# 国東半島,両子火山群-岡ノ岳火山の噴火活動

堀 川 義 之<sup>\*,†</sup> · 永 尾 隆 志<sup>\*</sup> · 奥 野 充<sup>\*\*</sup>

(2015年10月8日受付, 2015年12月11日受理)

## Eruptive Activity of Okanodake Volcano, Futago Volcanic Group, Kunisaki Peninsula, NE Kyushu, Japan

Yoshiyuki Horikawa<sup>\*,†</sup>, Takashi Nagao<sup>\*</sup> and Mitsuru Okuno<sup>\*\*</sup>

We investigated the geology of Okanodake volcano and the area adjacent to it in the Futago Volcanic Group, NE Kyushu, Japan. Based on the geology and petrology of this area, the formation of Okanodake Volcano (biotite-hornblende dacite) began with phreatomagmatic eruptions and ceased with effusion of lava. The age of the eruption is assumed to be 1.19 Ma. The volcanic products consist of pyroclastic deposits, pyroclastic surge deposits and block-and-ash flow deposits, and intrusive rock. SiO<sub>2</sub> contents range from 63-67 wt.% and K<sub>2</sub>O contents range from 1.9-2.4 wt.%. Each of the volcanic products is classified within the calc-alkali series. The volume of the various volcanic products were calculated to be ca. 0.07 km<sup>3</sup>, 0.008 km<sup>3</sup>, and 0.002 km<sup>3</sup>, respectively. The total volume is ca. 0.06 DRE km<sup>3</sup>. Key words : Futago Volcanic Group, Okanodake Volcano, phreatomagmatic eruption, block-and-ash flow deposit, lava dome

## 1. はじめに

☆ご子火山群<sup>注1)</sup>は、中部九州の国東半島主要部を占める第四紀火山であり(松本・成重、1985)、姫島火山や由布・鶴見火山群などと共に火山フロントを形成している(Fig. 1).この火山群は、中央部の溶岩ドーム群とそれを取り囲む火山砕屑物からなり(石塚・他、2009)、約2.0~1.0 Maにかけて形成されたと考えられている(Fig. 1:鎌田・他、1988;松本・他、2012 など).

中央部の読載地域(標高 160~250 m)は、黒木山 (499.5 m)、伊美山 (516.0 m)、 満子山 (720.2 m)、 文殊山 (616.0 m) および千燈岳 (605.6 m) といった火山砕屑物や溶岩ドー ムに囲まれ、伊美川およびその支流が下谷している地域 を示す (Fig. 2). この地域には松本・成重 (1985)の

*	〒753-8512 山口市吉田 1677-1
	山口大学大学院理工学研究科
	Graduate School of Science and Technology, Yamaguchi
	University, 1677-1 Yoshida, Yamaguchi 753-8512, Japan.
**	〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1

福岡大学理学部地球圈科学科 · 産学官連携研究機関 国際火山噴火史情報研究所

Department of Earth System Science, Faculty of Science, Also; AIG Collaborative Research Institute for International Study on Eruptive History andInformatics, Fukuoka University, 8–19–1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814– 0180, Japan. 製台山(453.0 m)と簡2倍(400.0 m)を構成する黒雲母 角閃石デイサイト質の奥台山溶岩,赤根層および奥台山 溶岩の一部である奥台山凝灰角礫岩とした火砕堆積物が 分布している.筆者らは,赤根地域の地質調査と岩石記 載から,地質ユニット区分と層序について再検討した. その結果,松本・成重(1985)の奥台山溶岩と赤根層を, 奥台山溶岩ドーム,岡ノ岳火砕堆積物,岡ノ岳溶岩ドー ムおよび岡ノ岳貫入岩体に区分し直し,岡ノ岳溶岩ドー ムや岡ノ岳火砕堆積物などが一連の噴火活動によって形 成されたと考えた(Fig. 3).本稿では,これら一連の噴 出物の岩相,層序,岩石記載および分布から,この噴火 の推移や規模,年代を報告する.また,両子火山群の噴 火史において末期に活動したと考えられる岡ノ岳噴火の

<sup>†</sup>現所属:**〒**814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学産学官連携研究機関国際火山噴火史情報研 究所

Present address: AIG Collaborative Research Institute for International Study on Eruptive History and Informatics, Fukuoka University, 8–19–1 Nanakuma, Jonanku, Fukuoka 814–0180, Japan.

Corresponding author: Yoshiyuki Horikawa e-mail: yhorikawa@fukuoka-u.ac.jp

論説



Fig. 1. (a) Location map of Futago Volcanic Group. The rectangle corresponds to the area shown in (b). (b) Simplified geological map of the Futago Volcanic Group, Kunisaki Peninsula (modified from Ishizuka *et al.*, 2009). Open circles with values indicate fission-track and/or K-Ar ages from <sup>a</sup>; Matsumoto *et al.* (2012), <sup>b</sup>; Kamata *et al.* (1988), <sup>c</sup>; Ishizuka *et al.* (2005), and <sup>d</sup>; Hoshizumi *et al.* (1997). The rectangle corresponds to the area shown in Fig. 2.



Fig. 2. Topographic map of the Akane area and surrounding region (contour interval is 50 m). Base map is a 1:25,000-scale topographic map of "Futagosan" and "Kagachi" published by the Geographical Survey Institute. The rectangle corresponds to the area shown in Fig. 3.

意義について考察する.

#### 2. 両子火山群の地質概略:研究史

## 2-1 地質層序

河野 (1937) は、両子火山群を第一期から第四期の活 動期に区分した.第一期の噴出物は国東半島中央部に噴 出した角閃石安山岩の溶岩で、大部分が珪化作用を受け 著しく変質している.第二期は両輝石角閃石安山岩の火 砕岩類を噴出した活動期で両子火山群の主体を形成し た.その後の第三期には両輝石角閃石安山岩の溶岩流や 角閃石安山岩の溶岩ドームが形成され,第四期には黒雲 母角閃石安山岩の溶岩が流出したと考えた.これに従う と,岡ノ岳火山は,第四期に相当する.国東半島全域の 地質をまとめた松本・成重 (1985)は、中央部に浸食・露 出した中新世の字佐層,鮮新世の鷲巣岳安山岩を覆い、 軽石流堆積物(長水層)、凝灰角礫岩類,溶岩類の順で両 子火山群が活動したと考えた (Fig. 4).中村・他 (1976) は南麓の枠築市大田俣水で軽石流堆積物<sup>注2)</sup>を記載し、 両子火山群南麓で,下位より軽石流堆積物,岩屑な

<sup>&</sup>lt;sup>注1)</sup>この火山の名称は,両子火山群,両子火山,両子山火山など,先行研究により異なるが,本稿では両子火山群 (Futago Volcanic Group)を使用する.

注2) 主に軽石を含む火砕流堆積物を,軽石流堆積物 (pumice flow deposit) として記述する.



Fig. 3. Geological map of the Akane area (contour interval is 20 m). Open circle with number indicates locality of the representative outcrop. Closed circle with number indicates sampling site.

だれ堆積物, 扇状地堆積物を記載し, それぞれ 弁分火砕 流堆積物, 石丸岩屑なだれ堆積物, 両子山麓扇状地堆積 物とした. 伊藤・他 (1997) は, 北麓に分布する軽石流堆 積物を竹田津凝灰岩, 土石流堆積物を満子山凝灰角礫岩 とした. 石塚・他 (2009) は, 両子火山群の周囲を取り囲 む火山砕屑物を, 挟在する 1~3 枚の軽石流堆積物を境 として上部火砕堆積物と下部火砕堆積物に区分した (Fig. 4). この下部火砕堆積物の分布は, 松本・成重 (1985) の半島中央部の宇佐層にほぼ相当する (Fig. 4).

## 2-2 放射年代

両子火山群の放射年代は、フィッション・トラック (FT)年代とK-Ar年代が報告されている(Fig. 1).上部 火砕堆積物は、FT年代では、竹田津凝灰岩の軽石から 1.7±0.4 Ma(星住・他, 1997)、弁分軽石流堆積物の軽石 から1.2±0.4 Ma(石塚・他, 2005)が報告されている. また,弁分軽石流堆積物では 1.47±0.04 Ma の K-Ar 年代 も得られている(石塚・他, 2005). K-Ar 年代では,鎌 田・他 (1988)が中央部の溶岩について 1.5~1.1 Ma,松 本・他 (2012)が溶岩や火山砕屑物について 2.0~1.0 Ma を得ている.赤根地域の奥台山からは 1.19±0.06 Ma の K-Ar 年代値が得られている(鎌田・他, 1988).

#### 3. 岡ノ岳火山とその周辺の地質・岩石記載

ここでは、岡ノ岳とその周辺の赤根地域の地質と岩石 記載を報告する.本地域を構成する地質は、下位から下 部火砕堆積物、輝石角閃石安山岩溶岩、奥台山溶岩ドー ム、岡ノ岳火砕堆積物、岡ノ岳溶岩ドーム、岡ノ岳貫入 岩体からなる (Fig. 3).岡ノ岳火砕堆積物は松本・成重 (1985)の赤根層および奥台山溶岩に含まれる奥台山凝灰 角礫岩に相当する (Fig. 4).また、松本・成重 (1985)の



Fig. 4. Comparison of stratigraphy in the Akane area. Asterisk symbols are the pre-Futago Volcanic Group in Matsumoto and Narishige (1985).

奥台山溶岩を奥台山溶岩ドーム,岡ノ岳溶岩ドームおよび岡ノ岳貫入岩体に再区分した.新たに定義した地質ユニットには先行研究での模式地がないため新たに設定した.

## 3-1 下部火砕堆積物(定義;石塚・他, 2009)

石塚・他 (2009)の下部火砕堆積物の一部に相当する. 下部火砕堆積物は,赤根地域において著しく変質してい る. 岩相は凝灰角礫岩~凝灰岩を示し,含まれる岩塊は 最大直径 5 m にもおよぶ.主に block-and-ash flow 堆積 物とラハール堆積物からなり,本地域南方の両子山北西 麓では一部溶岩を挟む.これらを構成する火山岩は斜方 輝石角閃石安山岩~デイサイトである.

## 3-2 輝石角閃石安山岩溶岩(定義;石塚・他, 2009)

石塚・他 (2009) の輝石角閃石安山岩溶岩の一部に相 当する.赤根地域に分布する両子火山群の輝石角閃石安 山岩溶岩は,斜方輝石角閃石安山岩~デイサイト質で, 両子山と文殊山の溶岩ドームの一部と貫入岩からなる. これらは下部火砕堆積物中に貫入し噴出している.

斑晶鉱物は主に斜長石,角閃石,斜方輝石および不透 明鉱物であり,まれに単斜輝石の捕獲結晶を有する.斜 長石斑晶は 0.3~6.0 mm の自形~半自形で双晶や累帯構 造を示す.角閃石斑晶は0.5~7.5 mmの自形で累帯構造 を示し、リムはオパサイト化して細粒の酸化物に分解し ているものもある.斜方輝石斑晶は0.5 mm以下の自形 で無色~淡黄色の弱い多色性を示す.不透明鉱物は0.1 mm 程の微斑晶である.石基は斜長石,斜方輝石,角閃 石,ガラスおよび不透明鉱物からなりハイアロピリ ティック~ハイアロオフィッティック組織である.

## 3-3 奥台山溶岩ドーム(再定義)

奥台山溶岩ドームは,灰色の黒雲母角閃石デイサイト からなる.この溶岩ドームは,松本・成重 (1985)の奥台 山溶岩の一部(奥台山)に分布する溶岩である (Fig. 4). 本稿では,岡ノ岳北部の Loc. 15 (Fig. 3)を模式地とする. 本溶岩ドームは塊状溶岩で,特徴的に最大径 4 mm の黒 雲母斑晶を伴う.下部火砕堆積物を覆い,岡ノ岳火砕堆 積物に覆われる.

斑晶鉱物は斜長石,角閃石,黒雲母,石英および不透 明鉱物である。斜長石斑晶は0.5~4.0 mmの自形~半自 形で双晶や累帯構造を示す。角閃石斑晶は0.5~1.5 mm の自形~半自形で累帯構造を示す。黒雲母斑晶は0.5~ 4.0 mmで自形~半自形で,リム部が融食されているもの もある。石英斑晶は0.5 mm以下で全て融食形をしてい る.不透明鉱物は 0.3~0.5 mm の微斑晶である.石基は 斜長石,角閃石,ガラスおよび不透明鉱物からなりハイ アロピリティック組織である.

#### 3-4 岡ノ岳火砕堆積物(新称)

岡ノ岳火砕堆積物は、下部の岡ノ岳火砕サージ堆積物 と上部の岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物に細分できる. これらは、松本・成重 (1985)の赤根層および奥台山凝灰 角礫岩に相当する (Fig. 4).

## 3-4-1 岡ノ岳火砕サージ堆積物

岡ノ岳火砕堆積物下部の総層厚約15mの成層した火 山礫凝灰岩~凝灰岩層を岡ノ岳火砕サージ堆積物と命名 する. 本稿では, Loc. 2 (Fig. 3) を模式地とする. 層理面 の傾斜は主に 20~30°北西方向で,北部の奥台山近傍で は局所的に 20°東~南東方向に傾斜する. なお層理面が 東~南東方向に傾斜する地点に分布する堆積物の構成物 粒度は小さく(最大でも3cm),近傍に位置する奥台山 溶岩ドームから供給されたものとは考えられない. 層理 面の示す東~南東方向の傾斜は原地形(当時の奥台山溶 岩ドームの南斜面)を反映しているだけと考えられる (Fig. 3). これらは下部火砕堆積物を不整合に覆うと考え られる. 岩相は平行または斜交葉理を示す火山礫凝灰岩 (各ユニットの厚さ10~50 cm)と凝灰岩(各ユニットの 厚さ数 cm) からなる.火山礫凝灰岩に含まれる礫は,主 に3cm以下で淘汰は比較的良い. 平行または北西に傾 斜した低角の斜交葉理構造をもち,5cmを超える礫粒子 の長軸が南東方向に傾いたインブリケーションと共に、 波長 0.5~3 m. 波高 0.1~0.4 m のデューン構造が認めら れ、北西方向へ流れたと考えられる (Locs. 1 and 2 in Fig. 3). また、弾道岩塊によるインパクト構造が観察され (Loc. 2 in Fig. 3; Fig. 5), インパクト構造から西南西方向 の岡ノ岳から飛来したと考えられる.細粒凝灰岩層は最 大直径 8 mm の火山豆石が含まれる (Loc. 3 in Fig. 3; Fig. 6). この火山豆石は、凝集した火山灰の表面を細粒火山 灰が被覆したものである (Fig. 6c). この堆積物の構成物 は、緑色~灰白色に変質した角閃石安山岩~デイサイト 岩片、暗灰色~灰色の新鮮な黒雲母角閃石デイサイト岩 片および稀に変質しているが黒雲母と角閃石を含む白色 軽石からなり、基質はこれらと同質の細粒物からなる.

黒雲母角閃石デイサイト岩片は気泡に乏しく緻密であり、ほとんどが粒径3cm以下の角礫から亜角礫で、最大10cmのものも含む.また、7cm以上の岩片はほとんど 亜角礫である.顕著な冷却節理は確認できない.変質した角閃石安山岩~デイサイト岩片の粒径は主に3cm以下の亜角礫であり、最大直径は15cmに達する.

以上のように、岡ノ岳火砕堆積物の下部は、比較的淘 汰の良い破砕岩片からなり、平行および低角の斜交葉理 構造を示す火山礫凝灰岩と凝灰岩の岩相から,希薄な流 れから堆積した火砕サージ堆積物と考えられる(例えば Sohn and Chough, 1989).また,岩片によるインパクト構 造と火山豆石の存在から,噴火様式としては珪長質マグ マによるマグマ水蒸気噴火によるものと考えられる.少 量含まれる白色軽石がマグマ水蒸気噴火に関わったと考 えられ,同質のマグマに由来する黒雲母角閃石デイサイ ト岩片も含めて本質物質として扱うことができる.発泡 の乏しい黒雲母角閃石デイサイト岩片が白色軽石より多 いのは,珪長質マグマが水と接触する時に大部分が固結 していた可能性が考えられる(例えばKano and Takarada, 2007).変質した角閃石安山岩~デイサイト岩片は,両 子火山群の下部火砕堆積物に由来する類質物質と考えら れ,本質物質と比べてその含有量は多い.

#### 3-4-2 岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物

岡ノ岳火砕堆積物上部の総層厚約 70mの凝灰角礫岩 ~凝灰岩層を岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物と命名す る. 本稿では, Loc. 5 (Fig. 3) を模式地とする. 層理面は 北西方向に 10~30°傾いている (Fig. 3). これらは、下位 の岡ノ岳火砕サージ堆積物を覆うが、東部の岡ノ岳付近 では下部火砕堆積物を直接覆い、岡ノ岳溶岩ドームとは 指向関係にあると考えられる (Fig. 3). 岡ノ岳付近では, 塊状無層理の火山礫凝灰岩の岩相を示し、粒径は主に6 cm 以下で、下位の火砕サージ堆積物より淘汰は悪い (Loc. 7 in Fig. 3). また,局所的に直径 6~12 cm の黒雲母 角閃石デイサイト岩片が平行に配列し、岩片の長軸が南 東方向に傾くことから、岡ノ岳から北西方向へ流下した と推定される。岡ノ岳から離れた地点では成層した火山 礫凝灰岩~凝灰岩(各ユニットの厚さ10~50 cm)が見 られる (Loc. 4 in Fig. 3). Fig. 3 の B-B' 間ではほぼ連続 した露頭が認められ、下位から塊状または級化構造を示 す火山礫凝灰岩(各ユニットの厚さ1.5~2.5m;平均粒 径 5 cm 以下)から成層した火山礫凝灰岩~凝灰岩への 岩相変化を観察することができる. このような堆積構造 の層相変化は鉛直方向に5回以上繰り返している (Fig. 7). 最上部 (Loc. 6 in Fig. 3) では凝灰角礫岩の岩相を示 し、岩片は無発泡~弱発泡であり、塊状無層理で淘汰が 悪い. 大きい岩片(岩塊)には冷却節理が発達している (Fig. 8). この堆積物の構成物は,主に暗灰色~灰色の黒 雲母角閃石デイサイト岩片であり,稀に円磨された黒雲 母角閃石軽石も含む、緑色~灰白色に変質した角閃石安 山岩~デイサイト岩片は基底部付近にのみ少量含まれる (Fig. 7).

黒雲母角閃石デイサイト岩片は,発泡に乏しく新鮮で ある.基質は斜長石,角閃石,黒雲母,石英,不透明鉱 物および微細な岩片や粘土鉱物からなる.ガラス質の基



Fig. 5. Photograph of an impact sag structure in the Okanodake pyroclastic surge deposit at Loc. 2 (Fig. 3). Diameter of lithic fragment is about 7 cm. Arrow indicates flying direction of impact fragment.



Fig. 6. Photographs showing Okanodake pyroclastic surge deposits, which are composed of fine tuff and lapilli tuff layers, and include armored lapilli within fine-grained tuff layers. (a) Outcrop at Loc. 3 (Fig. 3). (b) Occurrence of armored lapilli in tuff layer. Arrows show armored lapilli. (c) Thin section of armored lapilli.



Fig. 7. Columnar sections of the Okanodake block-and-ash flow deposits. Observation sites are along B and B' in Fig. 3. Arrows indicate the lithological changes from massive lapilli tuff to layered tuff and lapilli tuff layers.



Fig. 8. Photograph of essential blocks in the Okanodake block-and-ash flow deposits at Loc. 6 (Fig. 3). Length of hammer is approximately 30 cm.

質はもともと少量であったが,現在では脱ガラス化作用 を受けて微細な結晶に置き換わっている.

黒雲母角閃石デイサイト岩片の最大直径は岡ノ岳付近 では 3~25 cm で、岡ノ岳からの距離とともに減少し 4 cm 以下となるため、岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物の 給源は岡ノ岳溶岩ドームであると考えられる.本ユニッ トと岡ノ岳火砕サージ堆積物との境界は明瞭ではない が、本ユニットの方が塊状無層理の火山礫凝灰岩の層厚 が大きく、変質した両子火山群の下部火砕堆積物に由来 する岩片の含有量が少ない (Fig. 7). 岡ノ岳溶岩ドーム との境界は観察できていないが、給源である岡ノ岳溶岩 ドームの成長と共に堆積していったものと考えられる.

黒雲母角閃石デイサイト岩片の斑晶鉱物は斜長石,角 閃石,黒雲母,石英および不透明鉱物である.斜長石斑 晶は0.5~3.5 mmの自形~半自形で双晶や累帯構造を示 す.角閃石斑晶は0.5~1.3 mmの自形~半自形で累帯構 造を示す.黒雲母斑晶は0.5~3.8 mmで自形~半自形を 示す事が特徴で,リム部が融食されている.石英斑晶は 0.5 mm 以下で全て融食形をしている.不透明鉱物は 0.3~0.5 mmの微斑晶である.石基は斜長石,角閃石,ガ ラスおよび不透明鉱物からなりハイアロピリティック組 織である.これらの記載岩石学的特徴は,次節で述べる 岡ノ岳溶岩ドームのものと同質である.

## 3-5 岡ノ岳溶岩ドーム(新称)

岡ノ岳溶岩ドームは、灰色の黒雲母角閃石デイサイト からなる.この溶岩ドームは、松本・成重(1985)の奥台 山溶岩の一部に相当する(Fig. 4).本稿では、岡ノ岳北 部のLoc.11(Fig. 3)を模式地とする.ここでは塊状溶岩 で、特徴的に最大径 4 mmの黒雲母斑晶を伴う.下部に は板状節理が認められる.溶岩ドーム最上部は東西方向 走向をもつ板状節理が発達した溶岩が東西の尾根沿いに 露出している。東部では両子火山群の下部火砕堆積物を 不整合に覆い,西部では岡ノ岳溶岩ドームから発生した 供給物である岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物と指交関 係であると考えられる。

斑晶鉱物は斜長石,角閃石,黒雲母,石英および不透 明鉱物である.斜長石斑晶は0.5~3.8 mmの自形~半自 形で双晶や累帯構造を示す.角閃石斑晶は0.5~1.4 mm の自形~半自形で累帯構造を示す.黒雲母斑晶は0.5~ 4.0 mmの自形~半自形でリム部が融食されている.石 英斑晶は0.5 mm以下で全て融食形をしている.不透明 鉱物は0.3~0.5 mmの微斑晶である.石基は斜長石,角 閃石,ガラスおよび不透明鉱物からなりハイアロピリ ティック組織である.以上の記載岩石学的特徴は、本溶 岩ドームの崩壊堆積物が,岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積 物である事と矛盾しない.

#### 3-6 岡ノ岳貫入岩体(新称)

岡ノ岳貫入岩体は、灰色の黒雲母角閃石デイサイトか らなる. この貫入岩体は、松本・成重 (1985)の奥台山溶 岩の一部に相当する (Fig. 4).本稿では、Loc. 7 (Fig. 3) を模式地とする. 岡ノ岳西方の 370m ピークの尾根に 沿って南北に円弧状に分布し、全体として東に傾斜して いる (Fig. 3).最大幅 10mで、岡ノ岳火砕堆積物に貫入 する.Loc. 7 (Fig. 3)ではこの貫入岩体と接する岡ノ岳 火砕堆積物は赤色酸化している.また南方では板状節理 が発達している.岡ノ岳貫入岩体は、岡ノ岳溶岩ドーム と同質の黒雲母角閃石デイサイトであり、岡ノ岳火砕堆 積物を貫いていることから、岡ノ岳溶岩ドームと岡ノ岳 火砕堆積物の噴火活動後に形成されたものと考えられ る.

斑晶鉱物は斜長石,角閃石,黒雲母,石英および不透 明鉱物である.斜長石斑晶は0.5~4.0 mmの自形~半自 形で双晶や累帯構造を示す.角閃石斑晶は0.5~1.5 mm の自形~半自形で累帯構造は示さず,淡緑茶色~緑茶色 の多色性を示す.黒雲母斑晶は0.5~4.0 mmの自形~半 自形であり,暗褐色~黄色の強い多色性を示す.また, リム部が融食されているものもある.石英斑晶は0.5~ mm以下で全て融食形をしている.不透明鉱物は0.3~ 0.5 mmの微斑晶である.石基は斜長石,角閃石,ガラス および不透明鉱物からなりハイアロピリティック組織で ある.

#### 4. 全岩化学組成

岡ノ岳火砕堆積物の黒雲母角閃石デイサイト岩片,岡 ノ岳溶岩ドーム,岡ノ岳貫入岩体および奥台山溶岩ドー ムの全岩化学組成分析を行った.分析には,山口大学総



Fig. 9. Major element compositions of the Okanodake and Okudaiyama volcanoes. The boundary lines in diagrams are after Gill (1981) and Miyashiro (1974). Dates for biotite-hornblende dacite lava and other Futago Volcanic Group are from Kawano (1937), Ishizuka *et al.* (2005), and Shibata *et al.* (2013).

合科学実験センター機器分析実験施設の全自動蛍光 X 線分析装置(理学/RIX3000)を使用した.分析法は永尾・ 他(1997)に従い、5倍希釈のガラスビードを用いた.分 析結果を Table 1 に示す.全岩化学組成分析を行った噴 出物の代表的な組成変化図を Fig. 9 に示す.また,比較 のために、Fig. 9 には他の両子火山群の溶岩の組成も図 示している.岡ノ岳火砕堆積物の黒雲母角閃石デイサイ ト岩片は SiO<sub>2</sub>; 65.2~67.1 wt.%, K<sub>2</sub>O; 2.0~2.1 wt.%, MgO; 1.8~2.2 wt.%, 岡ノ岳貫入岩体は SiO<sub>2</sub>; 65.9~66.6 wt.%, K<sub>2</sub>O; 2.2~2.4 wt.%, MgO; 2.3~2.5 wt.%, 岡ノ岳 溶岩ドームは SiO<sub>2</sub>; 64.3~64.9 wt.%, K<sub>2</sub>O; 1.9~2.0 wt.%, MgO; 2.8~3.0 wt.%, 奥台山溶岩 ドームは SiO<sub>2</sub>; 66.1 ~66.5 wt.%, K<sub>2</sub>O; 1.8~2.0 wt.%, MgO; 2.1~2.3 wt.% で ある.岡ノ岳溶岩ドーム,岡ノ岳貫入岩体,奥台山溶岩

Table 1. Major element compositions of the eruptive products of the Okanodake and Okudaiyama volcanoes.

Locality No.	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15
Geological Unit	Okanodake pyroclastic deposits	Okanodake pyroclastic deposits	Okanodake intrusive rock	Okanodake intrusive rock	Okanodake intrusive rock	Okanodake lava dome	Okanodake lavadome	Okanodake lava dome	Okudaiyama lava dome	Okudaiyama lava dome
SiO <sub>2</sub> (wt.%)	65.19	67.14	66.12	66.57	65.85	64.26	64.31	64.88	66.09	66.54
TiO 2	0.50	0.49	0.61	0.56	0.56	0.63	0.58	0.62	0.52	0.50
Al 2 O 3	17.13	16.78	15.55	15.87	16.06	15.66	16.36	15.47	16.60	16.49
FeO*	3.26	3.27	4.04	3.72	3.74	4.90	4.39	4.83	3.42	3.37
MnO	0.07	0.11	0.07	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07
MgO	1.81	2.15	2.49	2.26	2.31	2.96	2.80	2.89	2.25	2.06
CaO	5.70	4.00	4.42	4.38	4.69	5.47	5.50	5.16	5.11	4.79
Na2O	4.09	3.88	4.11	4.13	4.24	3.91	3.96	3.91	3.76	4.20
K <sub>2</sub> O	2.10	2.03	2.38	2.23	2.27	1.95	1.86	1.99	2.02	1.84
$P_2O_5$	0.15	0.16	0.21	0.21	0.19	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15

Total amount of Fe oxide expressed as FeO\* .

ドームおよび岡ノ岳火砕堆積物の黒雲母角閃石デイサイ ト岩片は概ね同じ組成範囲を示し、全てが中カリウム系 列ならびにカルクアルカリ系列に相当する (Fig. 9). ま た,他の両子火山群と比べると SiO<sub>2</sub> 含有量が高く, MgO の組成変化などに違いが認められ、FeO\*/MgO-SiO<sub>2</sub> 図では明瞭に異なった範囲にプロットされる (Fig. 9). これらは、岡ノ岳火山と奥台山溶岩ドームが一連の マグマ活動によることを示唆している.

## 5. 岡ノ岳噴火の推移・規模・年代

## 5-1 岡ノ岳噴火の推移

これまで述べてきたように、層序・分布と堆積構造か ら、奥台山溶岩ドーム噴出後に岡ノ岳火砕堆積物と岡ノ 岳溶岩ドームが一連の噴火によって形成されたと考えら れる. 岡ノ岳火砕サージ堆積物の給源は岡ノ岳付近と考 えられ、岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物は岡ノ岳溶岩 ドームと同時異相であり,本質物質である黒雲母角閃石 デイサイト岩片が岩石記載や全岩化学組成から、岡ノ岳 溶岩ドームに対比できる. 岡ノ岳火山の噴火推移のモデ ルを Fig. 10 に示す. この噴火は、まずマグマ水蒸気噴 火で始まり、岡ノ岳火砕サージ堆積物を形成した (Fig. 10a). 国東半島中央部のような内陸部で浅所に地下水が 十分に存在した理由として, 噴出した赤根地域が下部火 砕堆積物や輝石角閃石安山岩溶岩ドーム群に囲まれた凹 地であること, また基盤になる下部火砕堆積物が変質作 用による不透水層が形成していたことが考えられる.変 質帯における珪長質なマグマ水蒸気噴火と火砕サージの 発生は有珠山の 2000 年噴火で観測されている (例えば 宇井・他, 2002; 八幡, 2002). その後, 溶岩の流出に移 行して岡ノ岳溶岩ドームと山麓の岡ノ岳 block-and-ash flow 堆積物を形成した (Fig. 10b). 岡ノ岳 block-and-ash



Fig. 10. Schematic model of the Okanodake eruption. (a) Phreatomagmatic eruption and pyroclastic surge occur due to contact of between magma and groundwater.(b) Block-and-ash flow develops as the result of lava dome growth and collapse. (c) Magma intrudes at a new vent.

flow 堆積物にみられる鉛直方向に 5 回以上繰り返す塊 状または級化構造を示す火山礫凝灰岩から成層した火山 礫凝灰岩~凝灰岩への岩相変化は, block-and-ash flow の 規模の縮小(溶岩ドームの崩壊の規模の縮小)を示し, その繰り返しは岡ノ岳溶岩ドームが成長し崩壊するサイ クルを示すのかもしれない(Fig. 7). 岡ノ岳貫入岩体は, 岡ノ岳溶岩ドームと岡ノ岳火砕堆積物の形成後に岡ノ岳 火砕堆積物に貫入した(Fig. 10c). 岡ノ岳貫入岩体は,岡 ノ岳溶岩ドームと同質の黒雲母角閃石デイサイトや類似 した化学組成であること、また、岡ノ岳を囲むように円 弧上に分布し貫入方向が岡ノ岳方向にあることから、岡 ノ岳溶岩ドームと同じマグマ溜りから貫入した可能性が ある.新しく別の火道が形成されたのは、岡ノ岳溶岩 ドームが形成されたために火道が蓋をされ、別の方向に 貫入したことが原因であると考えられる.

#### 5-2 岡ノ岳噴火の規模

岡ノ岳火山の噴出量を Fig. 3 に示した現在の構成物分 布をもとにして見積もる. 岡ノ岳火砕堆積物は分布面積 が 0.53 km<sup>2</sup> である、この堆積物の平均層厚は、断面図 (Fig. 3)の各尾根をつなげることでおおよそ130mと考 えられる. したがって、噴出量は 0.07 km<sup>3</sup> となり、火砕 堆積物のみかけ密度を 2.0 g/cm<sup>3</sup>とすると、マグマ換算 (DRE) で 0.05 km<sup>3</sup> と計算される. 岡ノ岳溶岩ドームの 噴出量は、ドーム地形を底面 0.16 km<sup>2</sup>,比高 150 m とす ると 0.008 km<sup>3</sup>, 岡ノ岳貫入岩体は幅 10 m の貫入岩が 0.21 km<sup>2</sup>の面積にわたって貫入したとすると 0.002 km<sup>3</sup> となる、したがって、岡ノ岳火山の全体の噴出量は DRE 換算で 0.06 km<sup>3</sup> と見積もられる. ただし、これは浸食さ れた現在の分布から算出したものであるため、実際のも のよりやや少ない可能性がある.両子火山群の他の溶岩 ドームの体積を底径の面積と比高から求めると、最大 0.2 km<sup>3</sup>(両子山)から 0.008 km<sup>3</sup>(小門山)の範囲にあ り、岡ノ岳溶岩ドームはほぼ最小であるが、岡ノ岳火砕 堆積物まで加えるとそれらの範囲に入る.

## 5-3 岡ノ岳噴火の年代

これまでのところ、岡ノ岳についての放射年代は得ら れていないが、北側に隣接する奥台山溶岩については 1.19±0.06 Ma という K-Ar 年代が得られている(鎌田・ 他、1988).岡ノ岳火山と奥台山溶岩ドームは分布も近 接し岩石記載と化学組成も類似しており、両者が一連の マグマ活動によることを示唆している。岡ノ岳火砕堆積 物は、奥台山溶岩ドームに分布が規制され、その一部も 覆っているため (Fig. 3)、奥台山の形成以後のものと考 えられる.ここでは奥台山溶岩ドーム形成後すぐ (1.19 Ma) とする.

#### 6. 両子火山群の噴火史における岡ノ岳噴火の意義

両子火山群は,約2.0~1.0 Ma にかけて形成されたと 考えられており,奥台山溶岩の K-Ar 年代 (1.2 Ma)から みて,岡ノ岳噴火はその末期に相当する.岡ノ岳火砕堆 積物は赤根地域の凹地に厚く堆積し,凹地であるため再 移動も少なかったものと考えられ,現在まで比較的良好 に分布が残されていると判断される.そのため,噴火の 初期からの一連の噴出物がもっとも良く保存されている と考えられる.

中村・他 (1976) や松本・成重 (1985) は両子火山群全 体に分布する軽石流堆積物の給源として赤根地域の凹地 を考えており、カルデラの可能性を示唆しているが、ラ グブレッチャーなどの直接的な証拠は得られていない. また、下部火砕堆積物の浸食後に他の溶岩ドーム(両子 山や文殊山など)の噴出によって凹地が形成された可能 性もある.カルデラかどうかの検討は、さらに広域の下 部火砕堆積物の地質と年代、他の溶岩ドームの噴出時期 などの検討が必要である.

上記で述べた通り、岡ノ岳火山がマグマ水蒸気噴火か ら始まったのは、下部火砕堆積物や両子火山群の溶岩 ドーム群に囲まれた凹地に噴出したことと、基盤になる 下部火砕堆積物が変質作用により、不透水層を形成して いたことから、国東半島中央部のような内陸部でも十分 な水の供給が可能な環境があったためだと考えられる. 両子火山群の中央部は変質作用を被った地域が点在して おり、他の若い溶岩ドームにおいてもマグマ水蒸気噴火 があった可能性があるが、今のところマグマ水蒸気噴火 による堆積物は確認されていない.しかし、両子山溶岩 ドーム東~東南麓や文殊山溶岩ドーム東麓には blockand-ash flow 堆積物を確認できることから、初期のもの ほどその後に形成された溶岩ドームなどで破壊または被 覆されてわからなくなっている可能性がある。石塚・他 (2009)は、両子火山群の周囲を取り囲む火山砕屑物を、 軽石流堆積物を境として上部火砕堆積物と下部火砕堆積 物に区分し、中央部に古い堆積物が露出しているとして いる. しかし、石塚・他 (2009) によって下部火砕堆積物 とされる地域で、本研究によって、両子火山群末期に形 成された火砕堆積物が存在していることが明らかになっ た. また、下部火砕堆積物の block-and-ash flow 堆積物に ついて約1.0 Maの K-Ar 年代(松本・他, 2012)が報告さ れており (Fig. 1), 下部火砕堆積物中に噴出している若 い他の両子火山群の溶岩ドーム周辺の火砕堆積物につい ても層序を詳しく検討する必要がある.

#### 謝 辞

本研究は、著者の一人(堀川)の山口大学大学院理工 学研究科における研究の一部をまとめたものである。産 業技術総合研究所の星住英夫研究主幹には、現地で討論 していただいた。査読者の産業技術総合研究所の伊藤順 一博士、西日本技術開発株式会社の稲倉寛仁博士、およ び編集委員の京都大学の横尾亮彦博士には貴重な御指 摘・助言をいただき、本論文は大幅に改善された.記し て謝意を表します.

- Gill, J.B. (1981) **Orogenic andesites and plate tectonics**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 390 p.
- 星住英夫・伊藤順一・巌谷敏光・土谷信之 (1997) 国東半 島及び姫島の火山岩類及び堆積岩類のフィッション・ トラック年代.地球惑星科学関連学会 1997 年合同大 会予稿集, 670.
- 伊藤順一・星住英夫・巌谷敏光 (1997) 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅),地質調査所(現;産業技術総合 研究所地質調査総合センター),74 p.
- 石塚吉浩・水野清秀・松浦浩久・星住英夫 (2005) 豊後杵 築地域の地質.地域地質研究報告 (5万分の1地質図 幅),産業技術総合研究所 地質調査総合センター,83 p.
- 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・ 名和一成・実松健造・駒澤正夫 (2009) 20 万分の1 地質 図幅「中津」. 産業技術総合研究所 地質調査総合セ ンター.
- 鎌田浩毅・星住英夫・小屋口剛博 (1988) 中部九州-中国 地方西部の火山フロントの形成年代.月刊地球,10, 568-574.
- Kano, K. and Takarada, S. (2007) Cone-building block-andash flows: the Senyama volcanic products of O'e Takayama volcano, SW Japan. *Bull. Volcanol.*, 69, 563–575.
- 河野義禮 (1937) 兩子火山岩の化学的性質. 岩鉱, 18, 227-239.
- 松本幡郎・成重欽也 (1985) 大分県国東半島の火山地質. 熊本大学教養部紀要(自然科学), 20, 61-76.

- 松本哲一・星住英夫・廣田明成 (2012) 大分県国東半島両 子山火山の K-Ar 年代. 日本火山学会 2012 年度秋季 大会講演予稿集, 163.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. J. Sci.*, 274, 321–355.
- 永尾隆志・角縁 進・白木敬一 (1997) 全自動蛍光 X 線 分析装置(理学/RIX3000) による岩石中の主成分およ び微量元素組成の定量.山口大学機器分析センター報 告, 5, 10-15.
- 中村真人・辻 和毅・温湯勝相 (1976) 両子山火山の火砕 流様堆積物.火山,21,1-10.
- Shibata, T., Yoshikawa, M., Itoh, J., Ujike, O., Miyoshi, M. and Takemura, K. (2013) Along-arc geochemical variations in Quaternary magmas of northern Kyushu Island, Japan. In Orogenic Andesites and Crustal Growth (Gomez-Tuena, A., Straub, S.M. and Zellmer, G.F. eds), Geol. Soc. London, Special Publications, 385, 15–29.
- Sohn, Y. K. and Chough, S. K. (1989) Depositional processes of the Suwolbong tuff ring, Cheju Island (Korea). *Sedimentology*, 36, 837–855.
- 宇井忠英・池田保夫・小山真人・鎌田桂子・岡田 弘・ 新井田清信 (2002) 有珠山 2000 年噴火で発生した火砕 サージ.火山, 47, 333-337.
- 八幡正弘 (2002) 有珠火山 2000 年噴火におけるマグマ水 蒸気-水蒸気爆発による破砕深度とその時間的変化. 火山, 47, 263-278.

(編集担当 横尾亮彦)