での議論や教示頂いた知見は、本論をまとめるうえで大変有意義でした。

独立行政法人産業技術総合研究所の山元孝広氏には、草稿に対し建設的有益なご意見を頂きました。鹿児島大学理工学研究科のMaria Hannah Mirabueno氏には、英文要旨の不備を指摘して頂きました。国土交通省九州地方整備局宮崎河川国道事務所には様々な便宜を図って頂きました。査読者の下司信夫氏、新堀賢志氏及び「火山」編集委員の川邊禎久氏には建設的な意見を頂き、本論の内容は大きく改善されました。

以上の方々から感謝いたします。なお、本論は、著者のうち筒井正明が、平成5年度に鹿児島大学へ提出した修士論文にその後の知見を加えたもので、研究には文部省科学研究費(62540588及び04640710)を使用しました。

引用文献

- Bacon, C. R. (1983) Eruptive history of Mount Mazama and Crater Lake Caldera, Cascade Range, U.S.A. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **18**, 57-115.
- Bronk Ramsey C. (1995) Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: The OxCal program. *Radiocarbon*, **37**, 425-430.
- Bronk Ramsey C. (2001) Development of the radiocarbon program OxCal. *Radiocarbon*, **43**, 355-363.
- 遠藤 尚・小林ローム研究グループ (1969) 火山灰層による霧島熔岩類の編年(試論). 霧島山総合調査報告書, 13-30.
- Fierstein, J. and Nathenson, M. (1992) Another look at the calculation of fallout tephra volumes. *Bull. Volcanol.*, **54**, 156-167.
- 東 和幸 (1996) 南九州の火山灰と土器型式-アカホヤ火山灰以降-. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (VII), 48-59.
- 伊田一善 (1948) 南九州の天然ガスと地質について. 石油技術協会誌, **13**, 251-259.
- 井村隆介 (1991) 諏訪之瀬島火山の最近 200 年間の噴火堆積物-火山砂層による噴火活動の消長の評価-. 地質雑, **97**, 865-868.
- Imura, R. (1992) Eruptive history of Kirishima volcano during the past 22,000 years. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, **27**, 73-89.
- 井村隆介 (1994) 霧島火山の地質. 震研彙報, **69**, 189-209.
- 井村隆介・小林哲夫 (1991) 霧島火山群新燃岳の最近 300 年間の噴火活動. 火山, **36**, 135-148.
- 井村隆介・小林哲夫 (2001) 霧島火山地質図 (5 万分の 1). 火山地質図, **11**, 地質調査所.
- 井村隆介・古賀政行 (1992) 霧島火山および入戸火砕流の ¹⁴C 年代. 火山, **37**, 99-102.
- 井ノ上幸造 (1988) 霧島火山群高千穂複合火山の噴火活動史. 岩鉱, **83**, 26-41.
- Inoue, K. (1993) Across-arc minerological and variations in Kirishima Volcano Group and its implication in the genesis of the volcanism of the Ryukyu arc (I). *Sci. Hiroshima Univ., C.*, **9**, 735-798.
- 小林哲夫 (1979) 霧島山における溶結火砕岩の産状. 火山, **24**, 186.
- 小林哲夫 (1984) 霧島火山の御鉢火砕丘. 空中写真による日本の火山地形 (日本火山学会編), 東京大学出版会, 100-101.
- 小林哲夫 (1986a) 桜島火山の形成史と火砕流. 文部省科 研費自然災害特別研究, 研究計画「火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流) の特質と災害」報告書, 137-163.
- 小林哲夫 (1986b) 桜島火山の断続噴火によって形成された火山灰層. 鹿児島大学南科研資料センター報告特別号, **1**, 1-12.
- Kobayashi, T. and Kagiyama, T. (1988) Kirishima Volcano. Guide book of post-conference scientific excursions, Kagoshima International Conference on Volcanoes, Volcanol. Soc. Japan, 1-11.
- Kobayashi, T., Aramaki, S., Watanabe, T. and Kamada, M. (1981) Kirishima Volcano. In IAVCEI symposium filde excursion guide to Sakurajima, Kirishima and Aso Volcanoes, Volcanol. Soc. Japan, 18-32.
- 柔畑光博・東 和幸 (1997) 南九州の火山灰と考古遺物. 月刊地球, **19**, 208-214.
- 松元拓朗 (1997) 古地磁気学的手法による霧島火山御鉢噴出物の年代. 古地磁気学的手法を用いた火山活動史の復元, 京都大学防災研究所共同研究集会報告 9S-4, 京都大学防災研究所, 23-28.
- 宮地六美 (1965) 宮崎県西諸郡郡高原地方の火山砕屑岩類. 九州大学教養部地学研究報告, **12**, 21-31.
- 宮崎県埋蔵文化財センター (1998) 荒迫遺跡. 宮崎県埋蔵文化財センター発掘調査報告書, **11**, 252p.
- 長岡信治・古山勝彦 (2004) 五島列島福江島, 鬼岳火山群の噴火史. 地学雑誌, **113**, 349-382.
- 中村真人 (1987) 霧島火山群の活動変遷史-テフラによる噴火規模と年代推定の試み-. 地団研専報, **33**, 179-188.
- 成瀬 洋 (1966) 霧島火山東方の第四紀 Tephra. 資源研彙報, **66**, 15-33.
- 小田亮平 (1922) 霧島火山地域地質調査報文. 震災予防調査会報告, **96**, 1-58.
- 岡田 肇 (1985) 霧島火山群の噴出物と発達史. 火山, **30**, 315.
- 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.
- Okuno, M., Nakamura, T. and Kobayashi, T. (1998) AMS ¹⁴C dating of historic eruptions of the Kirishima, Sakurajima and Kaimondake volcanoes, southern Kyushu, Japan. *Radiocarbon*, **40**, 825-832.
- 大森房吉 (1918) 霧島山噴火. 日本噴火志 (上編), 震災予防調査会報告, **86**, 177-190.
- 沢村孝之助・松井和典 (1957) 5 万分の 1 地質図「霧島山」及び説明書. 地質調査所, 58p.
- 進野 勇 (1966) 霧島火山の岩石学的研究. 岩鉱, **56**, 56-74.
- 早田 勉 (1997) 火山灰と土壤の形成. 宮崎県史 (通史編 原始古代 1), 33-77.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., van der Plicht, J. and Spurk, M. (1998) INTCAL 98 radiocarbon age calibration, 24,000-0cal BP. *Radiocarbon*, **40**, 1041-1083.
- 高原町教育委員会 (2003) 粉砕山遺跡-古代遺構・遺物編-狭野地区県営圃場整備事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書 (1)-. 高原町文化財調査報告書, **10**, 158p.
- 筒井正明・富田克利・小林哲夫 (2005) 霧島・御鉢火山における 2003 年 12 月以降の噴気活動と明治~大正時代の火山活動. 火山, **50**, 475-489.
- 歌田久司・鍵山恒臣・霧島火山電磁気研究グループ (1994) 霧島火山の深部比抵抗構造 (1). 震研彙報, **69**, 241-255.
- Walker, G.P.L. (1973) Explosive volcanic eruptions - a new classification scheme. *Geol. Rundsch.*, **62**, 431-446.

(編集担当 川邊禎久)