

浅間前掛火山山頂部と黒斑火山崩壊カルデラ壁に記録された  
火砕噴火による安山岩質溶結火砕丘の形成

安井真也\*・高橋正樹\*

(2014年9月1日受付, 2015年3月24日受理)

Formation of the Andesitic Welded Pyroclastic Cones by Pyroclastic Eruption  
recorded in the Summit area of Asama–Maekake Volcano  
and the Collapsed Caldera Wall of Kurofu Volcano

Maya YASUI\* and Masaki TAKAHASHI\*

The following proximal deposits of andesitic composition in Asama–Maekake Volcano and Asama–Kurofu Volcano were compared: 1) Kama-yama, 2) Upper Maekake-yama, and 3) Upper Sennin-iwa. The 1783 and 1108 eruptions formed Kama-yama and upper Maekake-yama, respectively. The upper Sennin-iwa, which is exposed on the collapsed caldera wall, was formed before the large-scale sector collapse approximately 24,000 years ago. Most of these deposits are piles of multiple welded pyroclastic rocks that form the topography of pyroclastic cones. Massive parts exhibit densely welded features such as fiamme and a eutaxitic texture under a microscope. These deposits are also associated with Plinian pumice fall deposits on the distal area, indicating that the intense pyroclastic fall formed these welded pyroclastic cones in the proximal area during the eruptions. Therefore, syn-Plinian fountaining is considered to have occurred in these cases.

Kama-yama is a simple, small-scale truncated cone and occupies the dish-shaped crater of Maekake-yama. A thick, densely welded pyroclastic rock that is exposed on the crater wall forms the central part of the cone. On the other hand, upper Maekake-yama is a large truncated cone extending in the east-west direction. The complex topography and geology around upper Maekake-yama suggest that it is a composite of pyroclastic cones and that it collapsed at least twice during the 1108 eruption. The upper Sennin-iwa is a remnant of a pyroclastic cone, judging from its topography. It is considered to be less proximal than the other two examples. However, it consists of densely welded pyroclastic rocks with interbedded non-welded pumice fall deposits. Various factors, including the distance from the eruptive source, depositional rate, and fountain height, may have generated the variations in the occurrence among the proximal deposits observed in this study.

**Key words:** Proximal deposit, welded pyroclastic rock, pyroclastic cone, Asama Volcano

## 1. はじめに

火口近傍に分布する噴出物の産状は、噴火様式の実態や火山体形成の理解に直結する多くの情報をもつ。しかしながら、火山山麓に分布する降下火砕堆積物や火砕流堆積物に比べ、火口近傍相は産状が複雑である場合が多く、記載があまりすすんでいない。ニュージーランドのナラホエ火山の例 (Hobden *et al.*, 2002) など、比較的小規模な噴火による山頂部の地形の変遷が示された研究例は

あるが、一般に規模の大きい噴火の噴出形態と火山体形成の実態が議論された事例は多くはない。火口近傍で生ずる諸現象の解明を目指す“プロキシマル火山地質学” (高橋, 2006) のフィールドの一つとして、我々は浅間火山において検討をすすめている。浅間前掛火山の山頂部には火口近傍相の観察に適した露頭が点在し、また浅間黒斑火山の崩壊カルデラ上部にも良好な露頭が見られる。現在活動中の山頂火口を有する釜山については、火

\* 〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40  
日本大学文理学部地球システム科学科  
Department of Geosystem Sciences, College of Humanities  
and Sciences, Nihon University: 3-25-40, Sakurajosui,

Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan.

Corresponding author: Maya Yasui  
e-mail: yasui.maya@nihon-u.ac.jp

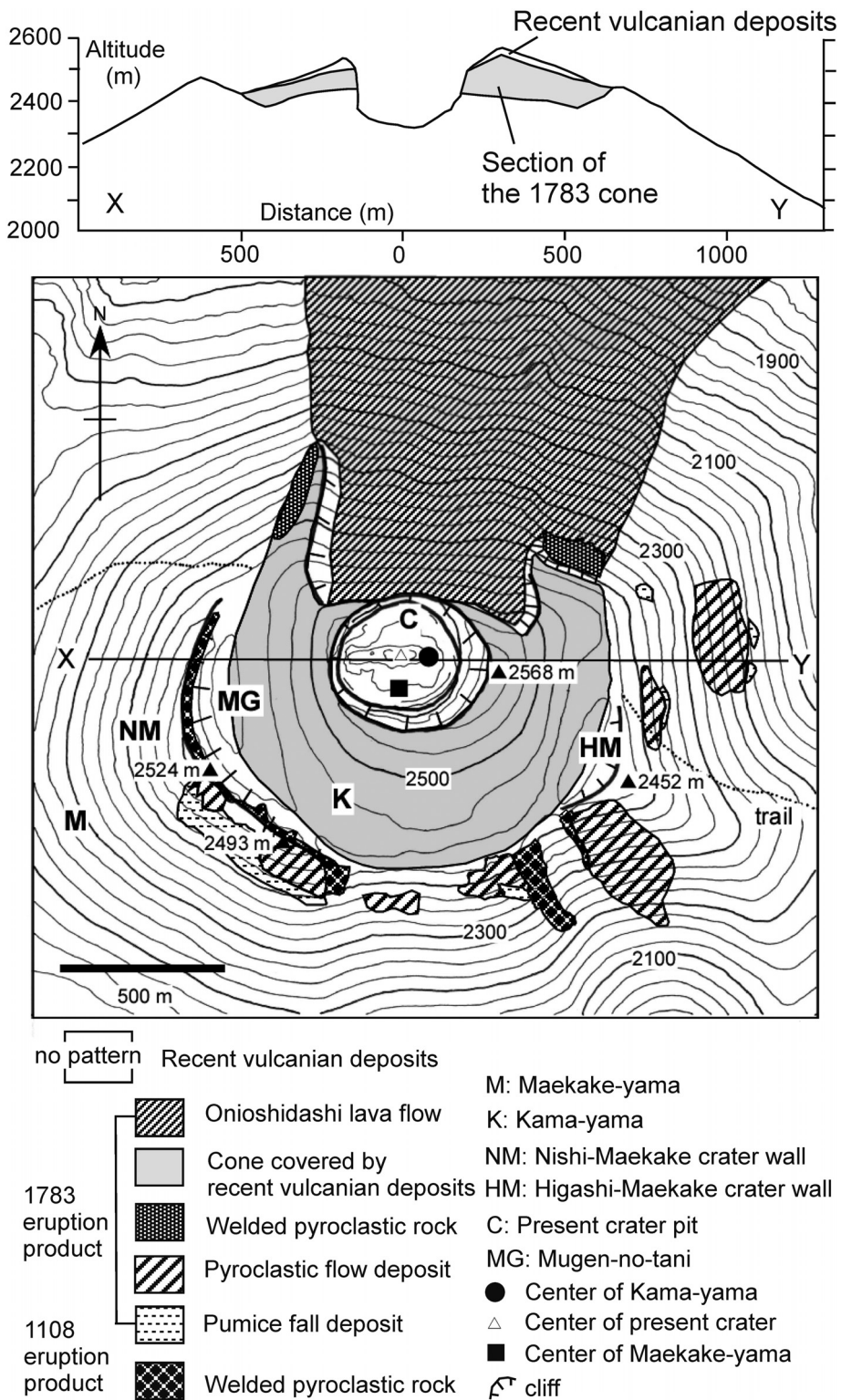


Fig. 1. Map showing the topography and geology of the summit area of the Asama-Maekake Volcano. This map is modified from Fig. 1 of Yasui and Koyaguchi (1998). A topographic profile (X-Y) is also shown.

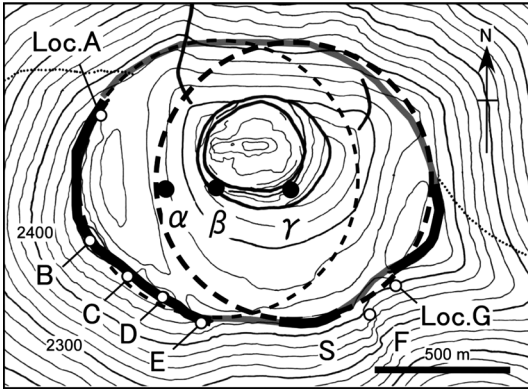


Fig. 2. Topographic features of Maekake-yama. The crater rim of Maekake-yama is shown by the thick black line. The gray line shows the assumed crater rim of Maekake-yama before the 1783 eruption. For descriptions of the localities shown by letters on the map, see section 2-2 of the text. For explanations of the circles on the map and the localities  $\alpha$ ,  $\beta$ , and  $\gamma$ , see section 4-1-1 of the text.

口壁層序と山麓の堆積物との対比、古記録分析の結果から、その大部分が天明噴火（1783年）で形成されたと考えられている（安井・小屋口, 1998）。浅間前掛火山では、天明噴火以外にも、大規模噴火の度に山頂部の地形が大きく変化したことが予想される。ここでは浅間前掛火山の火口壁に見られる天仁噴火（1108年）の噴出物を中心とした記載を行い、天仁噴火における火口近傍プロセスについて議論する。さらに、これまでに記載した釜山火口壁（安井・小屋口, 1998）と黒斑火山崩壊カルデラ壁の仙人岩付近上部の露頭（高橋・他, 2013）の産状とも比較することで、火砕噴火における火口近傍プロセスや安山岩質溶結火砕丘の多様性について議論する。

## 2. 前掛火山の山頂部

### 2-1 前掛火山山頂部の地形的特徴と天明噴火前後の地形

前掛火山の山頂部は前掛山と釜山から構成される。前掛山の山頂部は皿状の火口原となっており、その内側の大部分を釜山が占めている（Fig. 1）。前掛山は東西に伸長した裁頭楕円錐に近い形態を示す。前掛山の山頂部には西側と南側、南東側に火口縁が認められ、それらを図上でつなぐと、東西に伸長した火口原地形が復元される（Fig. 2のグレーの線）。この火口原の長径は約1353m、短径は1025mである。西側と南東側の火口縁は明瞭であり、ここでは「西前掛火口壁」（Fig. 1のNM, Fig. 3b）と「東前掛」（Fig. 1のHM）と呼ぶ。前掛火山の火口原

直下の外側斜面の傾斜は、南側と東側が $33^\circ$ と最大で、最小は北東側の $27^\circ$ である（安井・小屋口, 1998のFig. 2参照）。南側の外側斜面には浅い谷地形に挟まれた平滑面（Fig. 2のS）がみられる。東前掛の外側は、仏岩溶岩の地形の高まりに連続する緩傾斜の尾根である。前掛山の北側斜面は、釜山の北側斜面と一致し、そのまま鬼押出溶岩へと連続する。

安井・小屋口（1998）は1783年噴火前後の地形に関する古記録（古文書および絵図）の記述を抽出して示した。それらによると当時、前掛山の中央部に高まりがあり、「焼山」、「釜」、「竈」、「釜山」、「焼出ル釜」などと呼ばれていた。ここでは、現在の釜山と区別するために「古釜山」と呼ぶこととする。天明噴火前は、前掛山は古釜山より高く、古釜山を隠していたという。また古釜山と前掛山との間に大きな谷があり、「無間の谷」といった。天明噴火後の登山者によれば、山頂部の地形は著しく変わり、無間の谷の西は半ば埋まり、南は肩のようで、東は峰続きになったという。また、釜山の北の方が大きく崩れていたという記述も多い。釜山は前掛山より高くなり、前掛山を見越して遠近の山が見えたという。『天明雑変記』や『浅間山大焼之図』などの絵図にも天明噴火前後の顕著な地形変化が描かれており、『大焼其以後ノ図』には「焼口ヨリ又山一ツ吹出シタリ」と書き添えられている。このように無間の谷は天明噴火でかなり埋められたことが読み取れる。無間の谷は、天明噴火以降も20世紀前半に特に活発だったブルカノ式噴火を主とする噴火による堆積物でさらに埋められたものとみられる。現在、無間の谷の地形の痕跡は西前掛火口壁から南東側の東前掛にかけて残されているのみである（Fig. 3b）。現在、前掛山の火口原は釜山によりほとんど占拠されているが（Figs. 3a and 3b）、以上の古記録の記述より、天明噴火以前は、前掛山のかなり深い火口の中に古釜山が存在していたことがうかがえる。

### 2-2 西前掛火口壁

前掛火山の山頂部において釜山を除くと、地形的に最も際立っているのが西前掛火口壁である（Fig. 3d）。西前掛火口壁では柱状節理が発達する緻密な層が絶壁となっており（Figs. 3c, 3d and 4b）、津屋（1934）は「屏風岩」と呼んで記載した。西前掛火口壁は、標高2524mの前掛山山頂より北方と、南東側へ弧を描き、全長は約1.1kmである（Fig. 1）。前掛山の山頂直下の崖の高さは約100メートルである。地点A（Fig. 2）付近から南方を見ると、前掛山頂より南方は、地点A～B間の標高から予想される火口縁の高さがかなり低い（Fig. 3d）。崖の下半分には崖錐状の堆積物がアバットしているが、地点C付近では火口内側に傾斜した成層構造の著しい部分が認められる



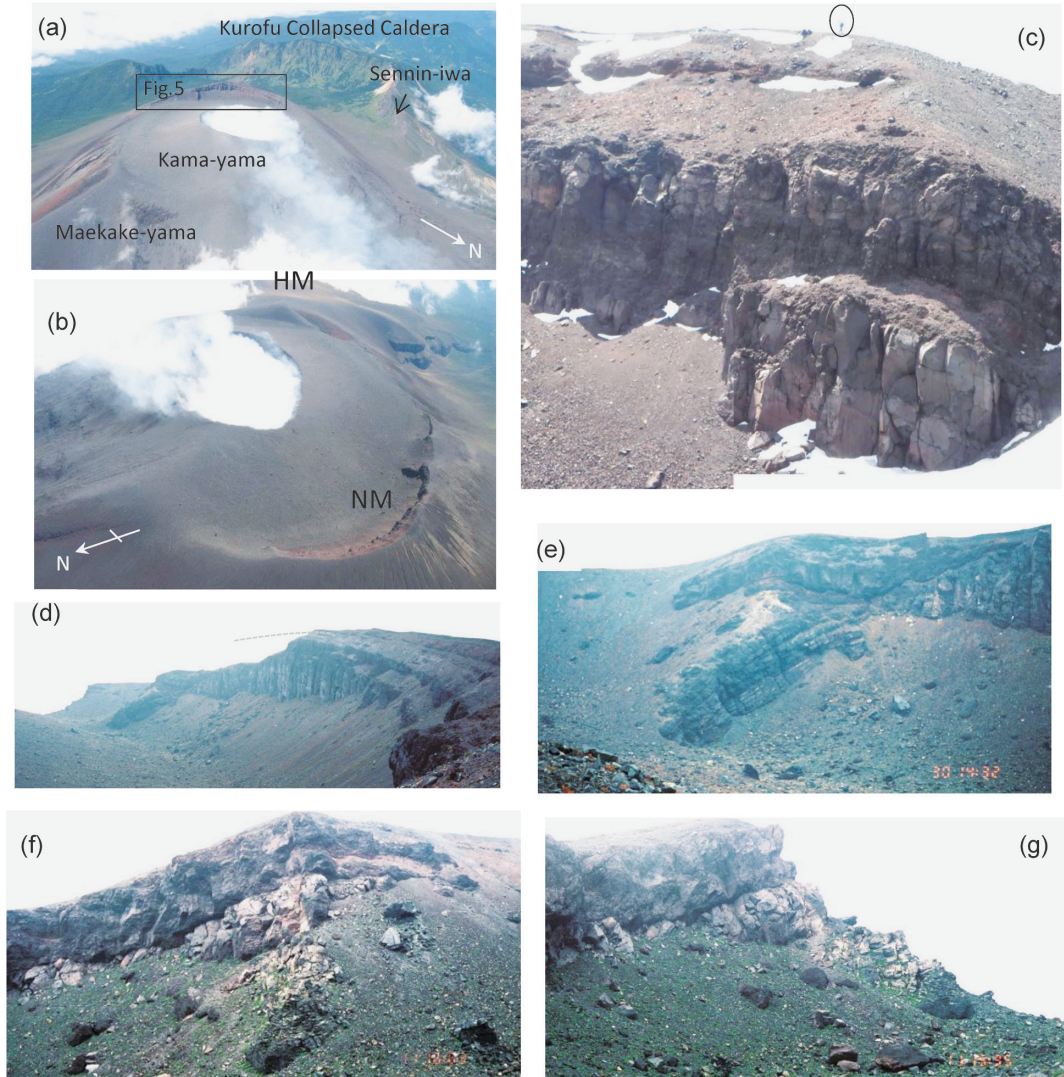


Fig. 3. Photographs showing proximal features of Asama-Maekake Volcano. (a) Aerial photo of the summit area of Asama-Maekake Volcano seen from the northeast. The area of Fig. 5 is shown by a rectangle., (b) Aerial photo of Kama-yama seen from the northwest. NM: Nishi-Maekake crater wall, HM: Higashi-Maekake crater wall. White arrow shows the direction of north. Photos (a) and (b) were taken by Prof. T. Koyaguchi in 2004. Photos (c), (d), (e), (f), and (g) are of the Nishi-Maekake crater wall. (c) Thick layers of the welded pyroclastic rocks at locality A. For details, see section 2-2-1 of the text. A person standing on the cliff indicates the scale., (d) Southern part of the Nishi-Maekake crater wall seen from locality A. Note that the height of the cliff is decreased southward compared with the assumed height judging from the level of the upper layers (dotted line)., (e) A distinct unconformity on the crater wall and the stratified block hanging against the wall at locality C. For details, see section 2-2-3 of the text., (f) Localities D and E seen from the northeast., (g) Localities D and E seen from the southeast. For details, see section 2-2-4.

(Fig. 3e and 4c). 屏風岩の表面には噴石による衝撃痕が見られ (Aramaki, 1963), 崖錐状の堆積物は 20 世紀前半に頻発した噴火の噴出物も含むとみられる。以下では地点 A~E (Fig. 5) の記載をする。なお、本論では天仁噴火

に着目するため、天仁噴火以降の噴出物については、安井・小屋口 (1998) を参照されたい。

#### 2-2-1 地点 A

地点 A (Figs. 3c, 4a and 5a) では、崖の最上部約 7.5 m



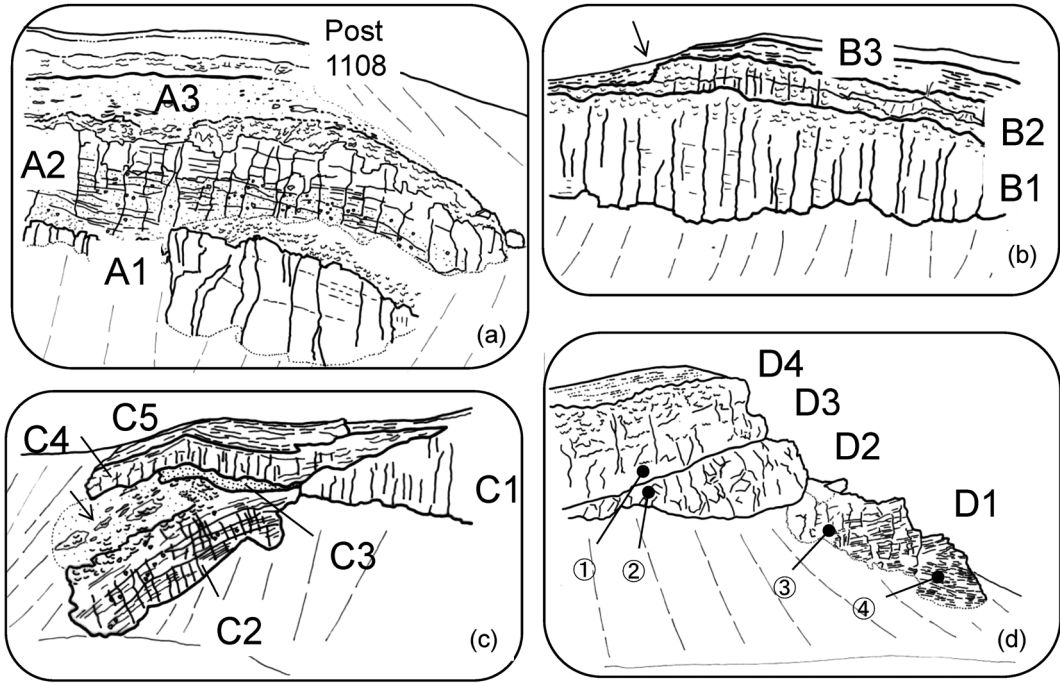


Fig. 4. Sketches showing the occurrence of the eruptive products at localities A, B, C, and D on the Nishi-maekake crater wall. For descriptions, see section 2-2 of the text., (a) Locality A., (b) Locality B. An arrow shows the unconformity on B2., (c) Locality C., (d) Locality D. (a), (c), and (d) correspond to photos in Fig. 3c, 3e, and 3g, respectively. ①~④ show the level of samples in this study.

に天仁噴火以降の堆積物が認められる (安井・小屋口, 1998)。この部分は全体に成層構造を呈し、ブルカニアン堆積物と、天明噴火および大治噴火の降下火砕堆積物や火砕流堆積物から成る (安井・小屋口, 1998 の図絵写真 3 参照)。ここでブルカニアン堆積物としたものは、緻密で角張った火山岩塊と、同質の火山灰から成り、全体として成層構造を示す。この産状は、釜山火口壁最上部の天明噴火以降の堆積物に対応する Unit-C (安井・小屋口, 1998 の Fig. 4) と類似する。

表層 7.5m の堆積物の下位には天仁噴火の噴出物の全岩化学組成を示す火砕物層がみられる (安井・小屋口, 1998 の Fig. 5)。津屋 (1934) や八木 (1936) は西前掛火口壁の緻密な層を“溶岩”であると考えたが、荒牧 (1968) や以下の記載が示すように、緻密な層を含め、西前掛火口壁は火砕物から構成される。この火砕物層は岩相の違いにより、下方から A1~A3 に分けられる (Fig. 4a)。A1 は厚さ約 23m で、崖錐に覆われるため下限は不明である。A1 は緻密で幅 6~9m ほどの粗大な柱状節理が発達する。A2 は全体の厚さが約 23m で、上部は緻密で柱状節理が発達し強く溶結するが、最上部は溶結度がやや低い。A2 の下半部は成層構造と赤色酸化が顕著で、全体

に中程度に溶結している。赤褐色のスコリア質レキと同質の火山灰から成り、基質支持の産状を示す (Fig. 6a)。また A2 は石質岩片に富むのが特徴である。地点 A では A2 を貫く柱状節理が認められるが、節理の幅は A1 のそれに比べ狭い (Fig. 4a)。A2 と A1 の境界は明瞭である。A3 は厚さ約 8.5m で、全体に成層構造が著しい。個々の層は非溶結で赤褐色のスコリアと同質の火山灰から成る。

#### 2-2-2 地点 B

地点 B (西前掛火口壁の最高点の直下) では岩相の異なる B1~B3 が認められる (Figs. 3d and 4b)。B1 は緻密で粗大な柱状節理が発達し、全体に強く溶結しているが、最上部は溶結度がやや低い。遠方から見ると地点 B 付近では B1 の上面が上に凸となっている (Fig. 5a)。崖錐に覆われて下限は不明であるが、地点 B での B1 の層厚は 44m に及ぶ。B2 は B1 に比べ溶結度が低く、上部と下部の 2 層にわかれる。柱状節理は下部層の下方に発達する幅の細かいものと、上下層を貫く幅の広い節理が認められる。Fig. 4b の矢印で示した部分では上部層が削られて、Fig. 4b の画面左側では下部層の上を B3 が直接覆っている。B3 は全体に成層構造が著しく、非溶結で

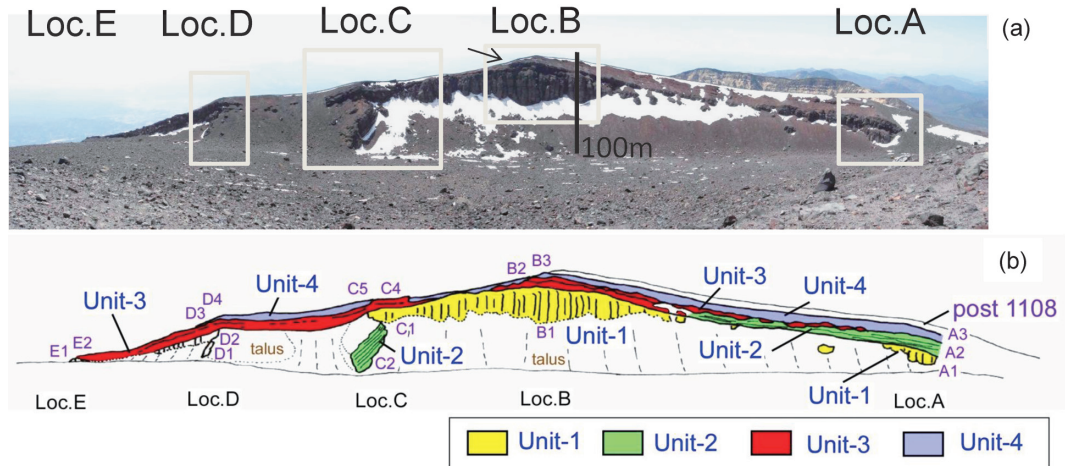


Fig. 5. (a) Panoramic photo of the Nishi-Maekake crater wall. Arrow shows the unconformity described in section 2-2-2 of the text. The height of the wall is up to 100 meters at locality B. Areas of the sketches in Fig. 4 are also shown., (b) Sketch of the Nishi-Maekake crater wall showing the units described in section 4-1-2 of the text. This sketch corresponds to Fig. 5a.

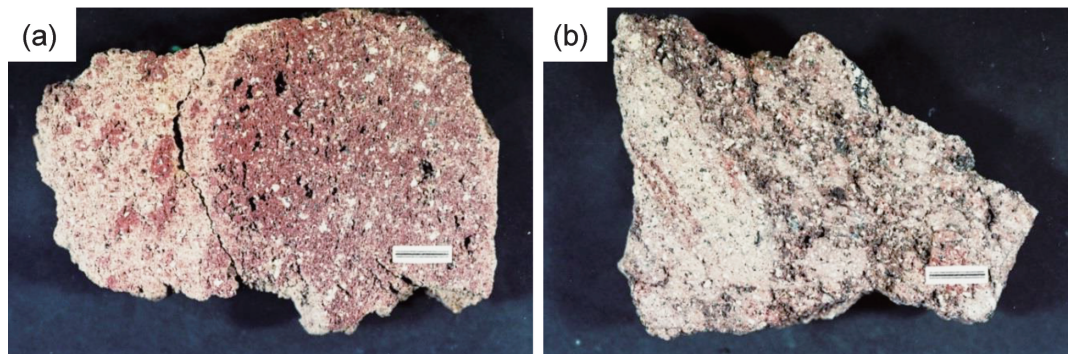


Fig. 6. Photographs of the hand specimens. (a) A2 from locality A. Scale: 1 cm, (b) D3 from locality D. Scale: 1 cm.

ある。

### 2-2-3 地点 C

地点 C では岩相の異なる C1~C5 が認められる (Figs. 3e and 4c). C1 は緻密で粗大な柱状節理が発達する。地点 C では南東方向へ向けて C1 の上面が削られており、その不整合面を覆って、C3~C5 が堆積している (Fig. 4c). また地点 C では火口壁にアバットする形の厚いブロック状の部分 C2 がある (Fig. 3e). その上部には弱溶結の火砕岩から成る面が認められ (Fig. 4c の C2 上の矢印部分), 側面には顕著な成層構造が見られる (Fig. 7a). C2 の溶結度は層により異なり, 下半部には強溶結の緻密な層が多い。また C2 には石質岩片が多く含まれている。柱状節理は概ね C2 全体を貫いている (Fig. 4c). 形状からみて C2 は直方体状であり, 全体に南東方向に傾

斜している。C3 と C4 は C2 の形状を反映するようにマントルベッドしている (Fig. 4c). C3 は赤褐色で主に火山灰, 火山レキから成る。C4 は暗灰色で緻密な強溶結部であり, 柱状節理が発達する。C4 には成層構造がみられる。C5 は赤褐色で成層しており, A3 や B3 と類似した産状である。顕微鏡下では C2 はユータキシティック組織を示し, 鉱物の弱い定方配列や破片状結晶が認められる (Fig. 8a).

### 2-2-4 地点 D

2493 m の三角点の直下に位置する地点 D では, 岩相の異なる D1~D5 が認められる (Figs. 3g and 4d). D1 上部は粗い垂直方向の節理と水平方向の節理が発達するが, 下部は水平方向の節理のみである (Fig. 4d). 水平方向の節理は垂直方向に連続的に節理の幅が変化し, 上部

は7~26cm程度であるが、下部は1~数cmの細かい板状節理となっている (Fig. 7b). 細かい板状節理は下方で火口内側に傾斜している (Fig. 4d). D2は緻密で、粗い柱状節理が発達する。D2とD3の境界は非常に明瞭である。D3は弱い成層構造を示し、溶結の程度が垂直方向に変化する。D3全体を貫く柱状節理が部分的にみられる。D3の試料は、手標本スケールでは全体に赤褐色で、緻密部分とやや多孔質な部分が認められる (Fig. 6b). D4は非溶結の火砕物から成り、全体に成層構造が著しい。Fig. 4dの① (D3) と④ (D1) の試料は天仁噴火の噴出物の化学組成を示す (安井・小屋口, 1998の Fig. 5). Fig. 4dの①~④ (D1, D2, および D3) の試料はいずれも顕微鏡下で緻密で、鉱物の弱い定方配列が認められる (Figs. 8c and 8e). 石基は隠微結晶質で不均一であり、顕著なユータキシテック組織を示す場合もある (Fig. 8b). また破片状結晶がしばしば認められる (Figs. 8b~8e).

#### 2-2-5 地点E

西前掛火口壁の南端では、シート状の面が前掛火山の南東側の外側斜面へ張り出している (Fig. 9c). シート状の面の東端にあたる地点Eでは、緻密で不規則な柱状節理の発達する厚さ約10mの層 (E1) の断面が、標高2440mの火口縁から下方へ標高差約50mにわたって露出する。この面の表層部は、弱い成層構造を示すE2により覆われている (Fig. 9c).

#### 2-3 前掛南側山腹

地点Fではシート状の溶結火砕岩層が下位からF1~F4の4層が累重する (Figs. 9b and 9d). 合計層厚は25m以上あるが、F1とF3が厚い。いずれも赤褐色を呈し、溶結の程度は中~強溶結である。F3はその上位のF4よりも溶結度が高く、緻密で柱状節理が発達する。

地点Gでは天明噴火の溶結火砕岩の下位に、地点Fと類似した赤褐色の溶結火砕岩層が認められる (Figs. 7c, 7d, and 9d). 上からG2, G1の2枚にわけられ、G2の方が溶結の程度が高い (Fig. 7c). G1は天仁噴火の噴出物の化学組成を示すことが確認されている (安井・小屋口, 1998の Fig. 5).

#### 2-4 釜山火口壁

釜山の火口壁については、安井・小屋口 (1998) の記載の要点を以下にまとめる。火口壁は岩相の違いにより下方から、溶結火砕岩のUnit-AおよびUnit-B、火山灰や火山岩塊を主とするUnit-Cにわけられる (Fig. 7f). Unit-AおよびUnit-Bを構成する大部分の層は、緻密で暗灰色~灰色を呈し、柱状節理が発達するが、各層の境界部は緻密ではなく、各層の最上部は赤褐色である (Fig. 7g). Unit-Aの上方には不整合が認められる。Unit-Bはさらに下位からBa, Bb, およびBcに細分される (Fig. 7f).

Baは5~6枚の厚さ数mの溶結火砕岩から成る。Bbは層厚が厚く、成層構造を示すものの冷却単位が全体を貫くことから単一の冷却単位と考えられる。Bcは赤褐色の酸化した火砕物から成る溶結の程度の低い部分で、全体に成層構造が見られる。Unit-Cはルーズな火砕物を主とし、成層構造が著しい。中央の層準に緻密で柱状節理の発達する薄い溶結火砕岩層が1枚挟まれる。Fig. 7eは2007年撮影の北西側火口縁の様子である。2004年噴火の跡が生々しく残っており、粗大な火山岩塊と火山灰がUnit-Cの最上部を形成している。安井・小屋口 (1998) の結論のように、Unit-Cは天明噴火以降のブルカノ式噴火を主とする活動の繰り返しによって形成されたと考えられる。

安井・小屋口 (1998) は、火口壁層序のうちUnit-Bを天明噴火の堆積物に対比した。Unit-B・Unit-C間の高度が前掛山よりも高く、Unit-B・Unit-A間の高度が前掛山の高度よりも低いことは、天明噴火で釜山が前掛山よりも高くなったことを示す古記録の記述とも矛盾しないことが対比上の主な根拠である。著しい成層構造を示すBaの上位に、厚いBbが載るといふ岩相の垂直変化は、火砕物の降下・堆積が断続的なものから連続的なものへ移行したことを示す。この岩相変化の様式が、南東麓に分布する降下火砕堆積物の降下軽石の層序に沿った岩相変化と酷似することから、降下軽石をもたらしたサブプリニー式噴火と同時期に、火口近傍では火砕物が堆積して火砕丘を形成したと考えられている (Yasui and Koyaguchi, 2004).

### 3. 黒斑崩壊カルデラ・仙人岩付近上部の露頭

浅間黒斑火山では、大規模な山体崩壊により形成された馬蹄形の崩壊カルデラ壁に、その火山体の内部構造がよく観察される (Aramaki, 1963など). 高橋・他 (2013) によれば、広義の黒斑火山は約10万~4万年前に活動した黒斑火山 (狭義) (牙、剣ヶ峰、三ツ尾根の各溶岩グループ) と、およそ3万~2万年前に活動した仙人火山から成る。山体崩壊は約24,000年前に生じたと推定されている (竹本・久保, 1995). ここでは、崩壊カルデラ北端 (Fig. 3a) の仙人岩付近 (Fig. 10a) の上部において、牙溶岩グループを不整合に覆う仙人火山の噴出物に着目する。

仙人岩付近上部の崩壊カルデラ壁には、仙人火山の噴出物が厚さ70m以上にわたって露出する (Fig. 10b). 前掛火山の山頂部から見下ろすと、成層構造の発達する部分が山腹方向に続いているのが確認される (Fig. 10a). 崩壊カルデラ壁に露出する噴出物は高橋・他 (2013) により詳しく記載されており、その要点は以下のようにま



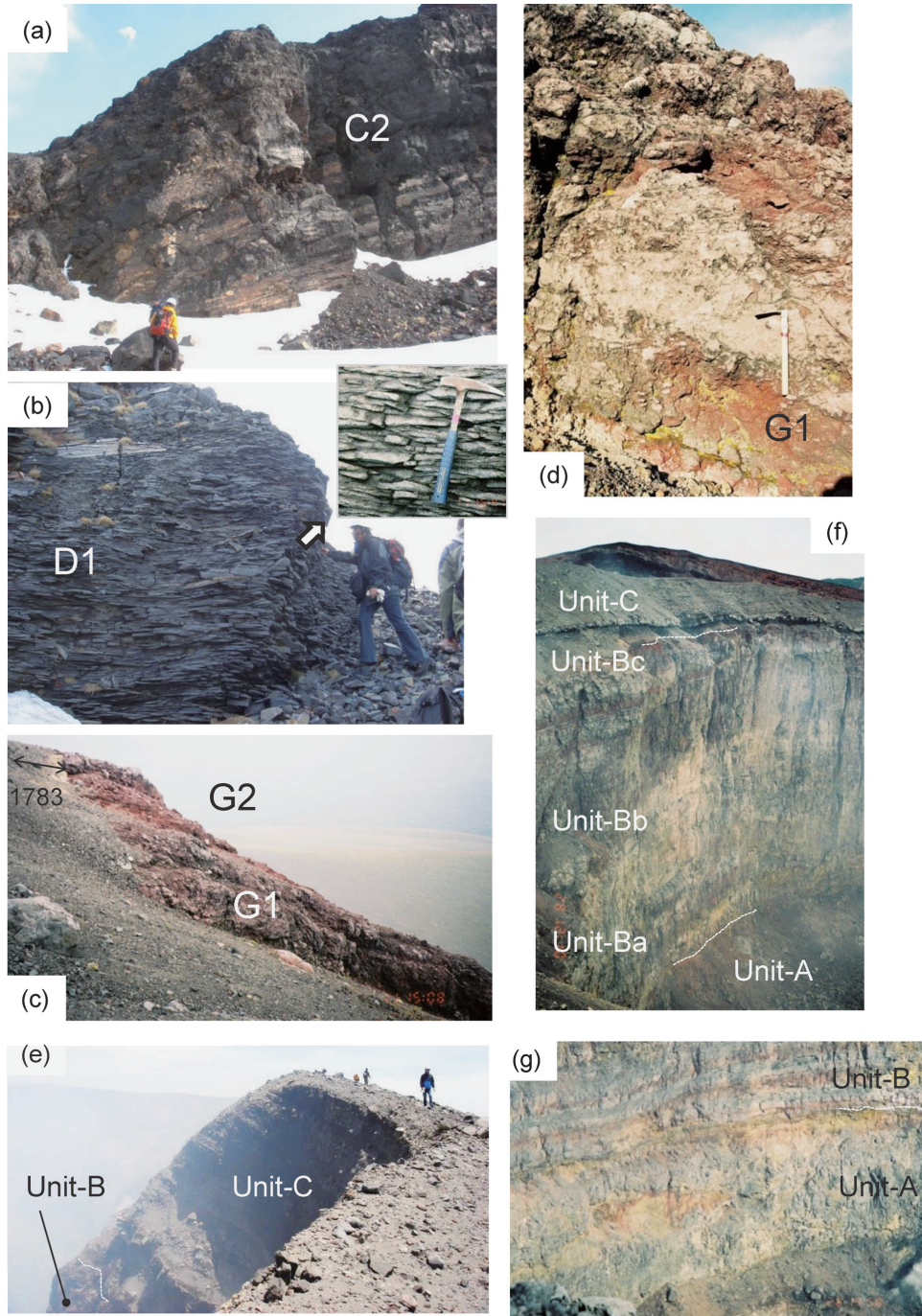


Fig. 7. Photographs showing proximal features of Asama-Maekake Volcano. (a) Stratified welded pyroclastic rock of C2 at locality C., (b) Platy joints observed in D1 at locality D and its close-up view with a 33-cm-long hammer for scale., (c) Reddish brown welded pyroclastic rock exposed on the southeastern upper flank of Maekake-yama at locality G., (d) Close-up of the strongly welded part at locality G. Scale: 39 cm., (e) Crater rim of Kama-yama taken in 2007. The section of Unit-C can be seen. The surface of the crater rim is covered by the deposit of the 2004 eruption., (f) Section of the crater wall of Kama-yama. Unit boundaries are indicated by white dotted lines., (g) Boundary between Unit-A and Unit-B on the northern crater wall of Kama-yama is shown by a white dotted line.



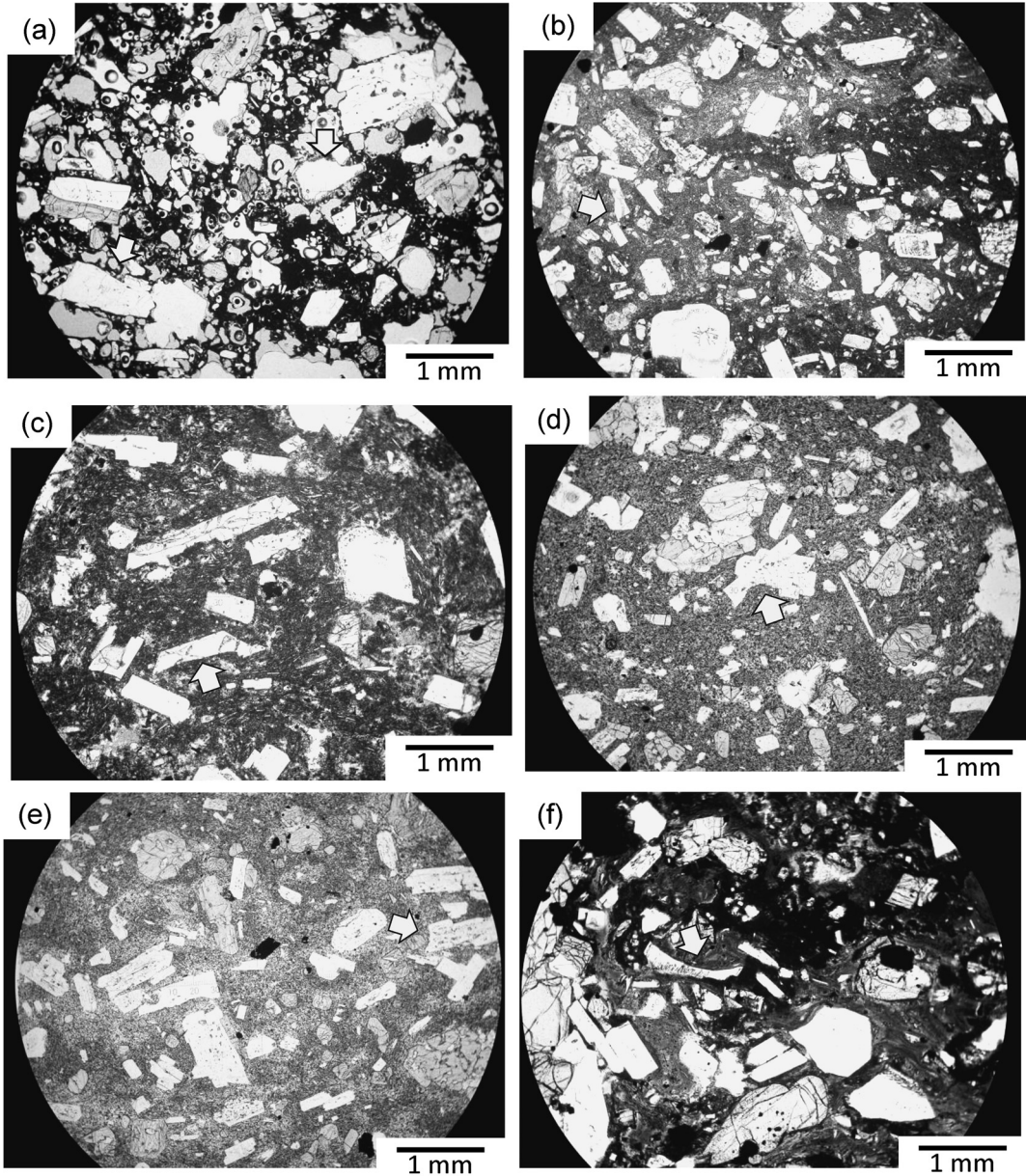


Fig. 8. Photomicrographs of the welded pyroclastic rocks. (a)~(e): Nishi-Maekake crater wall. (f): Sennin-iwa., (a) C2 of locality C., (b) ① in Fig. 4d. D3., (c) ② in Fig. 4d. D2., (d) ③ in Fig. 4d. D1., (e) ④ in Fig. 4d. D1., (f) Eutaxitic texture of upper Sennin-iwa. Photomicrographs (c)~(h) were taken in plane-polarized light. Some of the broken surfaces on the plagioclase are indicated by arrows.

とめられる。

仙人岩上部では5枚の緻密な溶結火砕岩層 ( $\text{SiO}_2$  含有量 62.6~63.8wt.%) と、それらに挟在する火山角礫岩層が見られる (Fig. 10b)。溶結火砕岩層はいずれも緻密で柱状節理が発達し、典型的な強溶結火砕岩の組織を示す。赤色酸化した基質中に暗灰色の溶結レンズが見られ、著

しく扁平な場合もある (Fig. 10c)。緻密部は、顕微鏡下でユータキシテイク組織を示し、変形したガラス片や多量の破片状結晶が特徴的に認められる (Fig. 8f)。火山角礫岩層は、赤褐色で基質に乏しく、弱く溶結している。火山角礫岩層と溶結火砕岩層との間は連続的である。また露頭最上部の溶結火砕岩層の基底部には非溶結の淘汰

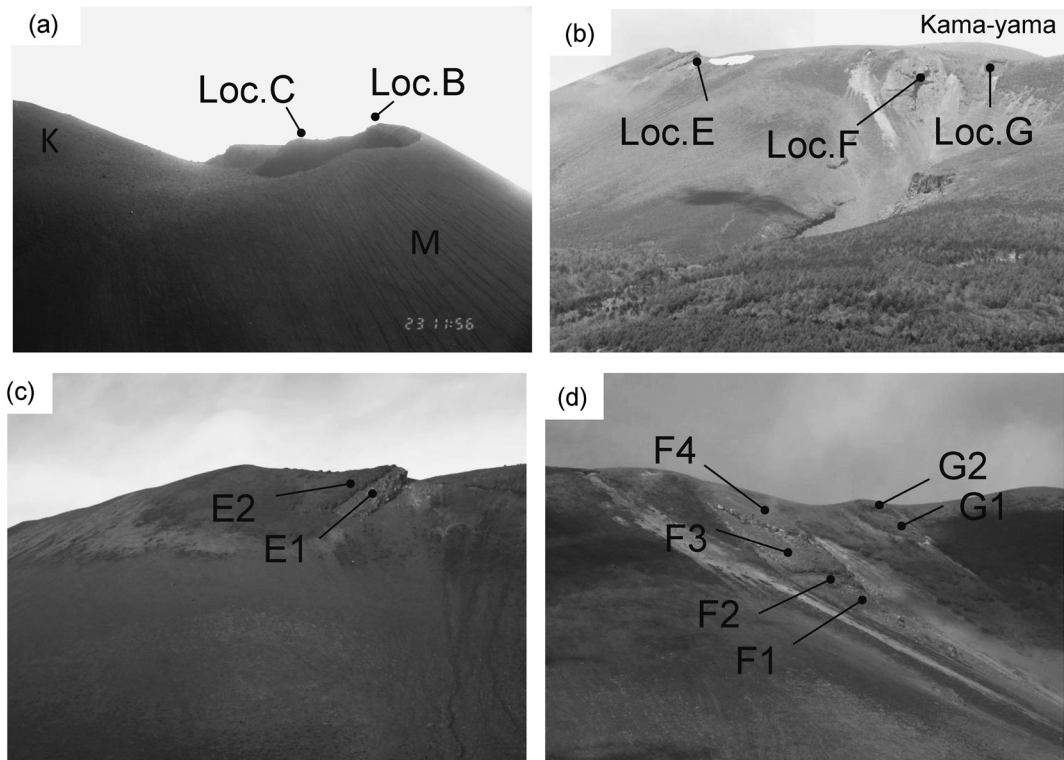


Fig. 9. Photographs of the upper slope of Maekake-yama. (a) Aerial photo of the northwestern side and Nishi-maekake crater wall. The slope of Kama-yama is seen on the left. M: Maekake-yama, K: Kama-yama., (b) Southern upper slope just below the crater rim looking up from the SSE flank (Ohinata)., (c) Locality E looking up from the southern flank (Sekison-san)., (d) Localities F and G looking up from the southern flank (Sekison-san).

のよい降下軽石層があるが (Fig. 10d のスケールの直下), この軽石は扁平な軽石 (Fig. 10e のペンの位置) を経て, 上部の溶結部へと連続的に移行する。

#### 4. 考察

##### 4-1 前掛火山・天仁噴火における火砕丘形成

##### 4-1-1 天仁噴火における火口近傍の地形変化

ここでは山頂部の地形や火口壁および外側斜面にみられる噴出物の産状から, 天仁噴火における山頂部の地形変化について考える。釜山火口壁の Unit-A の上面高度は, 天明噴火以前の“古釜山”の高さを表すと考えられる。釜山の中心を通る東西の地形断面図 (Fig. 1 の X-Y 断面) に, 推定される天明噴火の噴出物 (Unit-B) の厚さを示した。Unit-B の堆積分を差し引くと, 天明噴火以前の地形が推定できる。釜山火口壁では Unit-C のようなブルカニアン堆積物は, Unit-A と Unit-B との間には見られない。Unit-A は Unit-B と似た溶結火砕岩の産状を示すため, Unit-A は天明噴火以前の大規模な火砕噴火の産物であると考えられる。北側火口壁では Unit-A の上

方に部分的に不整合が見られる (Fig. 7g)。Unit-A の下は崖錐の被覆により見えない。現時点で Unit-A を特定の噴火に対応付けることはできないが, 層位的な順番からは, 大治噴火 (1128 年) か天仁噴火 (1108 年) が候補にあがる。いずれにしても, 天仁噴火直後の火口はかなり深かったものとみられる。天明噴火以前は無間の谷がかなり深かったという古記録の記述と調和的である。

次に釜山火砕丘 (安井・小屋口, 1998) の原地形と前掛山上部との関係をみている。釜山は Fig. 1 の黒丸を中心とする裁頭円錐形に近い形状を示す。前掛周辺に点在する天明噴火の溶結火砕岩の分布 (Fig. 1) は釜山の中心から約 670 m の範囲に限られる。釜山の西側では無間の谷 (Fig. 1 の MG) がこの約 670 m にあたる。半径 670 m 以遠の西前掛火口壁の地点 A では天明噴火の降下火砕堆積物が認められるが, その産状は山麓と同様の淘汰のよい降下軽石であり, 溶結はしていない。東側の標高 2300 m 前後の山腹斜面にも非溶結の降下軽石が局所的に露出する (Fig. 1)。これらのことより, 天明噴火では釜山の中心から約 670 m の範囲内に溶結火砕丘が形成さ



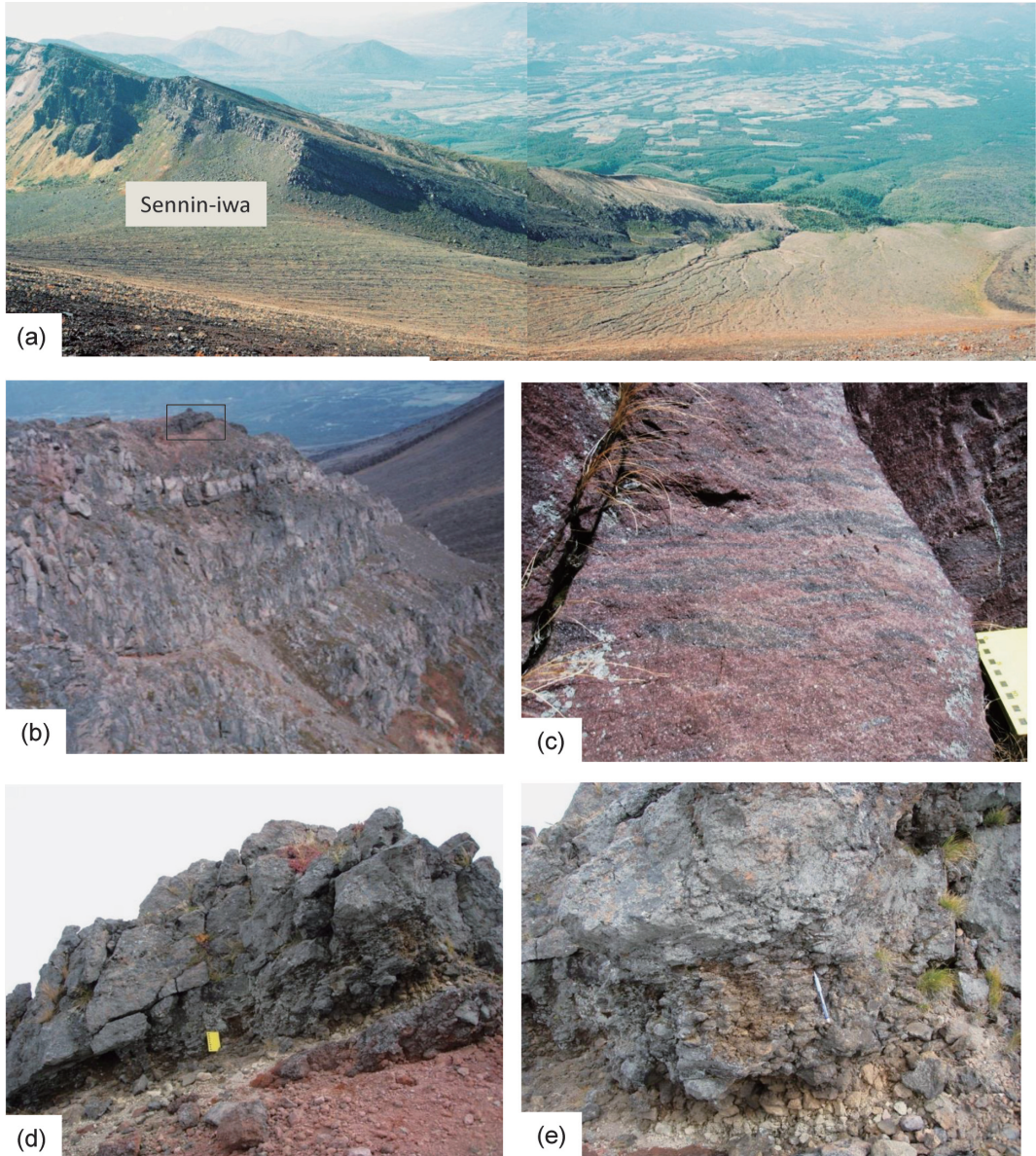


Fig. 10. Photographs of outcrops around Sennin-iwa. (a) Northern end of the collapsed caldera of Kurofuu Volcano seen from Maekake-yama. The stratified section of the welded pyroclastic rock around Sennin-iwa is recognized., (b) Overall view of the outcrop around Sennin-iwa. A square shows the locality of (d), (c) Example of the densely welded part. Lenticular dark-gray fiamme can be observed in the reddish brown matrix. Scale: 17.5 cm., (d) Uppermost welded pyroclastic rock. Non-welded pumice is seen immediately below the scale. Scale: 17.5 cm., (e) Close-up of (d). The degree of welding changes upward from non-welded pumice to the densely welded part. Scale: 14 cm.

れたものとみられる。

次に釜山の原地形と前掛山の火口原との関係をもてみる。釜山の底面を2分割した時の南半分のエリア (Fig. 1のX-Y断面線より南側) の大半は前掛山の火口原内に

収まるが、北半分のエリアは火口原の北方に大きくはみ出す (Figs. 1 and 2)。前掛山の外側斜面の等高線パターンをみると、西前掛火口壁の外側にあたる北西～南南西側の斜面ではきれいな円錐形を示すが、それ以外では方

角により変化に富む (Fig. 1). 西前掛火口壁の西側から南側を経て東前掛にかけての前掛山外側斜面では、天明噴火の火砕物の堆積量が北方にくらべて非常に少ない。つまり、外側斜面では天明以降の噴出物はごく表層にみられるのみであるので、西から南、南東にかけての前掛山外側斜面では、天明噴火以前の原地形が保たれていると考えられる。

西前掛火口壁の外側斜面はきれいな円錐形の等高線パターンを示し、約  $30^\circ$  の斜面 (Fig. 9a) が標高差 200m にわたってつづく (Fig. 1). 西前掛火口壁では厚い溶結火砕岩がみられる。これらのことから、少なくとも前掛山山頂部の西側は溶結火砕岩から成る火砕丘であると考えられる。Fig. 2 上の  $\alpha$  に中心をとると、西前掛火口壁外側の西側斜面の等高線の曲率と比較的調和のよい円が描ける。ここでは仮に“ $\alpha$  火砕丘”と呼ぶこととする。

次に Fig. 2 の  $\beta$  に中心をとると、西前掛火口壁の北半分の曲率に近い直径約 1042m の円が描ける (Fig. 2 の細かい点線)。等高線パターンをみると、 $\beta$  を中心とする円は西前掛火口壁西方で  $\alpha$  火砕丘の等高線と斜交する。すなわち  $\alpha$  火砕丘の斜面を切っている (Fig. 2)。また  $\beta$  円と重複して、 $\gamma$  を中心とする直径約 1km の円が火口原内の東側に描ける (Fig. 2)。この  $\gamma$  円は、東前掛および南側火口縁を結んだ円の曲率とよく一致し、南側の火口縁直下の外側斜面の平滑面 (Fig. 2 の S) の部分の等高線の曲率とも調和的である。

以上より前掛山上部の大型火口は、 $\beta$  と  $\gamma$  を中心とする円形の陥没が生じて、陥没地形が複合して形成されたという可能性を指摘できる。また  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  はほぼ同一の線上にあることから (Fig. 2)、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  を中心とした噴出および陥没が繰り返されて、東西に伸長する大型の火砕丘および火口地形を形成したことが予察される。

Aramaki (1963) は天仁噴火の噴出物の体積を約  $1\text{km}^3$  と見積もり、大量のマグマ噴出後に山頂部が陥没したと考えた。山麓の追分火砕流堆積物には多数の流下単位があり、個々の噴出量は大きくなかったかもしれない。しかしながら、積算で相当量のマグマが噴出した後には、深部で収縮したマグマ溜まりの上部が支えを失うとみられる。このためマグマ溜まりに向かって崩落が進行し、結果的に山頂部が陥没することは考えられる。上述のように前掛山の山頂部は複合陥没地形である可能性があり、火砕流の流下単位も多いことは、山頂部全体が一度に陥没したのではなく、噴出と陥没が繰り返されたことを示唆する。

#### 4-1-2 前掛山上部の地形と溶結火砕岩層の関連

西前掛火口壁では、岩相の違いにより複数のユニットが識別され、火口壁で水平方向に追跡することができる

(Fig. 5b)。まず、A1、B1 および C1 は粗い柱状節理が発達する緻密な層で、地点 A から地点 C までほぼ連続的に観察される。これを Unit-1 と呼ぶ (Fig. 5b)。なお、地点 D の D2 や地点 E の E1 も岩相が似るが、地点 C~D 間で連続性が不明であるため、現時点ではこれが Unit-1 であるかは不明である。

地点 A の A2 は、成層構造が発達する下部と、溶結度の高い上部から成り、石質岩片に富む。これを Unit-2 とする。Unit-2 は多くの層、つまり多数の堆積単位から成るが、柱状節理は全体を貫くため、全体としては一つの冷却単位であると考えられる。このことは比較的短時間内に多数の層の堆積があったことを示唆している。Unit-2 は地点 A の南方約 250m 付近で途切れ、地点 B では認められない (Fig. 5b)。一方、地点 C で火口壁にアバットする C2 は下部に成層構造が発達し、上部は溶結度が高く、全体に石質岩片に富むという産状を示し、地点 A の A2 の産状と共通することから Unit-2 であると判断した (Unit-2)。地点 C の Unit-2 については、本節の後半で述べる。

Unit-3 は、層厚の水平変化が著しいものの、地点 E から地点 A の南方まで、西前掛火口壁でほぼ連続的に追跡される (Fig. 5b)。B2、C4、D3、および E2 が Unit-3 に相当する。なお地点 3 の C3 は露出が局所的でどのユニットに属するか判断がつけられなかった。Unit-3 は、地点 C では Unit-1 の上面が削られた不整合面を覆い (Figs. 4c and 5b)、南東方向に向けて厚くなる。一方 Unit-3 は、地点 B~C 間では認められない部分がある。また地点 B から北方へ薄くなり、地点 A では認められない (Fig. 5b)。

西前掛火口壁の最上位にみられる非溶結の火砕物からなる層を Unit-4 とする。A3、B3、C5、および D4 が Unit-4 に相当し、西前掛火口壁では地点 A から地点 D において連続的に見られる (Fig. 5b)。Unit-4 は地点 B~C 間では薄い傾向がある。地点 F と地点 G の最上位層 (F4 と G2) も層位的に Unit-4 に相当する可能性がある。

西前掛火口壁では Unit-1 の層厚が大きいことから、4-1-1 で推定した  $\alpha$  火砕丘の原地形は厚い Unit-1 によって形成されているとみられる。つまり Unit-1 をもたらした噴火が、前掛山上部の西側を構成する  $\alpha$  火砕丘を形成したものとみられる。地点 B で Unit-1 の厚さが最大であるのは、推定される噴出中心 (Fig. 2 の  $\alpha$ ) に最も近いとみられる。4-1-1 より、 $\alpha$  火砕丘が形成された後に、 $\beta$  を中心とした円形の陥没が生じて西前掛火口壁が形成されたらしい。Unit-2 は地点 C で火口壁にアバットする形でみられるが (Figs. 3b, 3d, 3e, 4c and 5a)、その南北の火口壁では認められない (Figs. 3b and 5a)。



Table 1. Summary of units consisting of the upper slope of Maekake-yama and correlative layers at each locality described in this study. The estimated sources of each unit are also shown.

Unit	Correlative layers at each locality	Estimated source
1	A1, B1, C1, D2?, E1?	$\alpha$
2	A2, C2	$\beta$
3	B2, C4, D3, E2, F3?, G1	$\gamma$
4	A3, B3, C5, D4, F4?, G2?	$\gamma$

地点CのC2はUnit-2の断面であり、Unit-2が断片化したことを示す。これは $\alpha$ 火砕丘上部の陥没後、Unit-1が露出する火口壁にアバットする形でUnit-2が堆積して溶結・冷却した後、さらに陥没があったとすれば説明がつく。4-1-1の議論より $\gamma$ を中心とする円型の陥没が予想されるため、これに対応する可能性がある。西前掛火口壁でUnit-3は地点C～E間で厚く、地点Bから北方にかけて薄くなる。これは $\gamma$ を中心とした火砕物降下を考えれば、地点C～E間に比べて、地点Bやその北方は $\gamma$ から遠い(Fig. 2)ことで説明できる。つまり $\gamma$ 火砕丘が前掛山東半分を構成しているとみられる。Unit-4の給源は不明であるが、 $\gamma$ に近い地点FやGの表層部の層は溶結しているが、やや離れた西前掛火口壁では非溶結度で、層厚も薄い。このことから、Unit-4は噴出中心 $\gamma$ に由来する可能性が高い。以上に示したユニットと各地点の層および推定噴出中心の関係はTable 1のようにまとめられる。

#### 4-1-3 天仁噴火の火口近傍プロセス

以上より、天仁噴火では、火口近傍への多数回の火砕物降下・堆積と溶結、冷却のプロセス、また少なくとも2回の陥没があったことが考えられる。予察的なシナリオの一つとして以下のような火口近傍プロセスを考えることができる：①噴出中心 $\alpha$ (Fig. 2)からのUnit-1の噴火と $\alpha$ 火砕丘の形成、② $\beta$ を中心とする陥没、③ $\beta$ からのUnit-2の噴火と $\beta$ 火砕丘の形成、④ $\gamma$ を中心とする陥没、⑤ $\gamma$ からのUnit-3および4の噴火と $\gamma$ 火砕丘の形成。

プロセス①に関して、地点DのD2はUnit-1に対応する可能性もあるが、現時点では不明である。仮にUnit-1である場合、D1は②の陥没時にUnit-1の断片が生じて傾動した正断層ブロックかもしれない。顕微鏡下では破片状結晶を含み、溶結火砕岩であると考えられる(Fig. 8e)。D1の火口内側方向への傾斜は(Fig. 4d)、レオモルフィックな流動を示している可能性もある。また津屋(1934)は、この部分は上方の溶岩を供給した岩脈であると考えた。東方から地点Dを見ると、一見岩脈のように見えるが、各ユニットの柱状節理が垂直方向に偶然一致

したものに見えることから(Fig. 3f)、ここでは岩脈ではないと判断した。地点DのD1の由来については今後さらに検討する必要がある。

また上記のプロセスでは活動期間中に噴出中心が東西方向に移動したことが想定されるが、この他に、東西方向に460m( $\alpha$ - $\gamma$ 間の距離)ほど伸長した岩脈状の火道が活動した可能性もある。前掛山およびその火口原が東西に伸長した形状を示すだけではなく、現在の釜山火口底にも東西に伸長する火孔が見られる場合がある(例えばFig. 2, 原図は国土地理院, 1983)。これらのことは、より深部でのマグマ供給系あるいは火道の形状が東西に伸長する岩脈状であることを示すのかもしれない。あるいは、岩脈状の火道内で上昇するマグマの位置に時間変化があったという可能性も挙げられるが、現時点ではこれらの可能性を支持する観察事実はみられない。火道の形状のみならず、次のような事項も検討する必要がある。

北東側の山腹には天仁噴火の上の舞台溶岩が分布するが、側端崖に成層した火砕物層が見られることから、溶結火砕丘の一部が流動したものと考えられている(高橋・他, 2006)。その上流の火口近傍は鬼押出溶岩と釜山に厚く覆われて実態が不明である。日本の諸火山の火砕丘14事例における溶結火砕岩の分布範囲は500~1100mで、多くの場合600m前後である(安井, 2006)。天仁噴火では活動期間中に1kmを超える大型の火口を形成したとみられ、上記のプロセス③や⑤では、多くの火砕物が火口内に堆積したと推定される。しかし西側を除くと、想定噴出中心より500m以上は前掛山の外側斜面であるため(Fig. 2)、前掛山の外側斜面にもかなりの火砕物の堆積があったものとみられる。また西前掛火口壁の地点Cの不整合より南東側、地点Eまでは地形的に低い、このことは、プロセス②の陥没時に $\alpha$ 火砕丘の南側の外側斜面もえぐられて火口縁の低所となり、プロセス③の噴火時にUnit-2の一部はそこから外側斜面へ流出したのかもしれない。また地点Bの南方ではUnit-3の上半分が削られている(Fig. 4bのB2上の矢印)。地点E, F, Gにおいても溶結火砕岩の断面が露出する。これらのことは、火砕丘の外側斜面を面的に覆った溶結火砕岩が急斜面上での重力不安定により断片化して、一部が斜面下方へ流下したことを示唆する。上の舞台溶岩は前掛火山北東斜面へ流下した流動火砕丘であることが議論されている(高橋・他, 2006)。以上からは、前掛山の南側や西側斜面でも溶結火砕岩の流下(流動火砕丘や火砕成溶岩)が予想されるため、天仁噴火の山麓の堆積物と前掛山上部の火砕丘の層位関係を明らかにすることが今後の課題の一つである。



#### 4-2 黒斑崩壊カルデラ・仙人岩付近の上部を形成した活動

仙人岩付近上部のカルデラ壁では5枚の溶結火砕岩層が厚さ70m以上にわたって整合的に堆積している。高橋・他(2008)によれば、これらの溶結火砕岩層の全岩化学組成には垂直的な変化が見られない。溶結火砕岩層の間には不整合や土壌層などの時間間隙を示す証拠も認められないことから、これらは一連の噴火で比較的短期間に成長した火砕丘であると考えられる。複数の冷却単位が認められることから、繰り返し火砕噴火が起きたことが示唆される。火砕岩の赤色酸化が著しいことや、強く溶結している産状は、噴出中心が近くにあったことを示している。荒牧(1968)は、カルデラ壁から北方へ連なる崖は断層によるものと考えた。仙人火山は山体崩壊と断層運動によって大きく失われているらしいが、カルデラ壁から外側斜面に向かってシート状に溶結火砕岩層が連続する様子(Fig. 10a)から、仙人岩付近上部は、火砕丘の残骸であるとみられる。3章で示した産状は、釜山火口壁のUnit-Baと類似する。つまり天明噴火からの類推では、断続的なプリニー式噴火によってUnit-Baを形成するような描像が、仙人岩付近の噴出物についてもてる。最上部層では降下軽石層が強溶結火砕岩へと垂直変化しているため、プリニー式噴火の産物であると考えられる。

荒牧(1968)は、仙人岩上部の尾根の頂上付近で溶岩に挟まる降下軽石について調べ、この軽石が強磁性チタン鉄鉱を含む点が山麓の板鼻褐色軽石層(BP)の軽石と共通することを示し、両者が対比される可能性を示唆した。BPの軽石の全岩化学組成は、変化図上で仙人火山の噴出物がつくるトレンドにのる(高橋・他, 2008)。板鼻褐色軽石層には複数のユニット(BP-1~BP-7)があり、応桑岩層なだれ堆積物の層位から、BP-4とBP-5の間に山体崩壊が起きたと考えられている(竹本・久保, 1995, 2003)。以上を考え合わせると、大規模な山体崩壊の時期の仙人火山では、プリニー式噴火と火口近傍での火砕丘形成が同時進行するような活動が行われていたものと考えられる。

#### 4-3 前掛型火砕丘とその多様性

釜山、前掛山上部、仙人岩上部はいずれもプリニー式噴火を伴う火砕噴火で生じた溶結火砕丘であり、基本的に溶結した火砕丘、つまり高橋・安井(2006)の「前掛型火砕丘」であると考えられる。釜山は半径約670mの裁頭円錐形の小型の火砕丘で、大部分は既存の前掛山の火口原内に収まっているが、北側のみ火口原からせり出している。釜山の火口壁は強溶結部の割合が多く、他の2事例に比べ噴出中心に近いものとみられる。一方、前

掛山は裁頭楕円錐形の大型の火砕丘で、少なくとも2つの陥没地形が複合して大型の火口原を形成しているとみられる。西前掛火口壁のUnit-1は、釜山火口壁のUnit-AやUnit-Bのように溶結度が高く、噴出中心に近いと考えられるが、Unit-3や4はやや遠いと推定される。このことは4-1-3で考えたように、天仁噴火の噴出中心が単一でなかったことを示唆する。仙人岩付近は山体崩壊によりほとんど原型をとどめていないが、溶結火砕岩層が約20度で外側に傾斜する(Fig. 10a)ことから、火砕丘の中腹から上方にかけての外側斜面の一部に対応するとみられる。仙人岩上部は、釜山火口壁や前掛山上部で観察される露頭に比べ、噴出中心からの距離が遠いものとみられるが、溶結度は低くない。また最上部の溶結火砕岩層の基底には非溶結の降下軽石層がみられる。上方へ向かって非溶結から強溶結へと連続的に変化するため、噴火の初期には、より高所へ到達して急冷した軽石粒子が降下したが、時間とともに高温の粒子が降下するようになったことが示唆される。

天明噴火では約15時間以内の最盛期に火砕丘の大半(Unit-Bb, Bc)が成長し、Unit-Baを形成したとみられる最盛期以前の数日を含めても4日程度で釜山火砕丘の形成が終了したらしい(Yasui and Koyaguchi, 2004)。一方、4-1の議論より、天仁噴火では、火砕丘形成と陥没を繰り返して大型の火砕丘が生じたい。山麓の堆積物にも多くの火砕流や降下軽石の噴出単位が認められることから、天仁噴火では天明噴火に比べ長期にわたって火砕噴火が継続したものとみられる。

今回比較した3事例については、共通して火砕噴火時に大量に火口近傍へ火砕物降下があったという描像もてる。3事例の火砕丘にみられる産状の多様性は、火砕丘のどこを見ているかの違い、すなわち噴出中心の火口からの距離によるものとみられる。しかしながら、安井(2006)が指摘したように、火砕物の堆積場の地形的特徴や火砕物の堆積速度、堆積の連続性などの要素の組み合わせによっても産状に多様性が生じているようである。

#### 5. まとめ

1) 釜山、前掛山上部、仙人岩上部において見られる火口近傍相は、それぞれ溶結火砕岩の累重から成る。これらは降下軽石や火砕流流出を伴う火砕噴火で形成された溶結火砕丘であると考えられる。

2) これら3事例には強溶結部の割合や溶結度の垂直変化の仕方などの産状の違いがあり、観察した断面の噴出中心からの距離の違いに加え、火砕物の堆積条件や噴火の規模の違いも反映されているらしい。

3) 単純な裁頭円錐形の釜山に対して、前掛山上部は

東西に伸長した火口原をもつ大型の火砕丘である。前掛山上部の地形的特徴と火口壁や外側斜面にみられる溶結火砕岩層のユニットと層厚の変化の仕方は、噴出中心が東西に複数あったことを示唆し、前掛山上部は複数の火砕丘が複合したものであるとみられる。また地形図上で、火口原の範囲内に直径約1kmの円を東西に2つ描くことができ、円形の陥没が少なくとも2回起きて陥没地形が複合したことを示唆する。天仁噴火では、山麓に多数の火砕流や降下軽石のユニットがもたらされ、火口近傍では火砕丘形成と陥没を繰り返したとみられることから、天明噴火に比べ長期にわたって活動が継続したらしい。

## 謝 辞

浅間火山の山頂部の地質調査に際して、東京大学地震研究所および浅間火山観測所の多くの方々に大変お世話になりました。また、同研究所の小屋口剛博教授には野外で議論いただき、また写真の提供をいただきました。長谷川健氏および三浦大助氏には建設的な査読コメントをいただきました。深く感謝いたします。

## 引用文献

Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo* sec. 2, **14**, 229-443.  
 荒牧重雄 (1968) 浅間火山の地質. 地団研専報, No.14, 45 p. 地学団体研究会.  
 Hobden, B. J., Houghton, B. F., and Nairn, I. A. (2002) Growth of a young, frequently active composite cone: Ngauruhoe volcano, New Zealand. *Bull. Volcanol.*, **64**, 392-409.  
 国土地理院 (1983) 浅間山 II, 5000 分の 1 火山基本図.  
 高橋正樹 (2006) プロキシマル火山地質学. 月刊地球,

**28**, 201-203.  
 高橋正樹・安井真也 (2006) 安山岩質成層火山の異なるタイプ-前掛タイプと黒斑タイプ-. 月刊地球, **28**, 253-256.  
 高橋正樹・安井真也・土橋広宣 (2006) 流動化した火砕丘-浅間前掛火山上台溶岩と那須茶臼岳溶岩-. 月刊地球, **28**, 240-244.  
 高橋正樹・中島 徹・向井有幸・安井真也・金丸龍夫 (2008) 浅間黒斑火山噴出物の全岩主化学組成-分析データ 288 個の総括-, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **43**, 195-216.  
 高橋正樹・市川寛海・金丸龍夫・安井真也・間瀬口輝浩 (2013) 浅間黒斑火山崩壊カルデラ壁北部仙人岩付近のプロキシマル火砕岩相-牙溶岩グループの火山角礫岩・凝灰角礫岩および仙人溶岩グループの溶結火砕岩- 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **48**, 141-168.  
 竹本弘幸・久保誠二 (1995) 群馬の火山灰. みやま文庫 **140**, 180 p.  
 竹本弘幸・久保誠二 (2003) 浅間火山, 応桑岩屑なだれ堆積物のテフラ層序. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **38**, 55-64.  
 津屋弘達 (1934) 浅間火山の地質 (一). 地理学, **2**, 1265-1291.  
 八木貞助 (1936) 浅間火山 (付浅間火山地質図). 信濃教育会. 533 p.  
 安井真也 (2006) 安山岩質火山の火口近傍堆積物と噴火様式. 月刊地球, **28**, 245-252.  
 安井真也・小屋口剛博 (1998) 浅間火山 1783 年のプリニー式噴火における火砕丘の形成. 火山, **43**, 457-465.  
 Yasui, M. and Koyaguchi, T. (2004) Sequence and Eruptive Style of the 1783 Eruption of Asama Volcano, Central Japan: A case study of an andesitic explosive eruption generating fountain-fed lava flow, pumice fall, scoria flow and forming a cone. *Bull. Volcanol.*, **66**, 243-262.  
 (編集担当 小林哲夫)