

三瓶火山は爆裂火口か? —室内の形成についての考察—

福岡 孝*

Is Sanbe Volcano, SW Japan, an explosion crater? — On the formation of Muronouchi —

Takashi Fukuoka

Abstract

The feature named Muronouchi on Sanbe Volcano is a crater-like depression surrounded by four lava domes and a hill of volcaniclastic material. The volcanic bodies are estimated to have formed during the last stage eruptions (stage VII) at 3.5-3.7 ka, based on ^{14}C ages. Two hypotheses have been proposed to account for the origin of the Muronouchi depression: (1) explosion crater origin, with accompanying lava domes; and (2) that is simply a depression surrounded later lava domes. Block and ash flow of the upper Taiheizan pyroclastic deposits that formed in stage VII of Sanbe Volcano, are rich in breadcrust bombs and pumiceous dacite. These features, and especially the distribution of these deposits, suggest that Muronouchi was formed by a Vulcanian eruption, with Muronouchi being the crater. The magma composition of Sanbe stage VII is similar to those of the 1991 Pinatubo Volcano eruption, and the 1990-1995 Fugendake eruption of Unzen Volcano. The distribution of ejecta and mode of eruption at Sanbe are closer to the latter, however. Assuming Muronouchi is an explosion crater, the type of ejecta, volume, and mode of eruption can be compared with similar-sized volcanoes. It is concluded that the Muronouchi eruption is unlikely to be of Plinian type, accompanied by the crater expected to be formed in such eruptions. In other words, the present-day Sanbe Volcano is constructed from individual lava domes, and although some materials were ejected from Muronouchi, Sanbe should be classified as a compound volcano, or as a cluster of composite volcanoes.

key words : Sanbe Volcano, Muronouchi depression, explosion crater, individual lava domes

1. はじめに

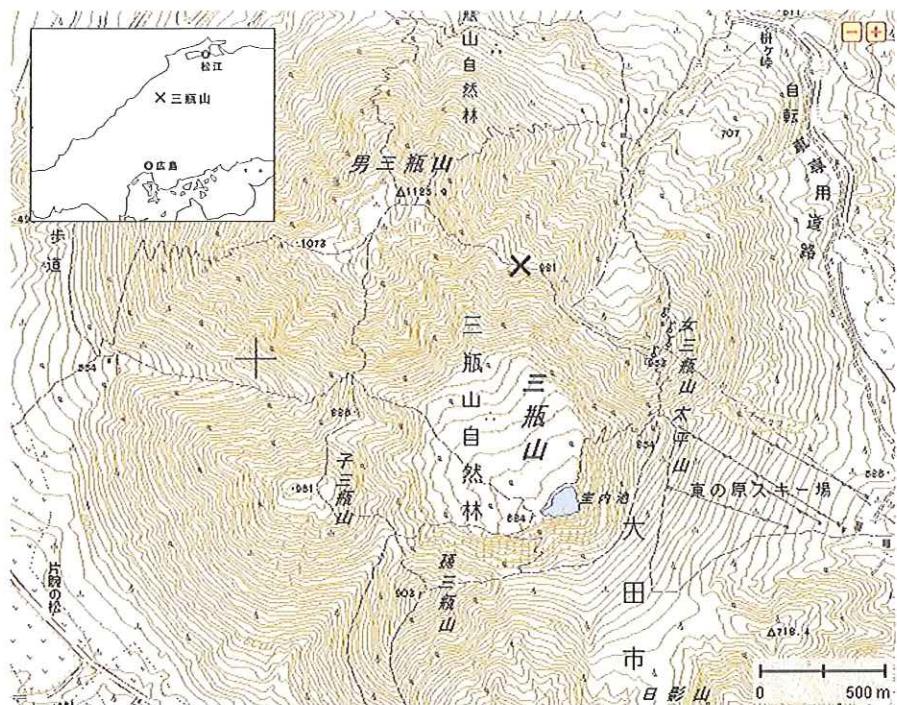
三瓶火山は室内^{むろのうち}*を取り開んで標高1126mの男三瓶を最高峰として、時計回りに女三瓶、太平山、孫三瓶、子三瓶のピーカーが連なる（第1図、第2図）。三瓶火山の活動が確認されている最後の噴出物は ^{14}C 年代で3.5-3.7kaの第Ⅷ期（福岡・松井、2002；2004）の活動によるもので、このときに現山体が形成されたと

推定されている。現山体の外側にはTL年代で72ka（下岡ほか、2009）の第Ⅱ期に形成されたカルデラ壁が断片的に取り残されており、三瓶火山の南方から西方にかけて明瞭に確認される。

現山体形成の成因には、次の二つの仮説がある。すなわち、巨大な溶岩ドームが、噴火によって破壊され、室内は爆裂火口として残ったとされるもの（爆裂火口説）と、男三瓶、女三瓶等のピーカーは個別の溶岩ドームであり、室内は取り残された凹地という考え方（個別

* 島根県立三瓶自然館、〒694-0003 島根県大田市三瓶町多根1121-8

The Shimane Nature Museum of Mt. Sanbe (Sahimel), 1121-8, Tane, Sanbe-cho, Ohda, Shimane, 694-0003, Japan



第1図 三瓶火山の地形図（×印地点はユートピア）
出典：「電子国土」 URL <http://cyberjapan.jp/>



第2図 上空から見た三瓶火山

溶岩ドーム説）である。服部ほか（1983）は各峰の内側斜面と外側斜面の形態が非対称的であるなど、主として地形的な理由から爆裂火口を主張し、巨大溶岩ドームの復元の等高線図を描いた。久野（1976）は室内火口を中心に碎屑丘ができ、この碎屑丘の火口縁上に4個の溶岩円頂丘が噴出したとした。また、松元（1994）は各山体の溶岩の化学組成の違いから個別の溶岩ドームを示唆している。福岡・松井（2002）、福岡ほか（2002）は男三瓶北麓に岩屑なだれ堆積物の分布を認め、沢田ほか（2002）は男三瓶溶岩ドームの北側斜面で、高温の溶岩ドームのせり上がりによる山体崩壊を推定した。どのような過程を経て現在の山

体が形成されたかを究明し、火山活動の様式や規模を推測することは、将来起こるかもしれない火山噴火に備えたハザードマップの作成や火山防災対策という観点からも極めて重要な問題を含んでいる。

本稿では、マグマの組成が三瓶火山第VII期のものと類似しているが、噴火様式が異なる雲仙普賢岳とピナツボ火山の噴出物の分布と種類を比較した。さらに、第VII期の噴出物の体積推定を行い、三瓶火山の室内を爆裂火口とみなした場合、同程度の火口を形成した他火山の放出物の体積や噴出物と比較した。これらの比較により、三瓶火山の現山体は爆裂火口説と個別溶岩ドーム説のどちらの可能性が

高いかについて考察した。

*「室内」の名称については、「室ノ内」、「室之内」などの表記も用いられているが、本稿では国土地理院発行の二万五千分の一地形図に「室内池」が使用されているので、これに準じて「室内」と表記することとする。

2. 三瓶火山の地形

三瓶火山は約 $4 \times 5\text{km}^2$ の開析されたカルデラ壁に開まれた凹地内の中央部に位置する。現在の三瓶火山本体は中央部の室内の低地を取り囲んで、時計回りに男三瓶（1126m）、女三瓶（957m）、太平山（855m）、孫三瓶（907m）、子三瓶（961m）が環状に配列し、この環から南東に離れて日影山（718m）が位置する。これらのうち太平山は碎屑丘で、日影山は第IV期、他は第VII期の溶岩ドームである（福岡・松井、2002）。室内の南東端には室内池があり、その近くに鳥地獄と呼ばれる二酸化炭素の噴出口が確認されている。

溶岩ドーム南東部のカルデラの外側には大田軽石流堆積物からなる丘陵が広がっている。松井・井上（1971）はカルデラの形成は第II期の大田軽石流の噴出によるものとしたが、町田（2004）は福岡・松井（2004）の第I期から第III期に相当する三瓶木次テフラから三瓶池田テフラまでの複数の爆発的活動によって重複して生じたとみなし。日影山と孫三瓶の間には、「奥

の湯」と呼ばれるすり鉢状の地形があり、服部ほか（1983）は室内火口形成期に開口した爆裂火口とみなした。

男三瓶から女三瓶にかけての稜線には崩壊地形があり、その下流部には岩屑なだれ堆積物が認められる（福岡・松井、2002）。男三瓶北麓にも岩屑なだれ堆積物が分布しており、男三瓶北側に馬蹄形地形は認められない。しかし、中腹に台地状のくびれ地形（天上ヶ原）があり、沢田ほか（2002）は定置温度の見積もり等から山体崩壊による崩落地形と考えた。

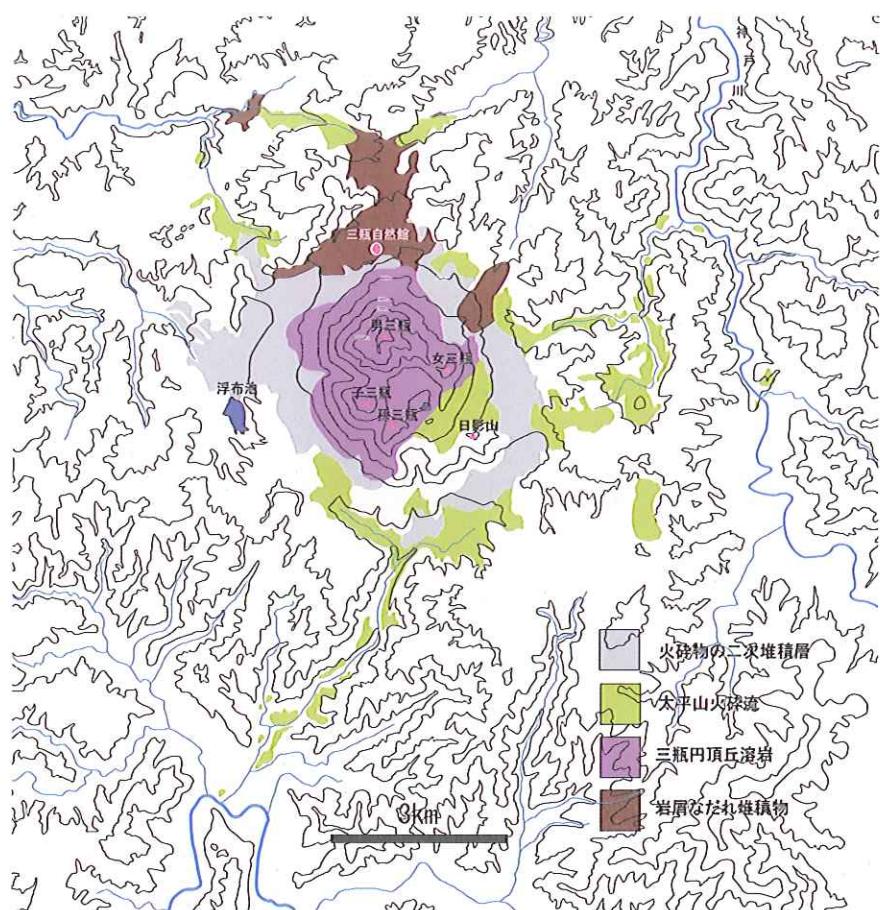
3. 三瓶火山第VII活動期の噴出物の分布と層序

三瓶火山第VII期の噴出物の分布を第3図に示す。太平山火碎堆積物と北麓の立石岩屑なだれの給源は特定はされていない。

福岡・松井（2002）の第VII期の噴出物の層序に新知見を加えて整理すると次のようになる。

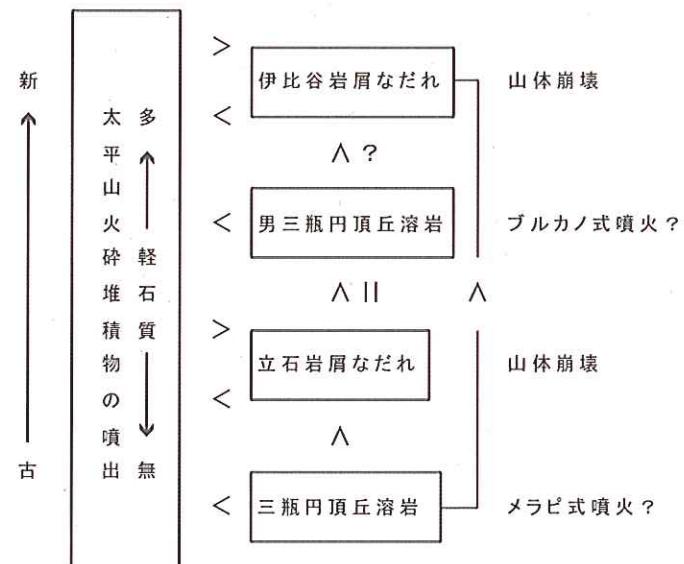
- ①男三瓶は弱発泡のデイサイトを含む太平山火碎堆積物に被覆されているので、男三瓶溶岩流出は最後の活動ではない。草野・中山（1999）によると女三瓶、子三瓶、孫三瓶付近にも降下火碎堆積物が存在する。
- ②立石岩屑なだれ及び伊比谷岩屑なだれ堆積物は太平山火碎堆積物に挟在されるので、これらの岩屑なだれは火碎噴火中に発生した。
- ③伊比谷岩屑なだれは崩壊地形が認められるので、伊比谷岩屑なだれの発生は円頂丘溶岩よりも新しい。
- ④北麓に立石岩屑なだれの堆積物が認められるが、崩壊地形は残されていない。このことについて、沢田ほか（2002）は男三瓶山北側（天上ヶ原）で行った著しく剪断されたボーリングコアの存在や、堆積物の古地磁気学的手法による定置温度の見積もりから、高温の溶岩ドームのせり上がりによる岩屑なだれを提案している。
- ⑤北麓で立石岩屑なだれよりも古い第VII期の降下火山灰（志津見降下火山灰）の薄層が確認されている（松井・福岡、2000）。

これらの関係を時系列で表すと第4図のようになり、



第3図 三瓶火山第VII期噴出物の分布（松井・井上、1971を基に作図）

第VII期の噴出物の中では男三瓶を除く山体が最も古い可能性がある。

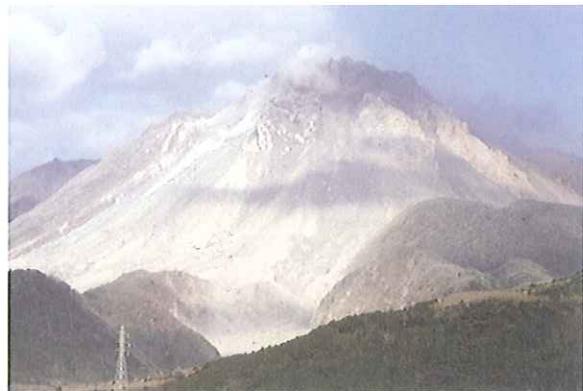


第4図 三瓶火山第VII活動期の層序

<>は新旧関係〔新<古〕、||は同時期を示す。
志津見降下火山灰は太平山火碎堆積物に含めた。

4. 雲仙普賢岳 1990-1995 年とピナツボ火山 1991 年の噴火

1990-1995 年に雲仙普賢岳が（第5図）、1991 年にはフィリピンのピナツボ火山が噴火した（第6 図）。雲仙普賢岳 1991 年噴火とピナツボ 1991 年噴火



第5図 雲仙普賢岳と小規模の火碎流 (1992年9月8日)



第6図 ピナツボ1991年の噴火
(USGS/Cascades Volcano Observatory 提供)

で噴出した溶岩はいずれも角閃石を含み、 SiO_2 量が 62-65wt% のデイサイトでよく似た火山である（中田、1996）。中田（1993）によると 1990 年の雲仙普賢岳の噴火では火山灰中に発泡した火山ガラスが見つかったが、雲仙型噴火の特徴として爆発的噴火の証拠である軽石層・スコリア層は見当たらないという。また、Nakada and Motomura（1999）は、雲仙普賢岳溶岩の基質の結晶度はマグマの噴出率や脱ガスの速度に依存し、噴出率が低いと脱ガスが進み結晶度が高く発泡度も低くなるとした。1990-1995 年の雲仙普賢岳の噴火（以降、溶岩噴出率の最も高かった 1991 年を採用して「雲仙普賢岳 1991 年噴火」とする）は最初に小規模な水蒸気爆発があったものの、溶岩崩落に伴う火碎流を噴出するメラピ式（宇井ほか、1993）の非爆発的な噴火に終始した。

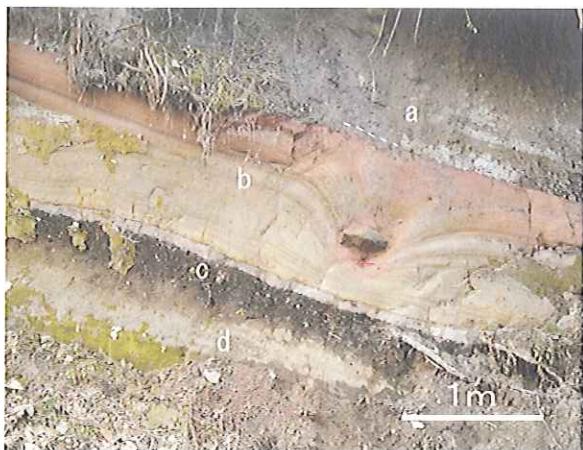
一方、1991 年のピナツボ火山は 20 世紀最大級の噴火（以降「ピナツボ 1991 年噴火」とする）と言われ、山頂を破壊して直径 2.5km のカルデラを形成した（Wolfe and Hoblitt, 1997）。そして火碎流と泥流が麓に大きな被害を与えた。火山灰は成層圏にまで達し、一定期間、成層圏の温度が上昇し、対流圏の温度が低下したことが確認されている（Kawamata et al., 1992 など）。Listanco（1991）はピナツボ 1991 年噴火の降下堆積物の分布を調べ、軽石の最大粒径と距離との関係を求めた。それによると、山体から 10 数 km の地点で軽石の最大直径は 6cm、40km で 1cm 前後を示す。小屋口（1991）によると、軽石の発泡度は良く、比重 1 以下のものも多く見られたという。また、多量の軽石質火碎流を噴出した（Scott et al., 1997）。このように、ピナツボ 1991 年噴火は軽石を噴出してカルデラを形成したプリニー式噴火であった。

マグマから分離・発泡した揮発成分（ガス）が爆発的な体積膨張を引き起こす噴火のエネルギー源となっているが、噴火様式や規模はマグマの揮発成分の泡の連結による脱ガスの程度であることが明らかにされてきた（Eichelberger et al., 1986 など）。小屋口（1994）は揮発成分の多いシリカに富むマグマの噴火は、噴出率やマグマ溜まりの過剰圧の条件により非爆発的噴火と爆発的なプリニー式噴火の両方の解が存在することを示した。三瓶火山第Ⅶ期の溶岩は SiO_2 が 65wt%（服部ほか、1983；福岡・松井、2002）で、雲仙普賢岳 1991 年噴火やピナツボ 1991 年噴火と類似した SiO_2 含有量を示す。したがって、三瓶火山においても噴出率や脱ガス効率の程度により、どちらの噴火も起こり得ることを意味する。

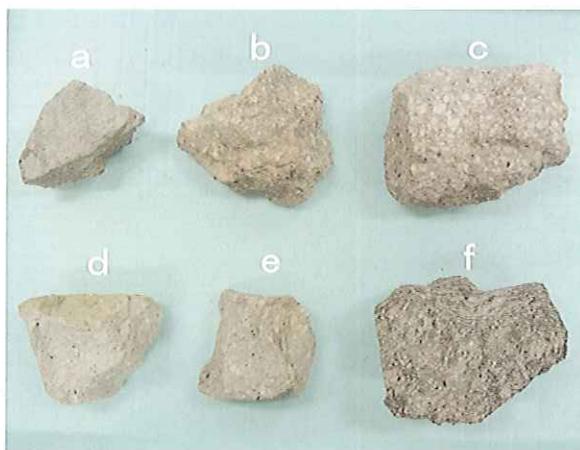
5. 三瓶火山第Ⅶ期の活動と雲仙普賢岳、ピナツボ火山との比較

(1) 噴出物の種類の比較

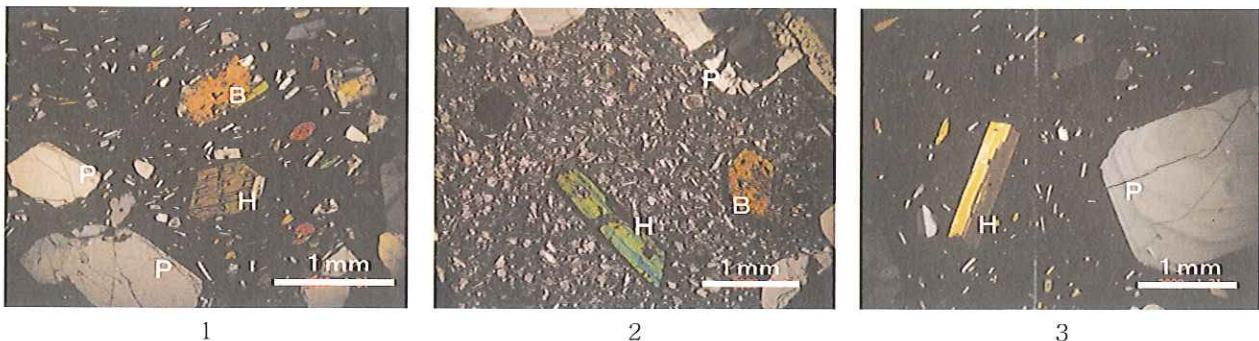
三瓶火山は第Ⅳ活動期のサブプリニー式噴火を境に、軽石中心の流紋岩質からデイサイト質の噴出物へと変化した。すなわち、噴火様式がそれまでのプリニー式噴火からブルカノ式およびメラピ式火碎流噴火へと変わった（福岡・松井、2004）。三瓶火山第Ⅶ期の噴出物は溶岩、火碎流、降下火山灰、岩屑なだれの各堆積物からなり、一部に火碎サージや泥流の堆積物も含む（福岡・松井、2002）。北麓を除いたエリアの太平山火碎堆積物は air fall ash と淘汰の悪い block and ash flow の互層からなり、上部の block and ash flow には大礫サイズの軽石質デイサイトとパン皮状火山弾を多く含み（第7図）、基質の 50% 以上を軽石質のラ



第7図 三瓶火山南西麓の露頭に見られるポンサグ構造
a: 第VII期・太平山火碎堆積物のblock and ash flow, パン皮状火山弾を多く含む。火山弾には軽石質のものと堅くて緻密なデイサイト質のものがある。
b: 太平山火碎堆積物の降下火山灰(火碎サージを含む)。
c: 第2黑色土。
d: 第VI期の角非降下火山灰。この露頭の第VII期、第VII期の層準にはポンサグが多く認められ、中山ほか(1996)も同層準のポンサグを報告している。写真的火山弾はb層の最上部を搅乱させていることから、ブルカノ式噴火によりa層の堆積直前に被弾したと推定される。



第8図 三瓶火山太平山火碎堆積物中の多様な岩相のデイサイト
a: 暗灰色デイサイト。斑晶は少ない。(三瓶火山東麓の火碎流) b: 灰色と赤褐色が混じったデイサイト。黒雲母と角閃石の斑晶は少ない。(三瓶火山北麓の転石) c: 高温酸化した赤褐色デイサイト。斜長石斑晶が大きい(<10mm)。(三瓶火山東麓の火碎流)。 d: 灰白色軽石質デイサイト。弱発泡している。(三瓶火山東麓の火碎流)。 e: 灰色デイサイト。太平山火碎堆積物の中では最も典型的なもの(三瓶火山東麓の火碎流)。 f: 流理構造の発達した黒褐色デイサイト。斜長石の斑晶が小さい(<3mm)。(室内的転石)。



第9図 デイサイトの顕微鏡写真 P: 斜長石 B: 黒雲母 H: 角閃石
1: 流理が見られる黒褐色デイサイト。石基はガラスと微斑晶からなる(採取地: 室内の転石)。
2: 男三瓶を構成する灰色デイサイト。石基全体が斜長石の微斑晶からなる(採取地: 男三瓶中腹の露頭)。
3: 軽石質で弱発泡したデイサイト。石基はガラス質部分が多い(採取地: 三瓶火山東麓の太平山火碎流)。

ビリ～細礫が占める層準もある。これに対して、北麓の太平山火碎堆積物には air fall は認められず、立石岩屑なだれ堆積物を2層の ash flow が被覆する。そのうち下部層は細粒砂サイズの火山灰で軽石質細礫を含むが、大礫サイズの大きな弱発泡火碎物は含まれない。層相の異なる両層の間にチャネル堆積物の薄層を挟むことから上部層と下部層の間に時間間隙があったことを示す。

火碎流の本質物はデイサイトで、発泡度や石基の結晶度、流理構造、高温酸化の程度など、みかけの岩相は多様である(第8図)。全体的に斜長石の斑晶が多く、

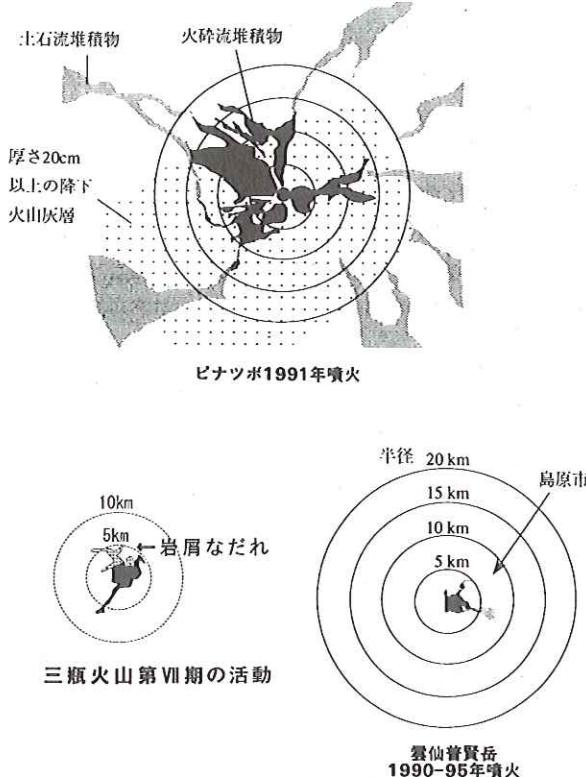
黒雲母、角閃石の自形斑晶を含む。鏡下ではハイアロオフィティック状組織を示す(第9図)。弱発泡したデイサイトの石基はガラス質部分が多いのに対し、男三瓶を構成する灰色デイサイトは石基全体が斜長石の微斑晶からなる。これらの結晶度の違いは雲仙普賢岳の場合(Nakada and Motomura, 1999)のように、マグマの噴出率や脱ガスの速度が異なっていたことを示唆する。

雲仙普賢岳1991年噴火では外成的成長(exogenous growth: 中田, 1996; Nakada et al., 1999)としての溶岩ロープが認められているが、三瓶火山における

第VII期の活動として、現在はっきりと確認することはできない。三瓶山では、崩落、浸食によりロープが消失してしまったか、男三瓶については Kamata and Kobayashi (1997) が九重火山で推定し、沢田ほか (2002) が推測した高温岩屑なだれが起因していることが考えられる。

(2) 火碎流堆積物の分布の比較

第10図はピナツボ1991年噴火と雲仙普賢岳1991年噴火の火碎流と泥流の分布を同じスケールで示したもの（中田、1997を改変）に、松井・井上（1971）による「太平山火碎流」の分布を加えたものである。ピナツボ1991年噴火のブリニー式噴火がいかに大規模なものであったかということと、太平山火碎流の分布は雲仙普賢岳の場合よりもやや広い程度であることが見て取れる。



第10図 火碎流堆積物の分布の比較

中田 (1997) を改変・加筆。三瓶火山太平山火碎流の分布は松井・井上 (1971) を基に加筆。三瓶火山では岩屑なだれを含めたが、泥流は表示していない。

6. 太平山火碎流の体積の推定

(1) 服部ほか (1983) による推定

服部ほか (1983) は、地形的特徴から復元した 1

個の溶岩円頂丘の体積は約 2.5 km^3 で、そのうち、現在の円頂丘溶岩の総体積を 1.8 km^3 、室内火口形成に伴って破壊された部分の体積を 0.3 km^3 、円頂丘外側斜面の浸食量を 0.4 km^3 と試算した。また、太平山火碎流の総体積を 0.25 km^3 、降下火碎堆積物を火碎流堆積物と同等あるいはそれ以上に達する可能性があるとした。すなわち、破壊された部分の体積の2倍に相当する量が室内火口から噴出したことになるが、噴出した堆積物の数値の根拠は示されていない。

(2) H/L 比による推定

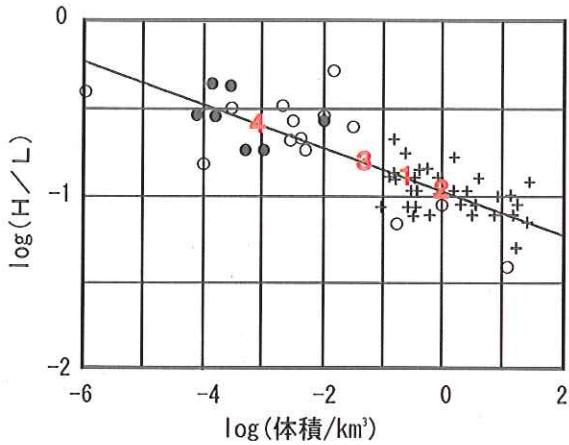
Ui (1983) は岩屑なだれや火碎流の比高 (H) と水平流走距離 (L) の比 (以後 H/L 比とする) と体積 (V) との関係を求めている。

Hayashi and Self (1992) は流れる物質が岩屑なだれか火碎流かを問わず火山性物質であれば H/L 比と V には一定の関係があるとした。ただし、崩落する物質の位置エネルギーの変化が運動エネルギーに変わっているとすれば、高さ H や移動距離 L の変化は理論的には移動物体の重心で考えるべきであるが、H は火碎流の出発点が噴煙柱の上端か火口の標高かで異なり、L は火碎流の中心か末端かでも異なってくるとした。そして、通常は H よりも L の方が1桁程度大きいので、H/L 比は下限値を与えるとした。

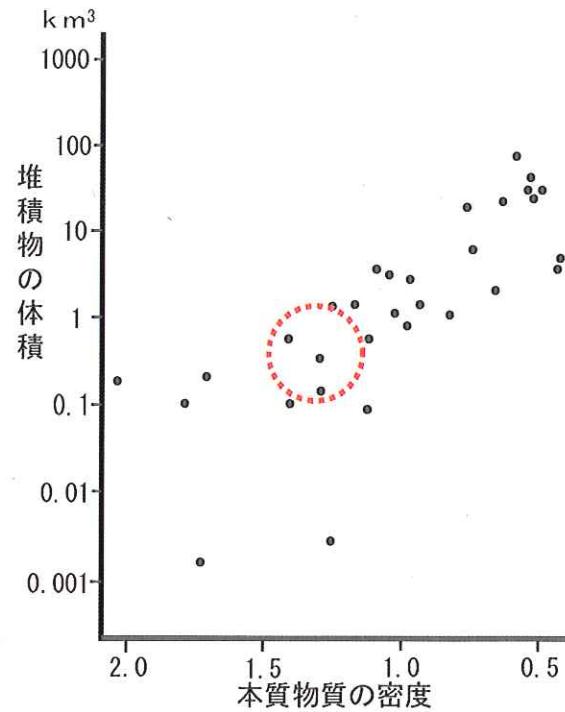
三瓶火山噴出物については H の見積もりに出発点の標高として現山体の稜線、現在確認できる火碎流の末端までを L として試算したが、求めた H/L 比は下限値、つまり V の最大値を与えることとなる。Hayashi and Self (1992) が示した H/L-V 図に、雲仙普賢岳1991年噴火の結果（中田、1993）と三瓶火山の太平山火碎流と岩屑なだれの H/L 比の下限値を加筆したのが第11図である。松井・井上 (1971) や福岡ほか (2002) の第VII期の火碎流や岩屑なだれの分布から推定した H/L 比を当てはめると、東方向の志津見方面に流出した火碎流の総体積は約 1 km^3 、南方向の早水川方面は約 0.5 km^3 となる。草野・中山 (1999) は太平山期の火碎流堆積物は6回以上の block and ash flow の発生で形成された可能性があるとした。規模の小さなものも含めると太平山火碎流の総体積は最大で 2 km^3 程度と見積もられるが、前述のように最大値は過大評価された値であると同時に1桁以上の誤差はあると考えられる。

(3) 軽石の密度による推定

Aramaki and Yamasaki (1963) は規模の大きい火碎流ほど、その中に含まれる本質岩塊のみかけ密度が小さく、よく発泡している傾向があることを示した(第12図)。太平山火碎流に含まれるやや発泡したディサイトは水に浮くほど発泡はしていない。みかけ密度が最も小さい軽石質ディサイトはガラスピーズ法 (佐々



第11図 水平流走距離 (H) と比高 (L) の関係
 ●: 雲仙普賢岳1991-1992年噴火
 ○: 他の火碎流堆積物
 +: 岩屑なだれ堆積物
 赤数字: 三瓶火山第VII期火碎流と岩屑なだれ堆積物
 1: 太平山火碎堆積物の南(早水川)方向の火碎流堆積物
 2: 太平山火碎堆積物の東(志津見)方向の火碎流堆積物
 3: 北麓の立石岩屑なだれ堆積物
 4: 北東麓の伊比谷岩屑なだれ堆積物
 Hayashi and Self(1992)の原図に雲仙普賢岳1991-1992年噴火(中田, 1993)と三瓶火山太平山火碎流を加筆。



第12図 軽石の密度と噴出物体積との関係
 点線赤丸内が三瓶火山軽石質ディサイトのおよその分布域を示す。(Aramaki and Yamasaki, 1963に加筆)

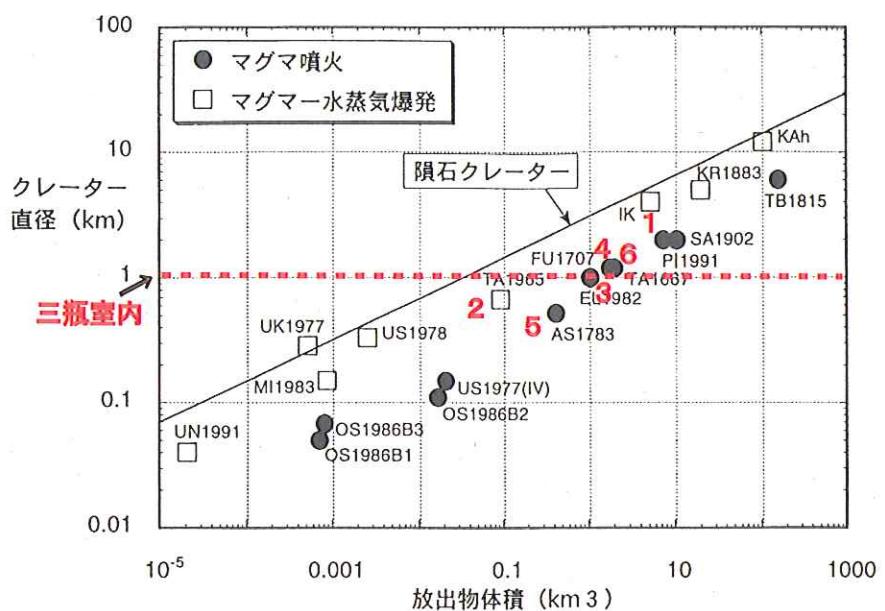
木・勝井, 1981) で約 1.2 g/cm^3 を示す。また、パン皮状火山弾は 1.4 g/cm^3 から 2 g/cm^3 、あるいはそれ以上の緻密なディサイトも含まれる。軽石質ディサイトを第12図にプロットすると太平山火碎流の体積は $0.1 < V < 1 \text{ km}^3$ 程度となる。

(4) 室内を爆裂火口と仮定した場合の推定

佐藤 (1995) は噴火の経過がわかっている歴史時代のマグマ水蒸気爆発およびマグマ爆発によって生じた火口の形態や形成過程、および火口の直径と噴出物体積の関係を示し (第13図)、噴出物の体積と火口の直径には相関があるとした。そして、マグマ-水蒸気爆発はマグマ噴火よりも同じ噴出物体積で比較すると火口直径が一桁程度大きいとした。

凹み地形の形成には爆裂火口と陥没によるカルデラがあり、地学事典によると「火口」は直径1kmを越えないもので、それより大きな凹地は火山の単純な爆發的活動で生じたものでないとして、火口と区別して「カル

デラ」と呼んでいる。また、火口とカルデラの境界を直径1-2kmとしている文献も多い。第13図では火口とカルデラの区別はされていないが、両者を含んでいるので、共に適用できる関係と推定される。この図を



第13図 放出物体積と火口径 (佐藤, 1995に加筆)
 1: ピナツボ1991 2: タール1965 3: エルチチョン1982 4: 富士山1707
 5: 浅間山1783 6: 尊前山1667

基に、三瓶火山の室内を火口とみなし、他火山の火口径や噴出物と比較し検討してみた。

一般的なカルデラについて、Lipman (2000) は陥没により生じた構造的なカルデラと火口壁の崩落などで広がった地形学的なカルデラを区別した。三瓶火山・室内を取り囲む稜線の直径は1.2-1.4km（平均1.3km）である。これは、地形学的なカルデラに相当し、火口形成後に火口壁が崩落して広がった可能性がある。室内の等高線の傾斜が緩やかな範囲に限ると、直径は約0.8kmとなる。そこで、構造的なカルデラに相当する可能性のある仮想的な火口径を両者の中間の1km前後とみなし、第13図において比較すると、推定堆積は $0.1 < V < 2 \text{ km}^3$ となり、低い数値はマグマ-水蒸気爆発、高い数値はマグマ噴火に類似することとなる。

なお、ここで引用した体積には deposit volume と溶岩換算値 DRE (dense-rock-equivalent) volume が混在しているが、DRE 表記のないものは deposit volume とみなした。雲仙普賢岳1991年噴火の火碎流堆積物の deposit volume から DRE への変換は0.7の係数を用いており（宝田ほか、1993）、逆変換するには1.4をかけなければならない。太平山火碎流の場合も類似係数になるであろう。

7. 議論

ここでは、爆裂火口説と個別溶岩ドーム説の各説を支持すると考えられる根拠と問題点を述べ、どちらの説が有利かについて考察する。

(1) 重力異常の解析

小室ほか（1996）は第Ⅱ期（福岡・松井、2004）の大田軽石流堆積物を噴出した三瓶カルデラの重力異常の測定・解析から、カルデラ基盤の四角形の凹みや起伏を推定した。さらに、女三瓶付近に鉤型の凹みを確認し、三瓶溶岩ドームが一つの火道から流出した可能性を示唆したが、一つの火道から複数回にわたり噴出した「枝分かれドーム」の可能性は残るとした。小室ほか（1996）が指摘しているように、測点分布が少ないとによる小さな目玉の見落としの可能性もある。重力異常からは爆裂火口説、個別溶岩ドーム説の両方が考えられる。

(2) H/L 比による火碎流の見積もり体積

雲仙普賢岳1991年噴火のマグマの総噴出量は 0.21 km^3 (DRE) で、air fall はそのうちの3-4% (DRE)、火碎流は 0.118 km^3 (DRE) と求められている（遠藤ほか、1993；石川ほか、1996）。また、ピナツボ1991年噴火の pumice fall は $1.6-2.0 \text{ km}^3$ (DRE)、火碎流は $2.1-3.3 \text{ km}^3$ (DRE) と見積もられている（Scott

et al., 1997）。H/L 比から見積もった太平山火碎流の体積の最大値 $V \sim 2 \text{ km}^3$ はピナツボ1991年噴火の半分に匹敵する値となり、第10図の比較からも過大評価された値である。もし、火碎流がブルカノ式の噴煙柱によるものであれば、H は大きくなる。L も最大値と考えて良いので、H/L 比はさらに大きくなる。第12図の軽石の密度から推定した値 $0.1 < V < 1 \text{ km}^3$ と比較しても、V はおそらく最大値の 2 km^3 よりかなり小さな値と推定される。また、火碎流の発生が雲仙普賢岳のようなメラビ式の溶岩崩落によるものであれば、大きな噴火口からの放出物とはならないことにも留意する必要がある。この項の結論としては爆裂火口説、個別溶岩ドーム説の両方が考えられるが、火碎流噴出量は H/L 比から求められた最小値に近いものであろう。

(3) 男三瓶-女三瓶稜線の堆積物の傾斜

男三瓶-女三瓶稜線の通称「ユートピア」では、太平山火碎流堆積物が室内方向に高まりがあるような走向・傾斜を示す（第14図）。ただし、同様の露頭は他では見い出せないので、溶岩ドームのローカルな地形を反映しているか、崩落による稜線後退の結果を示しているのかもしれない。また、男三瓶山頂付近では、山頂の地形に調和的な傾斜の火碎物が認められる。この項の結論としては爆裂火口説、個別溶岩ドーム説の両方が考えられる。



第14図 男三瓶-三瓶稜線の「ユートピア」で見られる露頭（第1図参照）

太平山火碎流堆積物の air fall と block and ash flow の互層が8m以上の層厚で堆積している。走向 N35-50W、傾斜15-30Nで、室内方向に高まりがあるような傾向を示す。

(4) 弱発泡噴出物の分布

草野・中山（1999）は太平山期の火碎流ユニットの下位の降下火碎物の有無で時間的前後関係を判断し、降下火碎物を伴う軽石質のディサイトとパン皮状火山弾を多く含む火碎流層準は初期の火山活動によるものではないとした。これらの弱発泡ディサイトの存在は爆発的な噴火による噴出物と推測されるが、その

分布は主として北麓以外のエリアで顕著であることから、室内が噴出源の爆発的なブルカノ式噴火が起こり、弱発泡の噴出物の一部は男三瓶山頂を被覆したが、男三瓶円頂丘が障壁になって北麓への噴出が阻害されたことを示唆する。すなわち、各円頂丘溶岩形成後に室内でブルカノ式噴火があった可能性がある。弱発泡細礫を含む北麓の下層の火碎流の発生時期は検討を要するが、これらの仮説は、第4図の噴火の時系列において大きな矛盾はない。この項の結論としては爆裂火口説、個別溶岩ドーム説の両方が考えられるが、第4図の噴出物の時間的変化を考慮すると、個別溶岩ドーム説がやや有利である。

(5) 太平山火碎堆積物のfallとflowの分布と量比

Cioni et al. (2000) はプリニー式噴火を三つに分けてその噴出量の特徴を記している。それによると、ウルトラプリニー式噴火に伴われる噴出量は fall/flow 比 $<<1$ で、降下物に比べて大量の火碎流（イグニンブライト）を噴出するが、サブプリニーやプリニー式噴火では fall/flow 比 >1 で降下火碎物の方が多くなるとした。

林・三浦（1987）は、三瓶太平山降下火山灰は火山から約30km以内の所にしか存在しておらず、あまり大規模な噴出があったとは考えられないとした。草野・中山（1999）も三瓶火山太平山期（第VII期）の降下火山灰について、距離100km以上の遠方まで到達するような規模の大きな火山灰の降下はないことから、複数回の block and ash flow に伴う灰雲からの降下火山灰層であるとし、太平山期に広域的に多量の火碎物をまきちらすような大規模な噴火はなかったと考えた。一方、田川・鎌田（2004）は残留磁化の測定で、太平山火碎流は定置温度が低いことや細粒物が多いこ

とから、ドーム崩壊ではなく、噴煙柱崩壊による火碎流の発生の可能性を考えた。しかし、沢田ほか（2000）や Sawada et al. (2001) によると、太平山から直線距離にして 5.5km 以上も離れている神戸川流域の太平山火碎流堆積物中の岩片の残留磁化ブロッキング温度と炭化木片の H/C 温度計を用いた定置温度の推定では、500°C を超えている。このことは田川・鎌田（2004）による「噴煙柱崩壊による火碎流の発生」の根拠となった「低い定置温度」が疑わしいことを示している。いずれにしても、三瓶火山第VII期の降下火山灰量は少なく fall/flow 比 <1 と推測され、雲仙普賢岳 1991 年噴火と類似している（第10図）。したがって、fall や flow の分布や量比から第VII期の噴火様式をプリニー式に求めることには難がある。この項の結論は個別溶岩ドーム説に有利である。

(6) 類似の火口徑を持つ火山との比較

第13図に示すように、室内を爆裂火口とみなすと、その直径は浅間山1783年、タール1965年、エルチチヨン1982年、富士山1707年、樽前1667年などの噴火に伴うものに近い。そこで、これらの火山について、火口直径、噴出物の種類、噴火様式を第15図に、各火山の写真を第16図に示した。直径1km前後以上の火口（カルデラ）を形成する噴火はほとんどがプリニー式噴火である。もし、室内が爆裂火口とすると、三瓶火山第VII期の活動は噴出物の種類が他の火山とは異なり、例外的に非爆発的な噴火ということになる。したがって、この項の結論は個別溶岩ドーム説に有利である。

以上(1)～(6)の考察のうち、(1)～(3)は爆裂火口説と個別溶岩ドーム説の両方の可能性を示し、(4)では室内でブルカノ式噴火があつたことを示唆するが、

火 山 名	火口直径*1 (km)	噴 出 物		噴火様式
		降下軽石層	火碎流種類等	
1. ピナツボ1991(フィリピン)	2.0	○*2	pumiceous flow*3	プリニー
2. タール1965(フィリピン)	0.8	○*4	blast*4	マグマ水蒸気*4
3. エルチチヨン1982(メキシコ)	1.0	○*5	pumice flow*5	プリニー*5
4. 富士山1707(宝永の噴火)	1.1	○(スコリア)*6	---	プリニー*6
5. 浅間1783(天明の噴火)	0.5	○*7	welded tuff*7	プリニー*7
6. 樽前1667	1.0	○*8	pumice flow*8	プリニー*8
7. 雲仙1991	---	×	block and ashflow*9	メラビ*11
8. 三瓶室内第VII期	(1.0)	×	block and ashflow*10	メラビ／ブルカノ

第15図 室内と同程度の火口を持つ火山との比較（火山名の番号1～6は第13図に対応）

降下軽石層の有無 ○：あり ×：なし

*1 三瓶以外は佐藤（1995）の図から読みとり *2 Paladio-Melosantos et al. (1997) *3 Scott et al. (1997)

*4 Moore et al. (1966) *5 Sigurdsson et al. (1984) *6 宮地 (1984) *7 Aramaki (1956), 安井・小屋口 (1998)

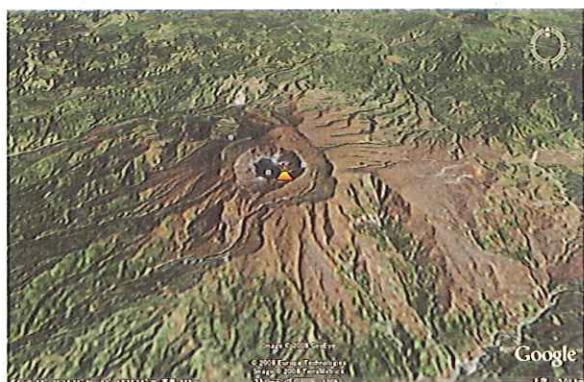
*8 曾屋 (1972) *9 藤井・中田 (1993) *10 草野・中山 (1999) *11 宇井ほか (1993)



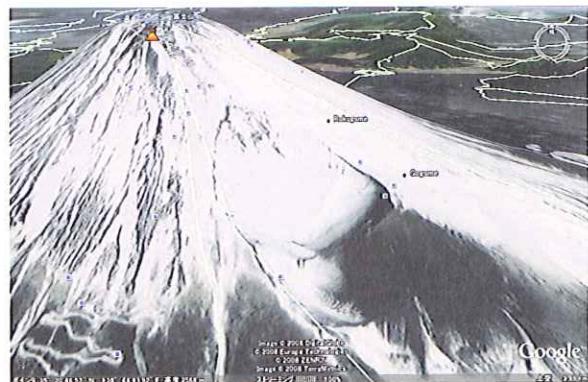
1: ピナツボ



2: タール



3: エルチチョン



4: 富士山



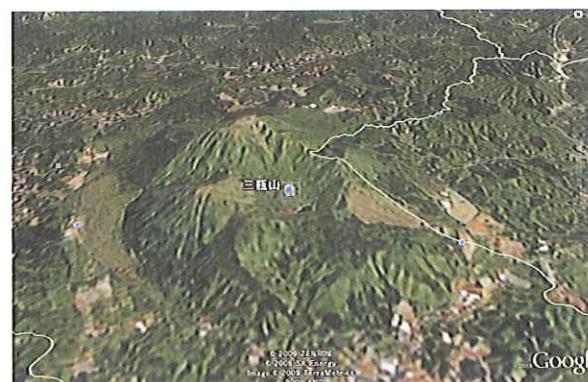
5: 浅間山



6: 樽前山



7: 雲仙普賢岳



8: 三瓶山

第16図 Google earth で見た各火山

同時に、(4) 及び(5)～(6) では個別溶岩ドーム説が有利であることを示す。よって、室内はブルカノ式噴火の噴出火口であった可能性はあるが、巨大な溶岩ドームがプリニー式噴火によって破壊された爆裂火口（またはカルデラ）ではないと推測される。

個別溶岩ドーム説の場合の三瓶火山の形態は、広義には第Ⅱ期のカルデラ形成後にできた中央火口丘という考えがある。久野（1976）は溶岩円頂丘が他の形式の火山と結合して複合火山を作る例が多いとして、三瓶火山を取り上げている。時間とともに火道が移動し、尾根が長く伸びて複雑に合体したことが多くの火山で知られており、火山の形態分類では Davidson and Silva (2000) の提唱する複合火山 Composite Volcanoes の中の Compounds または Clusters に分類される可能性がある。

8. 今後の課題

三瓶火山の室内が爆裂火口か否かは、研究者により見解が分かれたままで長年にわたる解明すべき懸案事項である。このことについて、本稿では他の火山との比較という手法で考察してみた。今後に残されたフィールド調査の課題として次の3点を上げることとする。

(1) 溶岩ドーム縁辺部の探索

福岡ほか（2007）は、男三瓶中腹で剪断されたデイサイト溶岩や加熱された火山灰質シルトや砂礫層などを発見し、これらが立石岩屑なだれ堆積物の給源と考えた。これらの地質構造は溶岩ドームの成長過程を知る上で重要なので、さらにデイサイトの化学組成や鉱物組織の差異、剪断構造、被熱温度の推定などの調査・分析を加える必要がある。

(2) 奥の湯と早水川沿いの堆積物

日影山と孫三瓶の間の奥の湯は第Ⅳ期の活動の日影山溶岩を開析した地形・地質を示す。服部ほか（1983）は奥の湯は少なくとも太平山降下火碎堆積物の最上部の噴出以前で、室内火口の形成中に開口した爆裂火口とした。草野・中山（1999）によると、この下流域の早水川沿いには6層の block and ash flow があり、下位の2層は他地域に分布しているものと異なるものである。日影山溶岩は肉眼的には三瓶円頂丘溶岩と区別できない（服部ほか、1983）ので、早水川沿いの太平山火碎流には日影山起源の噴出物が類質物として含まれている可能性もある。奥の湯は馬蹄形地形のように見えるので、その成因については爆裂火口、開析地形のほかに岩屑なだれの可能性についても検討する必要があるだろう。

(3) 第Ⅶ期の活動と円頂丘溶岩との関係

町田（2004）は一連に見えるドーム溶岩も時期を異にして噴出した可能性があるとした。三瓶火山は¹⁴C 年代で 4.5-4.8ka の第Ⅶ期にもデイサイト質の火碎物を噴出している。現在の山体は第Ⅶ期の三瓶火山最後の噴火で形成されたことになっているが、第4図から男三瓶以外の円頂丘溶岩が最も古い可能性があるので、第Ⅶ期に男三瓶以外の円頂丘が形成されたとする仮説も考えられる。その場合は活動期ごとの推定噴出体積量は異なってくる。各岩体の古地磁気方位を出して、古地磁気編年との関係で年代を推定する方法（福江、1999MS など）についても検討すべきである。

9. まとめ

三瓶火山の室内は4つの溶岩ドームと1つの碎屑丘に囲まれた火口状の低地である。これらの山体は¹⁴C 年代で 3.5-3.7ka の最後の噴火（第Ⅶ期）で形成されたと考えられている。室内的成因は巨大な溶岩ドームの噴火による爆裂火口説と溶岩円頂丘群に取り残された低地とする個別溶岩ドーム説がある。三瓶火山第Ⅶ期の太平山火碎堆積物上部の block and ash flow にはパン皮状火山弾や軽石質のデイサイトを多く含み、その分布の特徴から室内を噴火口とするブルカノ式噴火があったことが示唆される。三瓶火山第Ⅶ期のマグマ組成はピナツボ火山の1991年噴火および雲仙普賢岳の1990-1995年噴火と類似しているが、噴出物の分布や噴火様式は後者に近い。また、室内を爆裂火口と仮定して、同程度の火口を形成した他の火山と噴出物の種類や容積、噴火様式を比較すると、プリニー式に相当する規模の爆裂火口を形成するような噴火ではなかったと推定される。すなわち、三瓶火山の現山体は個別の溶岩ドームから形成され、室内からの噴出はあったものの、その形態は複合火山 Composite Volcanoes の中の Compounds または Clusters に分類される可能性がある。

謝辞

本稿の作成にあたり、島根大学総合理工学部の澤田順弘教授には校閲をお願いし、内容が大きく改善された。また、島根県地学会顧問の松井整司氏、蒜山地質年代学研究所の草野高志博士には、貴重なコメントをいただいた。Abstract の添削は島根大学総合理工学部の Dr Barry Roser 氏にお願いした。文献の収集にあたり島根大学総合理工学部の河野重範氏と島根県立

三瓶自然館の細田須美子さんには大変お世話になつた。以上の方々に感謝致します。また、Google earth の火山写真の使用を許諾して頂いたゲーグル株式会社に御礼申し上げます。

引用文献

- Aramaki, S. (1956) The 1783 activity of Asama Volcano. Part I . Jap. Jour. Geol.Geogr., 27, 189-229.
- Aramaki, S. and Yamasaki, M. (1963) Pyroclastic flows in Japan. Bulletin of Volcanol., 26, 89-99.
- Cioni, R., Marianelli P., Santacroce, R. and Sbrana, A. (2000) Plinian and subplinian eruptions, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, 477p.
- Davidson, J. and Silva, S. D. (2000) Composite volcanoes, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, 663p.
- Eichelberger, J. C., Carrigan, C. R., Westrich, H. R. and Shannon, J. R. (1986) , Nature, 323, 598-602.
- 遠藤邦彦・磯 望・宮原智哉・陶野郁雄・大野希一 (1993) 雲仙岳の火山災害(土質工学会編), 45-58.
- 福江美智子 (1999MS) 第四紀三瓶火山の古地磁気学的研究－溶岩ドームの年代と構造及び火碎流堆積物の定置温度見積り－, 島根大学理学部地質学科卒業論文, 76p.
- 福岡 孝・松井整司 (2002) AT降灰以降の三瓶火山噴出物の層序. 地球科学, 56, 105-122.
- 福岡 孝・松井整司・中村唯史 (2002) 三瓶山北麓の立石岩屑なだれ堆積物について, 三瓶埋没林調査報告書Ⅱ, 島根県, 91-100.
- 福岡 孝・松井整司 (2004) 三瓶火山の噴火様式の変遷. 三瓶自然館研究報告, 2, 9-14.
- 福岡 孝・沢田順弘・草野高志 (2007) 三瓶火山・男三瓶のディサイト溶岩ドーム縁辺部における地質構造. 日本地質学会第114年学術大会講演要旨, 288.
- 藤井敏嗣・中田節也 (1993) 雲仙普賢岳噴火の火碎流－内部構造に関するモデル－. 月刊地球, 15, 481-486.
- 服部 仁・鹿野和彦・鈴木隆介・横山勝三・松浦浩久・佐藤博之 (1983) 三瓶山地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 168p.
- 林 正久・三浦 清 (1987) 三瓶火山のテフラの層序とその分布. 山陰地域研究(自然環境), 3, 43-66.
- Hayashi, J. N. and Self, S. (1992) A comparison of pyroclastic flow and debris avalanche mobility. Journal of Geophysical Research, 97, 9063-9071.
- 石川芳治・山田 孝・千葉達郎 (1996) 雲仙普賢岳噴火に伴う溶岩流及び火碎流による土砂量と地形変化. 砂防学会誌, 49-1, 38-44.
- Kamata, H. and Kobayashi, T. (1997) The eruptive rate and history of Kuju volcano in Japan during past 15,000 years. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 76, 163-171.
- Kawamata, M., Yamada, S., Kudo, T., Takano, K. and Kusunoki, S. (1992) Atmospheric temperature variation after the Mt. Pinatubo eruption. J. Meteor. Soc. Japan, 70, 1161-1166.
- 小室裕明・志知龍一・和田浩之・糸井理樹 (1996) 重力異常からみた三瓶カルデラの基盤形態, 火山, 41, 1-10.
- 小屋口剛博 (1994) 爆発的噴火と非爆発的噴火の遷移に対する火道の流れの影響, 重点領域研究「蒸気爆発の動力学」, 平成5年度科研費報告書, 47-50.
- 小屋口剛博・徳野正己・Eddi Listanco (1991) フィリピン, ピナッポ火山の噴火, 1991年6月15日. 火山, 36, 447-451.
- 久野 久 (1976) 岩波全書「火山及び火山岩第2版」, 岩波書店, 66p.
- 草野高志・中山勝博 (1999) ブロックアンドアッシュフローの堆積過程(予察) : 島根県三瓶火山の太平山火碎流堆積物の例. 火山, 44, No.3 : 143-156.
- Lipman, P. W. (2000) Calderas, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, 643p.
- Listanco, E., L. (1991) Some characteristics of airfall tephra from the 1991 eruption of pinatubo volcano, philippines. 日本火山学会講演予稿集.
- 町田 洋(2004)中国地方の火山. 大田陽子・成瀬敏郎・田中眞吾・岡田篤正編「日本の地形6・近畿・中国・四国」, 東京大学出版会, 157-160.
- 松井整司・福岡 孝 (2000) A-9付近の腐食土壤中から発見された仮称「オドリ」火山灰について, 三瓶埋没林調査報告書, 島根県景観自然課, 99-101.
- 松井整司・井上多津男 (1971) 三瓶火山噴出物の層序, 地球科学, 25, 147-163.
- 松元拓朗 (1994) 三瓶火山円頂丘溶岩の化学組成, 地質学雑誌, 100, 639-641.
- 宮地直道 (1984) 富士火山1707年火碎物の降下に及ぼした風の影響. 火山, 29, 17-30.
- Moore, J. G., Nakamura, K., Alcaraz, A. (1966) The 1965 Eruption of Taar Volcano. Science, 151, 955-960.
- 中田節也 (1993) 雲仙火山の噴火と予知. 月刊地球, No.7, 41-49.
- 中田節也 (1996) 溶岩ドーム噴火の特徴と普賢岳ドームの成長モデル, 地質学論集第46号, 139-148.
- 中田節也 (1997) 火山噴出物と噴火の推移予測. 兼岡一郎・井田喜明編「火山とマグマ」, 東大出版会, 158p.
- Nakada, S., Shimizu, H. and Ohta, K. (1999) Overview of the 1991-1995 eruption at Unzen Volcano, Volcanol. Geotherm. Res. 89, 1-22.
- Nakada, S. and Motomura, Y. (1999) Petrology of the 1991-1995 eruption at Unzeneffusion pulsation and groundmass crystallization, Volcanol. Geotherm. Res. 89, 173-196.
- 中山勝博・山内靖喜・澤田順弘・松井整司 (1996) 島根県大田市三瓶山南西麓の太平山テフラ. 第四紀露頭集－日本のテフラ, 日本第四紀学会, 30p.
- Paladio-Melosantos, Ma. L., Solidum, R. U., Scott, W. E., Quiambao, R. B., Umbal, J. V., Rodolfo, K. S., Tubianosa, B. S., Reyes, P. J. D., Alonso, R. A. and Ruelo, H. B. (1997) Tephra falls of 1991 eruptions of Mount Pinatubo. Fire and Mud:Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Phillipines. Univ. of Washington Press, 513p .
- 佐藤博明 (1995) マグマ－水蒸気爆発の多様性:火口サイズと噴出物量の関係から. 重点領域研究「蒸気爆発の動力学」ニュースレター, 3(1), 14-19.
- 佐々木龍男・勝井義雄 (1981) ガラスピーズを使った軽石の密度測定法. 火山, 26, 117-118.

沢田順弘・櫻根知夏子・福江美智子・兵頭政幸・三瓶良和（2000）

島根県、神原第II遺跡の三瓶火山太平山火碎流堆積物の定置温度見積もり－縄文人は被害を受けたか？－、島根大学総合理工学部地球資源環境学研究報告、第19号、3-15。

Sawada, Y., Sampei, Y., Hyodo, M., Yagami, T., Fukue, M.(2000)

Estimation of emplacement temperatures of pyroclastic flows using H/C ratios of carbonized wood. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 104, 1-20.

沢田順弘・櫻根知夏子・兵頭政幸（2002）古地磁気学的手法によって見積もられた定置温度から見た三瓶火山立石岩屑なだれ、三瓶埋没林調査報告書II、島根県景観自然課、107-126。

Scott, W. E., Hoblitt, R. P., Torres, R. C., Self, S., Martinez, Ma. L., and Nillos, Jr. T. (1997) Pyroclastic Flows of the June

15, 1991, Climatic Eruption of Mount Pinatubo. Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Phillipines. Univ. of Washington Press, 545p.

Sigurdsson, H., Carey, S. N. and Espindola, J. M. (1984)

The 1982 eruptions of EL Chichon Volcano, Mexico: stratigraphy of pyroclastic deposits. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 23, 11-37.

下岡順直・福岡 孝・長友恒人・長谷川歩・草野高志（2009）

三瓶火山噴出物の熱ルミネッセンス (TL) 年代測定. 本研

究報告.

曾屋龍典（1972）博前火山の形成－とくに Ta-a, Ta-b 期の活動について－、火山, 16, 15-27.

田川亜紀子・鎌田圭子（2004）本質岩片の定置温度かみた三瓶太平山火碎流の噴出様式. 日本火山学会講演予稿集, 15sp.

宝田晋治・風早康平・川辺慎久・阪口圭一・須藤茂・山本孝広・曾屋龍典・気象庁雲仙岳測候所（1993）雲仙岳1991-92年噴火の噴出物量と6月3日、8日の火碎流の発生機構. 地質調査所月報, 44, 11-24.

Ui, T. (1983) Volcanic dry avalanche deposits-identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 18, 135-150.

宇井忠英・隅田まり・大学合同観測班地質班（1993）メラビ型火碎流の発生過程－雲仙普賢岳第6ドームでの観測結果－、火山, 38, 45-52.

Wolfe, E. W. and Hoblitt, R. P. (1997) Overview of the Eruptions, Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Phillipines. Univ. of Washington Press, 3p.

安井真也・小屋口剛博（1998）浅間火山・東北東山腹における1783年噴火の噴出物の産状とその意義. 日本大学自然科学紀要, 33, 105-126.