

三宅島火山の連続脱ガスに伴う小噴火噴出物に含まれる
玄武岩本質物から推測する火道内マグマプロセス

下司 信夫*・篠原 宏志*

(2010年6月17日受付, 2010年11月24日受理)

Conduit Magma Process of Miyakejima Volcano Inferred from Basaltic Juvenile Materials
in the Products of the Small Ash Eruptions during the Continuous Degassing

Nobuo GESHI* and Hiroshi SHINOHARA*

The Miyakejima volcano repeats small ash eruptions from the degassing vent opening inside the A.D. 2000 caldera. The juvenile glassy fragments in the tephra indicate that the basaltic magmas with primitive composition are ascending in the open conduit and degassing at the shallow depth.

We examined the representative 12 tephra samples erupted between October 2001 and July 2010, and found the juvenile glassy fragments with basaltic character. Their fresh surfaces and free from alteration or weathering indicate that these glassy grains are juvenile materials. The glassy fragments occupy less than 1 vol.% of the tephra, that mainly consists of the fragments of lavas and pyroclastics derived from the previous edifice. The juvenile fragments consist of volcanic glass with pale-brownish color and euhedral crystals of plagioclase, clinopyroxene and olivine up to several tens micrometers across. Larger crystals of plagioclase and olivines more than 100 micrometers are also contained as microphenocryst.

The range of the Fo contents of the olivine microphenocrysts in the glassy fragments is 73–83, which is higher than that of the phenocryst olivine in the basaltic bombs erupted during the August 18, 2000 eruption and similar to that of the olivine phenocrysts derived from the primitive basaltic magma, indicating that the continuous degassing since the A.D. 2000 eruption has been driven by the basaltic magmas with primitive character. The low sulfur and chlorine contents in the groundmass glass indicate the degassing under low pressure.

Key words: Miyakejima, degassing, juvenile material, volcanic glass, tephra, magma

1. はじめに

三宅島をはじめとする多くの活動的火山では、しばしば大量の火山ガスが長期間連続的に放出される（たとえばエトナ火山: Aiuppa *et al.*, 2007; 薩摩硫黄島火山: Kazahaya *et al.*, 2002）。このような火山ガスの連続放出のメカニズムとしては、揮発性成分に富む低密度のマグマが火道深部から上昇し、火道最上部で揮発性成分を分離し相対的に高密度となったマグマが火道内を沈降する、いわゆる“火道内対流モデル”が提案されている (Kazahaya *et al.*, 2002; 2004)。火道内対流による脱ガスでは、揮発性成分に富むマグマの上昇と脱ガスしたマグマの下降は火道の中で定期的に行っているため、地表

へのマグマ物質の噴出や顕著な地殻変動等を伴わずに、火山ガスの噴出のみが継続するという特徴がある。このような火道内対流による脱ガスのみが進行している火山では、噴出物が得られないため、どのような組成のマグマがどの程度の深さまで上昇しているのかといった継続的な脱ガスを駆動するメカニズムを、物質科学的手法によって実証することが困難な場合が多い。

三宅島火山 (Fig. 1) では2000年7月～8月にかけての陥没カルデラ形成以降、カルデラ底南端に開口した火口 (主火口) 及びその周辺からの活発な火山ガス噴出活動が継続している。火山ガスの噴出は、2000年噴火の中では最大規模の噴火活動が発生した2000年8月中～下

* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 産総研第七事業所
産業技術総合研究所 地質情報研究部門
Geological Survey of Japan, AIST, AIST No.7, 1-1-1

Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567

Corresponding author: Nobuo Geshi
e-mail: geshi-nob@aist.go.jp

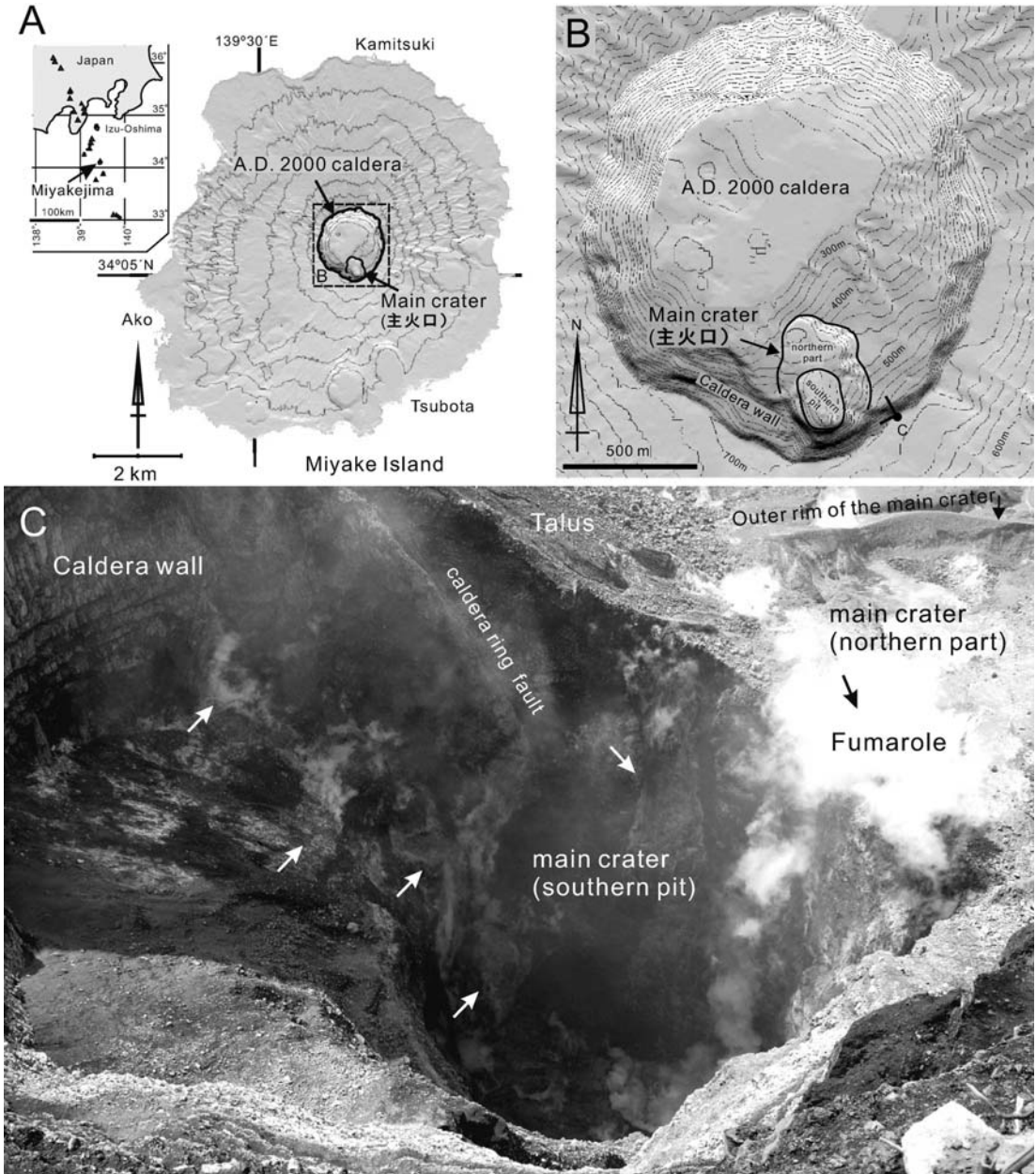


Fig. 1. A: The topographic map of the Miyakejima Volcano. Contour interval is 100 m. B: The relief map of the A.D. 2000 caldera. Point "C" shows the site from which the photograph Figure 1C was taken. Contour interval is 20 m. C: Inside of the main crater taken from the top of the southern rim of the caldera. Arrows indicate representative altered parts. Taken on May 26, 2009. The relief maps A and B were created from the DEM data (10 m mesh) published by Geographical Survey Institute with "Kashmir 3D" software.

旬から顕著となり、同年9～11月には数万トン/日の二酸化硫黄ガスの噴出が観測された (Kazahaya *et al.*, 2004). 火山ガス噴出量はその後次第に減少したものの、噴火から約9年が経過した2010年現在も、1000トン/日程度の二酸化硫黄ガスの噴出が継続している。この三宅島の火山ガスの連続噴出も、火道内を対流するマグマによって駆動されていると考えられている (Kazahaya *et al.*, 2004).

三宅島火山では、主火口からの火山ガスの連続噴出と同時に、細粒の火山灰を放出するごく小規模な噴火が繰り返し発生している (気象庁, 2005). これらの小噴火は、山麓部での降灰の確認や有色噴煙の目撃等によって認定されている。このほかに、微量の火山灰が陥没カルデラ縁の近傍のみに局所的に降下するような、より小規模な火山灰の放出活動も発生していることが知られている。我々は、これらの小噴火等の噴出物中に、発泡した火山ガラス質の粒子がごく少量ながら常に含まれていることを見出した。そして、これらの火山ガラス質の粒子の岩石学的解析から、これらが三宅島火山の連続的脱ガスを駆動しているマグマ物質であることを明らかにした。これらの火山ガラス質の粒子は、対流脱ガスが進行している浅部火道内のマグマを直接観察する手がかりとなる。

2. 三宅島火山とその2000年噴火の概要

三宅島火山は、伊豆-小笠原弧の火山フロント上に位置する、玄武岩～安山岩質の成層火山である (Fig. 1). 三宅島火山全体の地質や活動史については、津久井・他 (2005) によってまとめられている。津久井・他 (2001) は過去約10000年間の活動を、1) 大船渡期 (約10,000～4,000年前)、2) 坪田期 (約4,000～2,500年前)、3) 雄山期 (約2500年前～西暦1469年以前)、及び4) 新滞期 (西暦1469年噴火から1983年噴火まで) に区分した。

2000年噴火までの三宅島のマグマ供給系に関する研究は、Amma-Miyasaka and Nakagawa, (2003), Kuritani *et al.* (2003), 新堀・他 (2003) などによって行われている。これらの成果によると、少なくとも約2500年前の八丁平噴火以降の三宅島火山で噴出したマグマは、深部から供給された未分化な玄武岩質マグマと、それから分化し浅部に貯留された玄武岩質マグマおよび安山岩質マグマからなり、噴火のたびにそれらが混合・噴出している。

連続火山ガス放出の発端となった2000年噴火は、6月26日に三宅島北西沖への大規模な岩脈貫入によって開始した。山頂直下のマグマ溜りから岩脈へのマグマが貫入することにより、7月8日にはマグマの支持を失った山頂部の陥没が開始し、その後8月18日までの約41日間で直径約1.7kmの陥没カルデラが形成された (Kumagai

et al., 2001, Geshi *et al.*, 2002a, Geshi, 2009). 陥没カルデラの形成末期には新たに玄武岩質マグマが上昇し、8月18日、29日にはやや分化した玄武岩質マグマによる爆発的なマグマ水蒸気噴火が発生した (Geshi and Oikawa, 2008). 一連のマグマ水蒸気爆発によってカルデラ底南端には主火口と呼ばれる南北約550m、東西約330mの楕円形の火口が形成された (Fig. 1). 主火口はその北半分は浅く平らな火口底を持つ部分 (北部) と、南北約230m、東西約130m、深さ100m以上の堅穴状の部分 (南部ピット) にわかれている (Fig. 1B, C). 主火口そのものは2000年噴火直後から存在しているが、その南側ピットは、2001年2月から2003年9月の間に形成された (長谷川・他, 2004).

2000年8月下旬から、主火口及びその周辺から活発な火山ガスの連続噴出活動が開始し、2010年現在も継続している。噴気活動は主火口のほぼ全域にみられるが、特に強い噴気は北半部の中央部、南部ピットの壁、及び南側のカルデラ壁基部に存在する (Fig. 1C). 噴気孔の周辺を含む主火口の内壁および火口底は噴気活動により広く変質が進んでおり、灰色～白色岩化している。

3. 2001年以降の小噴火

三宅島では、2001年以降火山ガスの連続放出に伴い少量の火山灰を放出する“小噴火”が断続的に発生している (Fig. 2A). これらの小噴火はいずれも、カルデラ南端部に開口する主火口から発生している。有色噴煙の観測や山麓部での降灰により確認された小噴火は、2001年には20回、2002年には13回発生したが、それ以降は1年に数回程度に減少した (気象庁, 2005). これらの小噴火は低周波地震や微動を伴うことが多く、またしばしば空振が観測される。観測されたほとんどの噴火の継続時間は数分以内である。さらに、海岸部で降灰が確認できないような、より小規模なテフラの噴出も発生している。2008年以降の山頂部での現地調査では、主火口近辺の山頂部の観測設備や樹木の表面等にごく微量のテフラが付着していることが確認されており (Figs. 2B, C and D), ごく小規模な火山灰の噴出が発生していることが推測される。これらのテフラはいずれも主に粒径1mm以下の火山灰からなり、乾燥状態で灰白色を呈する。個々の小噴火の噴出量は明らかではないが、火口から4～5km離れた海岸部での降灰量 (100g/m²以下) から推定すると最大でも1000トン未満であると考えられる。

4. ガラス質粒子の形態および組織

テフラの構成粒子観察には、2001年10月11日～2010年7月4日に噴出した12試料を用いた (Table 1). これ

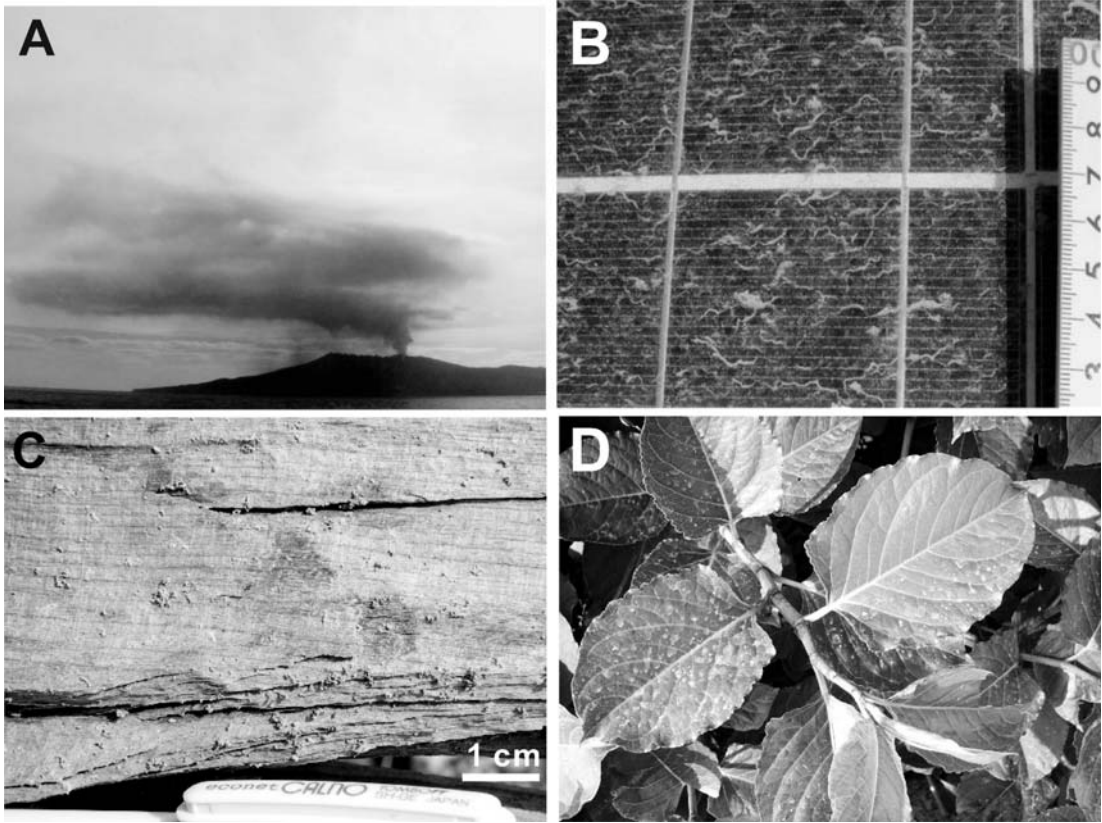


Fig. 2. A: An ash-laden eruption plume observed on October 16, 2001. B: Fine-grained volcanic ash covering a solar-battery panel at about 50 m south of the rim of main crater (March 10, 2009). C: Aggregates of volcanic ash on a wood fragment at about 300 m southwest of the rim of main crater (May 26, 2009). D: Ash-spots on tree leaves about 1.5 km southwest of the main crater (May 26, 2009)

らの試料は産業技術総合研究所（以下、産総研）および気象庁の現地調査によって採取され、産総研に保管されているものである。試料は超音波洗浄機で水洗し、約 50 μm よりも粗い粒子を実体鏡下および走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。また、約 250 μm よりも粗粒な粒子を含む試料は、粒子の両面研磨薄片を作成し、偏光顕微鏡および走査型電子顕微鏡により粒子の組織を観察した。

観察したすべてのテフラは、その構成粒子の 99% 以上が溶岩片やスコリア片、およびそれらから遊離したと考えられる結晶片からなる。これらの粒子は様々な程度に熱水あるいは硫気変質を受けているものが多い。また、黄鉄鉱の結晶粒子が多数含まれる。これらのテフラ粒子は火口周辺に存在した既存の山体からもたらされた物質と考えられる。

一方、観察したすべてのテフラには、ごく少量ながら新鮮なガラス質粒子が含まれている。これらのガラス質

粒子は顕微鏡下では淡褐色の火山ガラスを主体とする透明な粒子である。これらのガラス粒子はきわめて新鮮で、風化や変質の影響を受けた形跡が見られず、また粒子表面にも二次鉱物の付着は認められない (Fig. 3)。以下、本論ではこれらの新鮮な火山ガラス粒子を、それぞれの噴火時に放出・固結したマグマの破片である本質物質の候補とみなし、特に火山ガラス質粒子と呼ぶ。

火山ガラス質粒子の量はそれぞれの小噴火イベントによって異なり、ごく微量 (1/1000 以下) のものから、数%程度含まれるものまでさまざまである (Table 1)。火山ガラス質粒子の石基は少量のマイクロライトを含む淡褐色・透明の火山ガラスからなる (Fig. 3A・B) また最大径 100 μm 程度の球形の気泡が多数含まれる (Fig. 3C)。発泡度はさまざまであるが、径数 100 μm 以上の粒子では 70% 以上の発泡度を示す粒子が多数で、特に発泡度の高い粒子はスポンジ状の外見を呈する。これらのガラス質粒子は鋭利な破断面で囲まれているものが多い

Table 1. Sample list

Sample ID	Eruption Date	Sampling Date	Sampling #1	Scale of eruption #2	Abundance of Glassy Grains #3	Glass Composition Analysis	Olivine micro-phenocryst Composition Analysis
JMA011011	2001/10/11	2001/10/11	JMA	+++	+		
JMA011101	2001/11/1	2001/11/1	JMA	+++	++	○	
JMA041203	2004/12/2	2004/12/3	JMA	+++	+	○	
GSJ090312	2009/3/10?	2009/3/12	GSJ	+	++		
JMA090401	2009/4/1	2009/4/1	JMA	++	+++	○	○
JMA090411	2009/4/11	2009/4/11	JMA	++	+		
GSJ090511	2009/5/9-11	2009/5/11	GSJ	+	+++	○	○
GSJ090525	2009/5/25	2009/5/26	GSJ	+	++		
GSJ090714	not identified	2009/7/14	GSJ	+	+		
JMA091115	2009/11/15	2009/11/15	JMA	++	+		
JMA100411	2010/4/11	2010/4/11	JMA	++	(+)		
JMA100704	2010/7/4	2010/7/4	JMA	++	+	○	

*1: Sampling; JMA: Japan Meteorological Agency, GSJ: Geological Survey of Japan AIST

*2: Scale of eruption: +++; tephra more than 100g/m² in the coastal area, ++; tephra less than 100g/m² in the coastal area, +; tephra only in the summit area

*3: Abundances of Glassy Grains: +++; more than 1%, ++; 0.1 - 1%, +; less than 0.1%, (+); trace.

(Fig. 3C) が、しばしば溶融状態時の表面形態を保存している粒子も見られる (Fig. 3D).

これらのガラス質粒子は、結晶度の低さ (数 10% 以下) や高い発泡度で、2000 年 7 月 14-15 日噴出物、8 月 18 日噴出物中に含まれる本質物質 (宮城・東宮, 2002, Geshi and Oikawa, 2008) と容易に区別が可能である。2000 年噴出物中の本質物質には多量のマイクロライトが晶出しており、大部分の本質物質粒子の結晶度は 60% 以上である。またそれらの発泡度は最大でも 50% 程度で、多くは 30% 前後である (Geshi and Oikawa, 2008)。

これら 2001 年以降に噴出したテフラ中のガラス質粒子には、径 10 μm 程度のマイクロライトが最大数 10% 程度含まれる。マイクロライトは斜長石及び単斜輝石がほとんどで、まれにカンラン石がみられる。斜長石のマイクロライトは短冊状で、伸張した外形を示す。また、骸晶状のマイクロライトがしばしば見られる (Fig. 3E)。また、マイクロライトのほかに、より大きな (数 100 μm) の斜長石やカンラン石微斑晶もごく少量含まれる (Figs. 3B)。これらの微斑晶はガラス質粒子の大きさよりも大きいことが多く、そのような場合結晶全体の形状を知ることが困難であるが、薄片下では破断面ではなく結晶面で周辺の褐色ガラスと接していることから、破断結晶片ではなく自形結晶として存在していると考えられる。

5. 化学組成

5-1 試料および分析方法

小噴火のテフラ試料のうち、比較的少量のガラス質粒子を含み、かつハンドピックが可能で粗粒な粒子 (およそ 100 μm 以上) を含む試料を 5 試料選出した。分析し

た試料は、2001 年 11 月 1 日、2004 年 12 月 2 日、2009 年 4 月 1 日、2010 年 7 月 4 日噴火のテフラ試料および 2009 年 5 月 9 日~11 日の間に山頂部の樹木や観測機器等に付着していたテフラ試料である (Table 1)。

水洗した火山灰粒子からガラス質粒子を実体顕微鏡下でハンドピックにより選別した。本質物質であるガラス質粒子の選別に当たっては、気泡を含む淡褐色の火山ガラスを主体とする粒子で、その粒子表面及び内部に変質や風化の影響が見られないこと、粒子表面、特に気泡の内面が新鮮で、光沢をもち平滑であることを選択の基準とした。ハンドピックによって選別したガラス質粒子は、各試料からそれぞれ数 10 粒子である。さらに、ガラス質粒子を比較的多く含む 2009 年 4 月 1 日・5 月 11 日テフラからは、カンラン石結晶を含むガラス質粒子を選別することができた (Table 1)。選別できたカンラン石結晶は計 7 粒である。

選別した粒子を樹脂包埋し両面研磨した薄片を作成し、粒子に含まれる火山ガラス (以下、石基ガラスと呼ぶ) および微斑晶、マイクロライトの化学組成を電子線マイクロアナライザー (EPMA) により分析した。

比較のために、2000 年噴出物に含まれる本質物質のガラス組成も同様の手法によりあわせて測定した。測定した試料は、カルデラ陥没初期の 7 月 14-15 日に噴出した安山岩質本質物と、カルデラ陥没末期の 8 月 18 日に発生した最大規模の噴火で噴出した玄武岩質本質物 (下司・他, 2002b, Geshi and Oikawa, 2008) それぞれの結晶粒間ガラス (interstitial glass) と、8 月 18 日噴出玄武岩の斑晶鉱物中の包有物の火山ガラスである。

ガラス及び鉱物組成の測定は産総研所有の EPMA

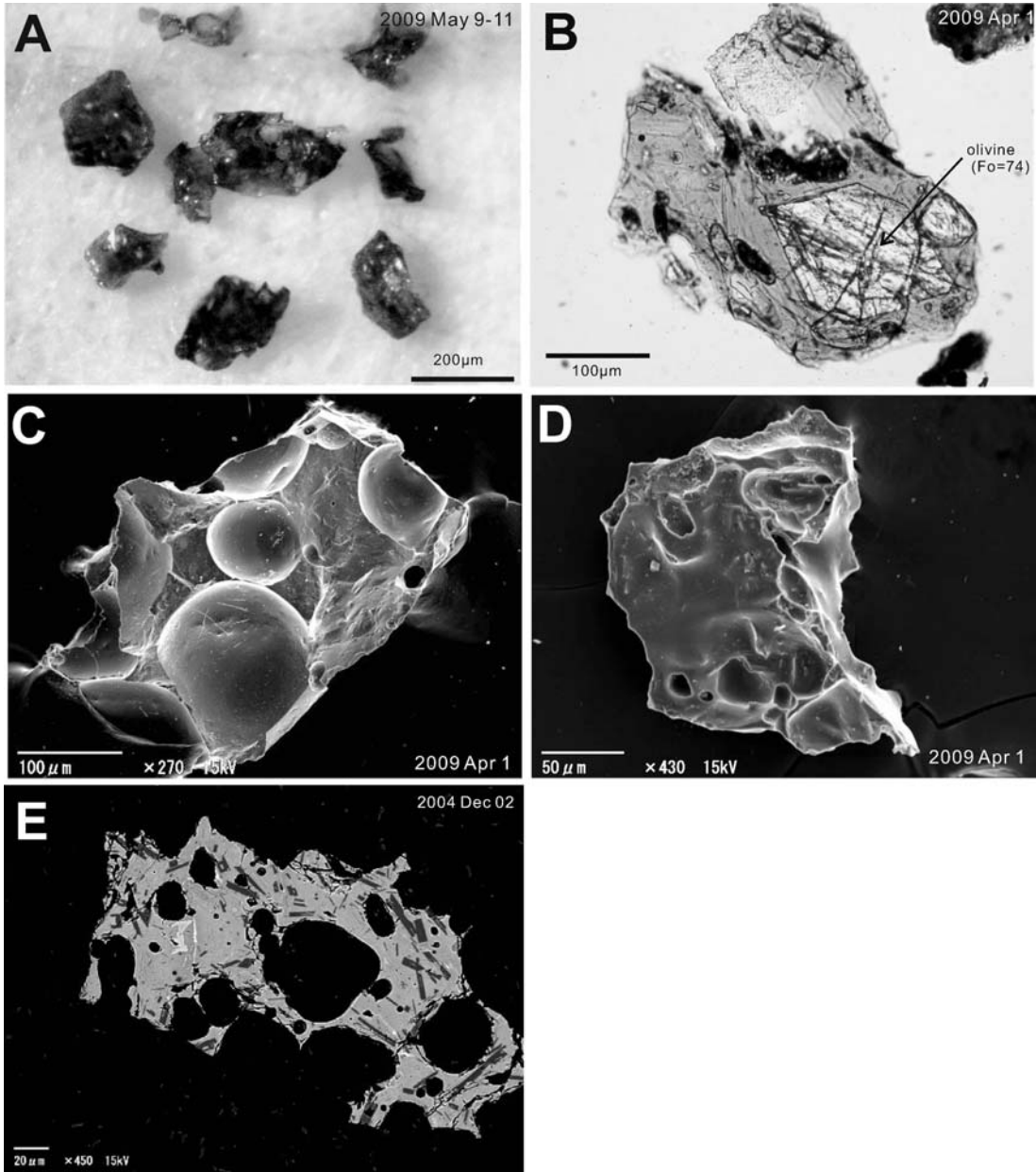


Fig. 3. A: A vesiculated glassy fragment in the May 9–11, 2009 tephra. B: Microscope photograph of a glassy fragment with an euhedral olivine microphenocryst in the April 1, 2009 tephra. C: A scanning electron microscope (SEM) image of a vesiculated glassy fragment in the April 1, 2009 tephra. D: A SEM image of a glassy fragment with smooth surface in the April 1, 2009 tephra. E: A backscattered electron image (BEI) of a glassy fragment in the December 2, 2004 tephra.

(JEOL 8800 および 8900) を使用し、測定条件は Saito *et al.*, (2005) に従った。ガラス及び鉱物組成の測定時の電子ビーム径は $4\mu\text{m}$ である。

5-2 結果

ガラス質粒子の石基火山ガラスの化学組成は小噴火ごとに異なる組成集団をつくる (Fig. 4)。測定した試料のうち、2001年11月1日噴出物中のガラス組成が最も組

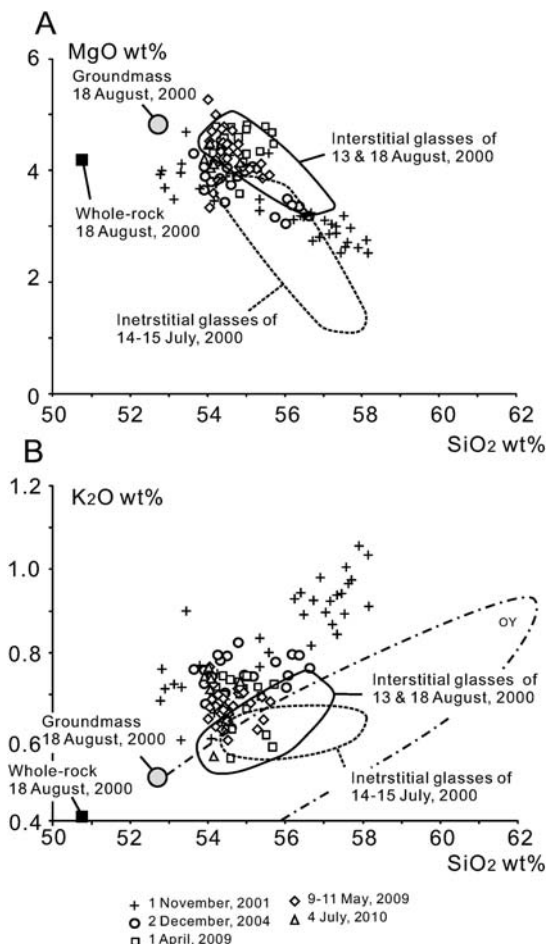
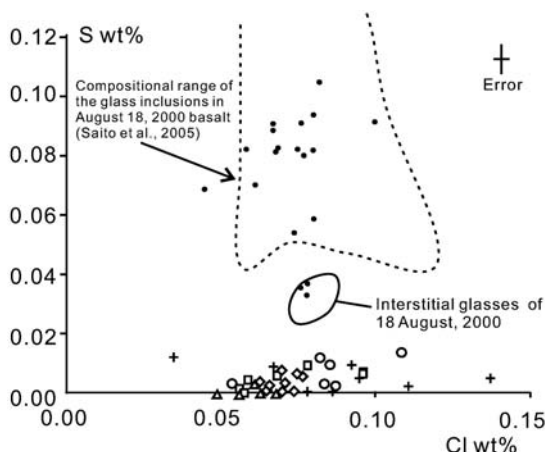


Fig. 4. The SiO₂-MgO (A) and SiO₂-K₂O (B) diagrams of the groundmass glasses. The compositional ranges of the juvenile materials of the 2000 eruptions are also shown (broken lines: andesitic juvenile materials of the 14-15 July eruptions; solid lines: basaltic juvenile materials of the 13 and 18 August eruptions.). Whole-rock and groundmass compositions of the August 18 eruption are after Geshi *et al.* (2002b). OY in B shows the range of the whole-rock compositions of lavas erupted during the Oyama Stage and pre-Oyama stages (Niihori *et al.*, 2003).

成範囲が広く、SiO₂=52.8~58.2 wt%である。これに対し、2009年4月1日から2010年7月4日の噴出物中のガラス粒子の組成はSiO₂=53.9~55.7 wt%に集中する。また、2000年8月噴火の玄武岩マグマの石基組成(下司・他, 2002b, Saito *et al.*, 2005)は、2001年以降のガラス組成のうち最もSiO₂に乏しい組成にほぼ一致する(Fig. 4)。2001年以降の小噴火テフラの石基ガラスは揮



- + 1 November, 2001 ◇ 9-11 May, 2009
- 2 December, 2004 △ 4 July, 2010
- 1 April, 2009
- Glass inclusions in the 18 August, 2000 basaltic lapilli.

Fig. 5. Sulfur contents in the groundmass glass of the glassy fragments plotted against their chlorine contents. Broken line shows the compositional range of the glass inclusions of the basaltic bombs of the August 18, 2000 eruption (after Saito *et al.*, 2005). Solid line shows the compositional range of the interstitial glass of the 13 and 18 August, 2000 eruptions.

発性成分に乏しく、その硫黄濃度は0.013 wt%以下、塩素濃度は0.05~0.15 wt%である(Fig. 5)。一方、2000年8月18日に噴出した玄武岩本質物の斑晶包有物中の火山ガラスの硫黄濃度は0.04 wt%以上である。また、その石基の結晶粒間ガラス中の硫黄濃度は0.03~0.05 wt%、塩素濃度は0.07~0.09 wt%の間に集中する(Fig. 5)。

ガラス質粒子に含まれる微斑晶(径約100 μm以上)の斜長石及びカンラン石の組成を合わせて測定した。斜長石のコア組成はAn (=Ca/(Ca+Na+K))=87~90である。斜長石微斑晶には組成の反復累帯が認められるが、全体的には正累帯で、リム組成はおおよそAn=60~70である。カンラン石はコア組成がFo (=Mg/(Mg+Fe))=82~83のもの、Fo=73~78の2種類が含まれる(Fig. 6A, B)。いずれの結晶も自形で、石基ガラスに囲まれている(Figs. 3B and 6A)。それぞれの結晶内部でのFo値はほぼ一定で、石基ガラスと接触している結晶リム部(厚さ10 μm以下)で急激にFo値が70以下まで減少する(Fig. 6A)。

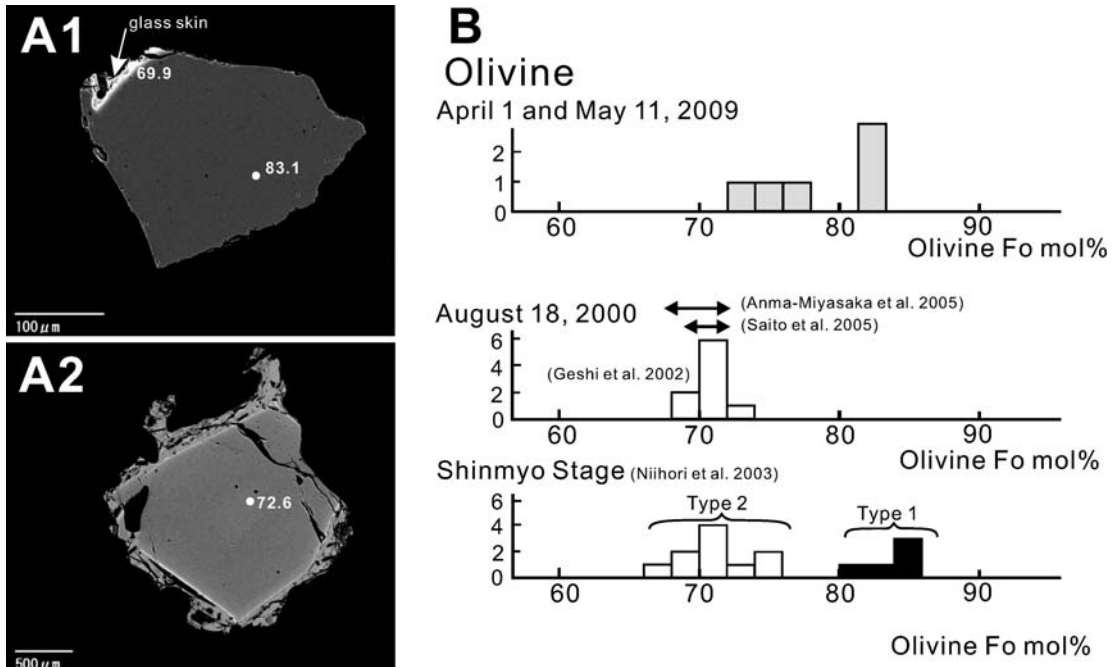


Fig. 6. A1: BEI image of the olivine crystal with high Fo content in the glassy fragment of the April 1, 2009 tephra. This crystal is surrounded by the fracture surface consisting of the grain surface and the crystal face contacting with the groundmass glass is observed only in the upper-left part of the grain (indicated by arrow). The white circles show the representative analysis points and the numbers indicate the Fo contents in each point. A2: BEI image of the olivine crystal with low Fo content in the glassy fragment of the April 1, 2009 tephra. This grain is surrounded by the glassy groundmass and show the euhedral outline. B: The histogram of the compositions of the olivine crystals in the glassy fragment of the April 1, 2009 tephra. The olivine compositions in the August 2000 tephra (Geshi *et al.*, 2002b) and the lavas in the Shinmyo stage (16–20th centuries: Niihori *et al.*, 2003) are also shown. The compositional ranges of the olivine phenocrysts in the August 18, 2000 bombs presented by Amma-Miyasaka *et al.* (2005) and Saito *et al.* (2005) are also shown with arrow-bars.

石基中のマイクロライト（径約 100 μm 以下の自形結晶）の化学組成は、斜長石が $\text{An}=58\sim 72$ 、単斜輝石が $\text{Mg\#} (= \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}))=62\sim 66$ である。

6. 考 察

2001 年以降の小噴火噴出物に含まれるガラス質粒子は、それぞれの小噴火の本質物質であると考えられる。その理由は、1) これらのテフラが噴出した主火口内部は、活発な高温火山ガスの噴出により広範囲にわたり噴気や熱水による変質作用が進んでおり (Fig. 1C)、火山ガラス質粒子が長期間主火口内部で変質を受けずに保存されるとは考えにくいこと、2) ガラス質粒子は、陥没カルデラ内外に厚く堆積していると考えられる 2000 年 7 月及び 8 月の噴出物に含まれる本質物質粒子 (宮城・東宮, 2002) とは、発泡度・結晶度・組成などの特

徴が異なるため、これらが噴出物中に再び取り込まれたことは否定できること、3) 主火口付近のカルデラ壁に厚く露出する雄山期の噴出物は溶岩流が主体であり、また噴出物中のガラス粒子の組成は雄山期噴出物の組成とは区別できる (Fig. 4B) ため、カルデラ壁から崩落した雄山期の噴出物が再び取り込まれた可能性も否定できること、が挙げられる。

これらのガラス質粒子を噴出した小噴火は、火山性微動や低周波地震と同時に発生しており、またしばしば空振を伴う (気象庁, 2005)。このことから、これらの小噴火は、定常的な噴気活動が続ける主火口で何らかの理由により火山ガスの流量が増加したときに、火口底の変質した岩石片を巻き込んで、マグマの破片を含む火山ガスが噴出する現象と考えられる。ガラス質粒子はよく発泡しており、またしばしば熔融状態の表面形態を保存して

いることから、マグマは高温・溶融状態で破碎されたと考えられる。

2001年以降の噴出物中のガラス質粒子の全岩組成は、粒子が微細なため直接測定することは困難である。そこでこれらのガラス質粒子のマイクロライト組み合わせを、全岩組成が判明している2000年噴出物のマイクロライト組み合わせと比較してみる。2000年噴出物のうち、7月に噴出した安山岩のマイクロライト組み合わせは斜長石、単斜輝石、磁鉄鉱であり、8月に噴出した玄武岩のマイクロライト組み合わせは斜長石、単斜輝石、カンラン石で、磁鉄鉱をほとんど含まない(宮城・東宮, 2002)。一方、2001年以降に噴出したガラス質粒子に含まれるマイクロライトは斜長石、単斜輝石、カンラン石であり、磁鉄鉱をほとんど含まないという特徴は2000年に噴出した玄武岩のそれと一致する。

さらに詳細に検討すると、2001年以降に噴出したガラス質粒子に含まれるカンラン石微斑晶のFo値(Fo=73~75及び、82~83)は、2000年8月に噴出した玄武岩に含まれるカンラン石斑晶(Fo=68~72; 下司・他, 2002b; Amma-Miyasaka *et al.*, 2005)よりも高い(Fig. 6)。とくに、カンラン石斑晶のコア部分の組成(Fo=82~83)や、均質なFo値を持つ広いコアと、より低いFo値を持つ薄いリムからなる内部構造は、新堀・他(2003)による過去約1万年間(大船渡期以降)の噴出物に含まれるType1のカンラン石グループの特徴と一致する。新堀・他(2003)は、Type1のカンラン石結晶は、より深部から供給された相対的に未分化な玄武岩マグマに由来すると考えている。2001年以降の噴出物中にType1に相当するカンラン石結晶が含まれることは、2000年噴火以前から三宅島直下のマグマ溜まりに継続的に供給されていた相対的に未分化な玄武岩マグマが、2001年以降の活動以降も供給されていることを示唆している。2000年8月噴出物中にもType1に相当するカンラン石結晶は含まれているがその量は極少量であり(Saito *et al.*, 2010)、2001年以降の噴出物にType1のカンラン石結晶が比較的多く見出されることは、2001年以降の火山ガス連続放出に代表される火山活動は2000年8月に噴出した玄武岩マグマよりもより未分化な、Type1のカンラン石を含むマグマが主に駆動していることを示唆する。これは、2000年8月18日噴出物中のカンラン石のメルト包有物中の揮発性成分組成と噴気ガス組成の比較から推測される、より未分化な玄武岩マグマからの脱ガス(Saito *et al.*, 2010)とも整合的である。

小噴火ごとにガラス質粒子の組成が異なる理由は、火道の最上部でマグマの冷却と揮発性成分の析出によるマグマの結晶化が不均質に進行し、それぞれの小噴火のと

きには火道最上部のごく一部分から少量のマグマが取り出されているためと考えられる。石基ガラスの組成がマイクロライトの晶出によって組成幅をもつにもかかわらず、いずれの試料中の石基ガラス中の硫黄濃度が約0.01 wt%以下と極めて低いこと(Fig. 5)は、硫黄が効果的に脱ガスし得るような低圧下で脱ガスしたことを示す。

2001年以降の噴出物の石基ガラスの硫黄濃度は、連続的な脱ガスに先立って発生したマグマ水蒸気噴火である8月18日噴火の玄武岩本質物の結晶粒間ガラスの硫黄濃度(0.03~0.05 wt%)に比べて有意に低い。これは、2001年以降の脱ガス期のマグマは、2000年噴火のマグマ水蒸気噴火時よりもさらに浅部まで上昇していることを示唆している。2001年以降の噴出物の石基ガラスの塩素濃度は0.05~0.14 wt%と大きなバリエーションを持つものの、2000年8月18日に噴出した玄武岩の結晶粒間ガラスのそれよりも明らかに塩素濃度の低いものが含まれている(Fig. 5)。これも、2001年以降、2000年噴火のマグマ水蒸気噴火時よりもさらに浅部までマグマが上昇し、塩素の脱ガスが顕著になるような低圧化で脱ガスが進行していることを示しているのかもしれない。

三宅島火山で2001年以降に発生した小噴火噴出物の解析により、これらの噴出物中にはいずれも新鮮な火山ガラス質粒子が含まれることが明らかになった。三宅島のような定常的な火山ガス噴出活動を続ける火山では、しばしば小噴火に伴いマグマ物質と考えられるガラス質粒子を含むテフラが噴出することが知られている(例えば、薩摩硫黄島(Shinohara *et al.*, 2002)、阿蘇中岳(宮縁・他, 2005; Miyabuchi *et al.*, 2008))。これらの火山でも、こうした小規模テフラに含まれるガラス質粒子を詳細に調査することにより、定常的な火山ガス噴出活動メカニズムを明らかにできるだろう。特に、水などの揮発性成分の詳細な検討とそれに基づく脱ガス深さの推定は、三宅島をはじめとする連続的に火山ガスを噴出し続ける火山の浅部マグマ供給システムの理解や、それに基づく活動予測にとって、特に重要であると考えられる。

7. 結 論

三宅島火山の連続火山ガス噴出に伴い放出されたガラス質粒子の特徴から、三宅島の火口直下の状況は以下のように推測される。火山ガス放出を続ける2000年以降の三宅島火山の主火口下には、玄武岩マグマで充填されている火道が存在する。この玄武岩マグマは、2000年8月に噴出した玄武岩マグマよりも未分化であり、過去約10000年以上にわたって三宅島火山のマグマ供給系に注入し続けている、Type-1の斑晶を晶出した未分化な玄武岩マグマ(新堀・他, 2003)に類似したマグマである。

このような未分化で揮発性成分に富む玄武岩マグマが火道内を上昇・発泡し、火口底浅部で火山ガスを分離・放出している。揮発性成分の析出と冷却によりマグマの結晶化が進行し、火道上部ではメルト組成に不均質が生じている。通常、火山ガスの通路は安定しているため、火山ガスのみが分離・放出されているが、何らかの理由による火山ガスの流量の一時的な増加等により火道が不安定になると、火道頂部のマグマの一部が火道周辺の岩石とともに破碎され、火山ガスの流れによって地表に放出され、小噴火が発生する。

謝 辞

気象庁火山課、三宅島測候所、三宅島火山防災連絡事務所には、火山灰採取や現地調査に当たりご協力いただいた。現地調査及び試料採取に当たっては及川輝樹氏・石塚吉浩氏に協力いただいた。編集担当の大場武氏、査読者の風早康平氏、宮坂瑞穂氏からは原稿の改善に対して有益なコメントを頂いた。ここに記して感謝いたします。

引用文献

- Aiuppa, A., Moretti, R., Federico, C., Giudice, G., Liuzzo, M., Papale, P., Shinohara, H., and Valenza, M. (2007) Forecasting Etna eruptions by real-time observation of volcanic gas composition. *Geology*, **35**, 1115–1118.
- Amma-Miyasaka, M. and Nakagawa, M. (2003) Evolution of deeper basaltic and shallower andesitic magmas during the 1469–1983 A.D. of Miyake-jima Volcano, Izu-Mariana arc: Inferences from temporal variations of mineral compositions of crystal-clots. *J. Petrol.*, **44**, 2113–2138.
- Amma-Miyasaka, M., Nakagawa, M. and Nakada, S. (2005) Magma plumbing system of the 2000 eruption of Miyakejima Volcano, Japan. *Bull. Volcanol.*, **67**, 254–267.
- Geshi, N., (2009) Asymmetric growth of collapsed caldera by oblique subsidence during the 2000 eruption of Miyakejima, Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **280**, 149–158.
- Geshi N., Oikawa T (2008) Phreatomagmatic eruptions associated with the caldera collapse during the Miyakejima 2000 eruption, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **176**, 457–468.
- Geshi N., Shimano T., Chiba T., Nakada S. (2002a) Caldera collapse during the 2000 eruption of Miyakejima volcano, Japan. *Bull. Volcanol.*, **64**, 55–68.
- 下司信夫・嶋野岳人・長井雅史・中田節也 (2002b) 三宅島火山 2000 年噴火のマグマ供給系. *火山*, **47**, 419–434.
- 長谷川裕之・佐藤 浩・岩崎純子・吉田幸子 (2004) 三宅島・陥没カルデラと雲仙普賢岳・水無川流域における地形変化について. *国土地理院時報*, **105**, 83–95.
- Kazahaya K., Shinohara, H., Saito, G., (2002) Degassing process of Satsuma-Iwojima volcano, Japan: Supply of volatile components from a deep magma chamber. *Earth Planets Space*, **54**, 327–335.
- Kazahaya, K., Shinohara, H., Uto, K., Odai, M., Nakahori, Y., Mori, H., Iino, H., Miyashita, M., Hirabayashi, J. (2004) Gigantic SO₂ emission from Miyakejima volcano, Japan, caused by caldera collapse. *Geology*, **32**, 425–428.
- 気象庁 (2005) 日本活火山総覧 (第 3 版). 524–536.
- Kumagai, H., Ohminato, T., Nakano, M., Ooi, M., Kudo, A., Inoue, H. and Oikawa, J. (2001) Very-long-period seismic signals and caldera formation at Miyake Island, Japan. *Science*, **293**, 687–690.
- Kuritani, T., Yokoyama, T., Kobayashi, K. and Nakamura, E. (2003) Shift and rotation of composition trends by magma mixing: 1983 eruption at Miyake-jima Volcano, Japan. *J. Petrol.*, **44**, 1895–1916.
- 宮縁育夫・池辺伸一郎・渡辺一徳 (2005) 阿蘇火山中岳で 2003 年 7 月 10 日と 2004 年 1 月 14 日に起こった湯たまりからの火山灰噴出. *火山*, **40**, 227–241.
- Miyabuchi, Y., Ikebe, S., and Watanabe, K. (2008) Geological constraints on the 2003–2005 ash emissions from the Nakadake crater lake, Aso Volcano, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **178**, 169–183.
- 宮城磯治・東宮昭彦 (2002) 三宅島 2000 年火山灰粒子の特徴と本質物の特定. *火山*, **47**, 27–31.
- 新堀賢志・津久井雅志・川辺禎久 (2003) 最近 1 万年における三宅島のマグマ供給系の進化. *火山*, **48**, 387–405.
- Saito, G., Uto, K., Kazahaya, K., Shinohara, H., Kawanabe, Y., Satoh, H. (2005) Petrological characteristics and volatile content of magma from the 2000 eruption of Miyakejima volcano. *Bull. Volcanol.*, **67**, 268–280.
- Saito, G., Morishita, Y., and Shinohara, H. (2010) Magma plumbing system of the 2000 eruption of Miyakejima volcano, Japan, deduced from volatile and major component contents of olivine-hosted melt inclusions, *J. Geophys. Res.*, **115**, B11202,
- Shinohara, H., Kazahaya, K., Saito, G., Matsushima, N. and Kawanabe, Y. (2002) Degassing activity from Iwodake rhyolitic cone, Satsuma-Iwojima volcano, Japan: Formation of a new degassing vent, 1990–1999. *Earth Planets Space*, **54**, 175–185.
- 津久井雅志・新堀賢志・川辺禎久・鈴木裕一 (2001) 三宅島火山の形成史. *地学雑誌*, **110**, 156–167.
- 津久井雅志・川辺禎久・新堀賢志 (2005) 三宅島火山地質図. 産業技術総合研究所地質調査総合センター. 火山地質図 12.

(編集担当 大場 武)