

## 浅間前掛火山のプロキシマル火山地質学及び巡検案内書

—浅間前掛火山黒豆河原周辺の歴史時代噴出物—

高橋正樹\*・安井真也\*

Proximal Volcanic Geology and Field Excursion Guide to the Asama-Maekake Volcano:  
Historical Eruptive Products of the Asama-Maekake Volcano  
Distributed around the Kuromamegawara area

Masaki TAKAHASHI\* and Maya YASUI\*

(日本火山学会 2012 年秋季大会 (長野県御代田町) 現地討論会資料に基づく)

## 1. はじめに—プロキシマル火山地質学とは

火砕岩に関するこれまでの研究は、火砕流堆積物や降下火砕堆積物そして火山性碎屑物 (volcaniclastic rocks) の何れについても、火口から離れた場所における堆積物 (distal deposit) に関するものが主流であった。火口近傍に堆積した火砕岩は高温で定置しており、また火口近傍での複雑な噴出プロセスにも支配されるため、火砕物の溶結現象や破碎・融合合体などを密接にともなっており、アグルチネートやレオモルフィズムによる火砕成溶岩の形成など、distal deposit にはみられない特殊な現象が生ずることが普通である。火砕丘や成層火山など火口周辺における火山体の形成には、こうした proximal なプロセスが重要な要因として関わっている。このような堆積物およびその形成プロセスについて研究する領域を、ここでは「プロキシマル火山地質学」とよぶことにする (高橋, 2006)。特に、規模の大きな爆発的噴火にともなう proximal なプロセスについての知見は乏しく、「プロキシマル火山地質学」は今後解明を進めなければならない多くの課題を有している。

浅間前掛火山は1万年前以降に形成された若い火山であるが、プリニー式の火砕噴火を繰り返すことで形成された火砕丘であり、火砕岩形成時の proximal なプロセスによって溶結火砕丘や火砕成溶岩が形成された安山岩質複成火山である (高橋・安井, 2006)。ここでは、浅間前

掛火山の歴史時代大規模噴火によって形成されたこうした噴出物の代表的な露頭の記載を行い、そのプロキシマル火山地質学的解釈について紹介する。

## 2. 浅間火山の地質

浅間火山は、東西約 25 km にわたって群馬・長野両県の県境付近に分布する烏帽子・浅間火山群の東部に位置する 100 ka 以降に形成された最新の火山群であり、黒斑・仙人、仏岩、前掛の3つ (仙人を入れると4つ) の円錐型複成火山から構成される (Fig. 1)。

黒斑火山は 100~40 ka 頃までストロンボリ式とブルカノ式の中心噴火を繰り返して形成された大型の安山岩質成層火山で、100~70 ka の<sup>ぎっほ</sup>牙溶岩グループ、70~40 ka の三ツ尾根溶岩グループからなる。その後、少なくとも1万年以上の休止期および侵食期を経た後、侵食の進んだ黒斑火山の北斜面上部の噴出中心から 30~24 ka 頃に5回のプリニー式噴火を繰り返して形成された安山岩質溶結火砕丘が仙人火山であり (高橋・他, 2013)、これらのプリニー式噴火によって形成された安山岩質降下軽石堆積物が前期板鼻褐色軽石 (As-Bp) である (竹本, 1999)。24 ka に黒斑火山と仙人火山は大規模な山体崩壊を行い、東方に開いた馬蹄型カルデラが形成された。この時の岩屑なだれ堆積物が群馬県側の応桑岩屑なだれ堆積物と、長野県側の塚原・塩沢岩屑なだれ堆積物である。応桑岩

\* 〒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, Sakura-

jiyousui, Setagaya-ku Tokyo 156-8550, Japan

Corresponding author: Masaki Takahashi  
e-mail: takahashi.masaki@nihon-u.ac.jp

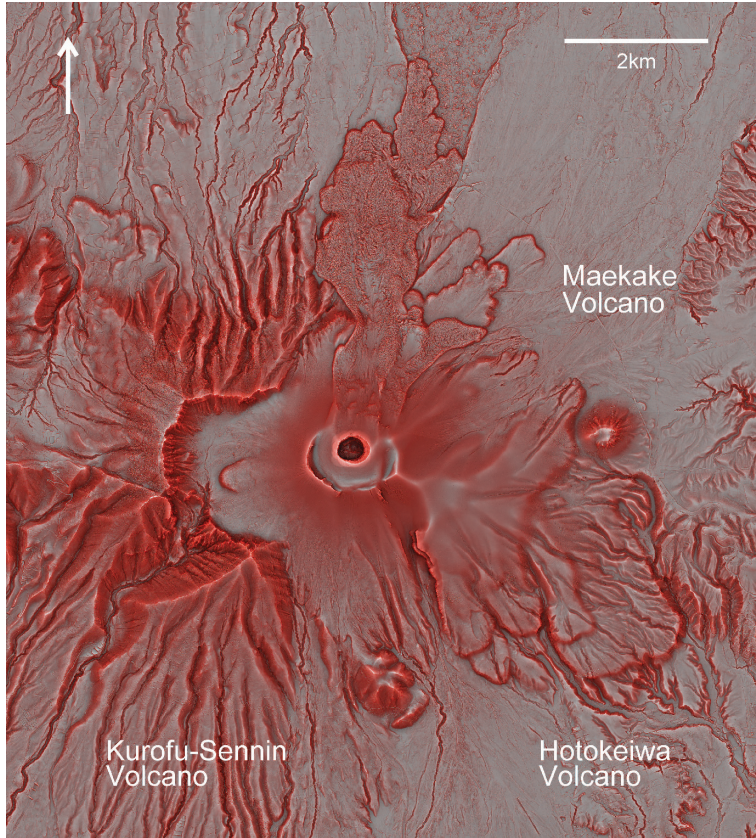


Fig. 1. Red relief image map of the Asama Volcano group. (赤色立体地形図: 国土交通省利根川水系砂防事務所提供)

層なだれの土石の一部は、吾妻川に沿って流下し、関東平野に広がって前橋泥石流堆積物となった（竹本・久保, 2003 など）。カルデラ内からは、山体崩壊直後およびその後2回の計3回のプリニー式噴火による降下軽石堆積物（後期板鼻褐色軽石）の噴出があり（竹本, 1999）、仙人火山の活動は終了した。

20ka 頃に、軽井沢付近でデイサイト質の雲場降下火山灰および雲場火砕流の噴出と離山溶岩ドームの形成があり、カルデラ東方からは流紋岩質の小浅間溶岩ドームの噴出があった（中村・他, 1997）。その後、カルデラ東部から流紋岩質の白糸の滝降下軽石堆積物（As-Sp）が噴出し、引き続いて19ka 頃に流紋岩質の仏岩下部溶岩の流出があつて、仏岩火山の形成が始まった。17ka 頃に大窪沢第1降下軽石堆積物（As-Okp1）および大窪沢第1火砕流堆積物が、16ka 頃に大窪沢第2降下軽石堆積物（As-Okp2）および大窪沢第2火砕流堆積物が噴出した（中村・他, 1997）。14ka 頃に最大規模のクライマックス噴火があり、板鼻黄色降下軽石堆積物（As-Yp）、火山灰互層、草津黄色降下軽石堆積物（As-Ypk）、小諸第1火砕

流堆積物および仏岩中部溶岩の噴出があつた（竹本, 1999 など）。11ka には総社降下軽石堆積物（As-Sj）および小諸第2火砕流堆積物の噴出があり、仏岩火山の活動は終了した。仏岩上部溶岩はこの11kaの活動時に流出した可能性がある。仏岩火山は、1万年間に1000~3000年ほどの休止期間を挟んで5回のプリニー式噴火と3回の溶岩流出を行って、平坦な形態の厚い溶岩からなる複成火山と、山麓の広い火砕流台地を形成した。

1万年前以降、黒斑・仙人火山と仏岩火山の中間の位置から、安山岩質の前掛火山の活動が始まった。なお、前掛火山の地質および活動史については高橋・他（火山投稿準備中）で詳細に述べる予定であるので、以下ではその概略について触れるに止める。

### 3. 浅間前掛火山の活動史

#### 3-1 前掛火山の形態と拡がり

前掛火山は、東西3km南北5kmほどの規模を持つ中型の2重式円錐型火山である。西側は黒斑火山の崩壊カルデラ壁によって、東側は仏岩火山の山体によってさえ

ざられているため、山体は主に南および北側に広がっている (Fig. 2).

前掛火山の山体は、東西に延びた楕円錐台を形成しており、山頂には東西約 1.3 km 南北約 0.9 km のやはり東西にやや延びた大型の楕円形火口である前掛火口を有する。前掛火口の火口壁は西側の西前掛山周辺および東側の東前掛山付近に残されているが、標高の低い北および南側は、火口内に形成された釜山火砕丘によって完全に埋積されている。

前掛火口内に発達する釜山火砕丘は底面の直径約 1 km 比高約 150 m の円錐台型を示し、頂部に東西約 500 m 南北約 440 m の東西にやや伸長した火口を有する (安井・小屋口, 1998a)。釜山火砕丘の火口縁は北側が最も低く (標高 2,492 m)、北側斜面には、火口縁付近から幅が広く底の浅い凹地が発達しており、この部分だけ円錐台型火砕丘の一部が削剥された形態を示す。この凹地は、浅間前掛火山北斜面下方で鬼押出溶岩に連続する。

浅間前掛火山は標高 2,000 m 以上では約 30 度の平均傾斜を有するが、南北両斜面とも標高 1,800~1,500 m 付近に傾斜の変換点があり、それ以下の高度では斜面の傾斜は緩やかとなっている。すなわち、前掛火山錐の本体はこの付近で終わっているものと考えられる。前掛火山体の実際の比高は約 500 m 程度であり (Fig. 3), またその体積も 3 km<sup>3</sup> を超えることはないと推定される (Aramaki, 1963)。

浅間前掛火山の北側斜面には下舞台、上舞台、鬼押出などの複数の溶岩流の流下が見られ、そのうち最大規模の鬼押出溶岩は前掛火口中心から約 5.8 km の距離まで到達している (Figs. 2 and 4)。こうした溶岩流の発達は北側斜面および西側斜面に限られており、南側斜面および東側斜面には認められない。また、南北の両山麓は複数の火砕流堆積物によって広く覆われている。火砕流は南部では湯川、北部では吾妻川まで到達しており、南北ともにその到達距離は約 12 km である。

### 3-2 前掛火山の活動史

浅間前掛火山の噴火活動は、300年から800年に一回生ずる「大規模噴火」と、その間に起きる「中小規模噴火」とからなる。「大規模噴火」は、その大部分がいわゆるプリニー式噴火 (準プリニー式噴火を含む) であり、大量のマグマを噴出するとともに噴煙柱が 20 km を超える空高くまで上昇し、大量の降下火砕堆積物をもたらす。また、連続噴火継続時間も数時間から 10 数時間以上といった長時間におよぶ、山麓の地層中に保存されている降下軽石堆積物は、すべてこうした「大規模噴火」の噴出物である。「大規模噴火」は降下軽石堆積物とともに多量の火砕流堆積物や溶岩をもたらし、火山体の成長に

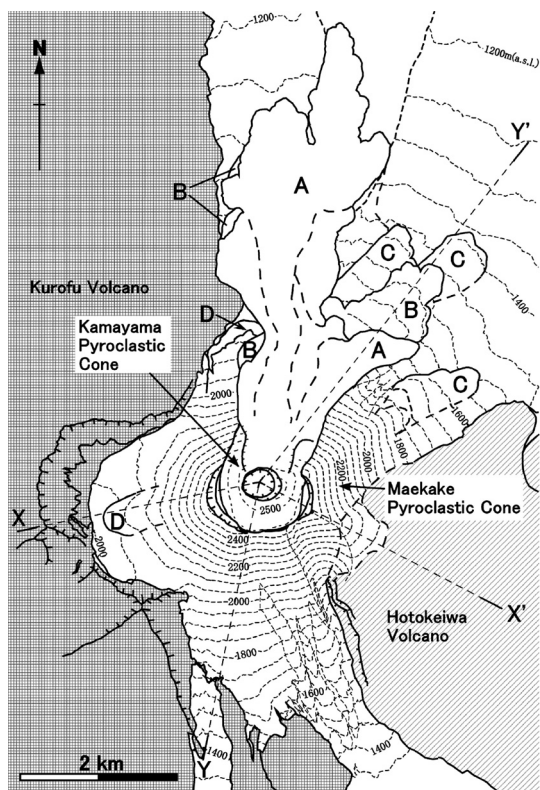


Fig. 2. Geological sketch map of the Asama-Maekake Volcano (Takahashi *et al.*, in preparation). A: Onioshidashi lava (1783AD); B: Kaminobutai lava (1108AD); C: Shimonobutai and Kuromamegawara lava (4<sup>th</sup> Century); D: Lavas erupted in 5.2cal.ka.; X-X' and Y-Y': cross sections in Fig. 3.

寄与している。

「中小規模噴火」はその大部分がいわゆるブルカノ式噴火 (一部ストロンボリ式噴火を含む) であり、爆発的噴火を行って火山弾を放出するとともに噴煙傘からは火山灰 (火山砂) が降下する。しかし、その噴火継続時間および噴出量とともに小さいため、こうした火山灰は山麓の地層中にはごくわずかな痕跡として認められるに過ぎず、また火山体の実質的成長にもほとんど寄与していない。

大規模噴火に着目すると、前掛火山の噴火史は、大規模噴火の間隔が 800 年以下と比較的短く大規模噴火が集中している「活動期」と、中小規模な噴火は散発的にみられるものの、長期にわたって比較的静穏な「静穏期」とに分けることができる (Fig. 5)。前掛火山は、その約 1.1 万年 (較正暦年代値では約 1.3 万年) の噴火史の中で、以下のような「活動期」と「静穏期」とを繰り返している。

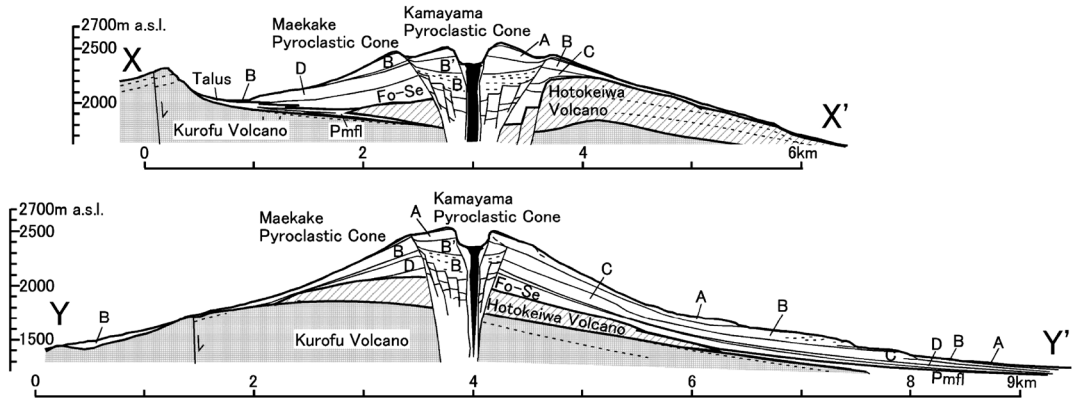


Fig. 3. Cross sections of the geologic sketch map of the Asama-Maekake Volcano (no vertical exaggerations) (Takahashi *et al.*, in preparation). A: volcanic deposit erupted in 1783AD; B': volcanic deposit erupted in 1128AD; B: volcanic deposit erupted in 1108AD; C: volcanic deposit erupted in 4<sup>th</sup> Century; D: volcanic deposit erupted in 5.2cal.ka; Fo-Se: volcanic deposit erupted from 9.2 to 5.7cal.ka; Pmfl: pumice flow deposit of the Hotokeiwa volcano.

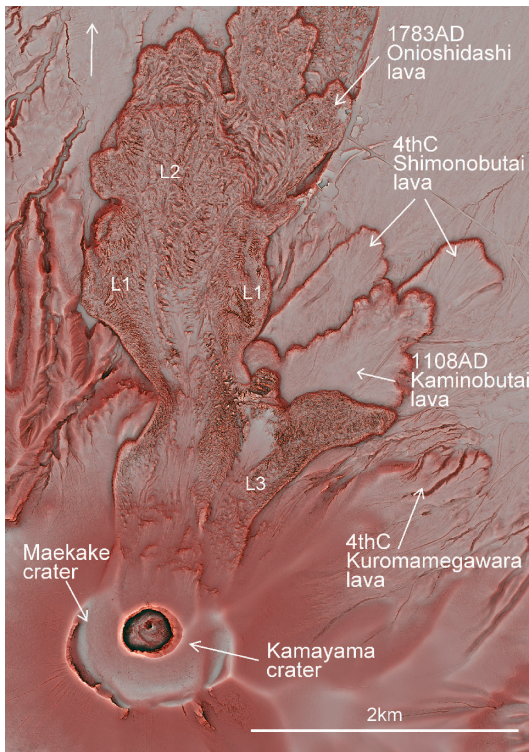


Fig. 4. Red relief image map showing lavas formed by the historical large-scale eruption. L1, L2 and L3 are flow units of the Onioshidashi lava by Inoue, M. (2006) (赤色立体地形図: 国土交通省利根川水系砂防事務所提供)

る。すなわち、仏岩火山最後の大規模噴火の後、約 2,800 年程度 (較正暦年代では約 3,800 年) の第 I 静穏期を経て第 I 活動期 (8.2~7.5 ka: 9.2~8.6cal.ka: 約 700 年間 (較正暦年代値では約 600 年間)) があり、次に約 2,100 年間 (較正暦年代値で約 2,300 年間) の第 II 静穏期の後、約 1,100 年間 (較正暦年代値でも約 1,100 年間) の第 II 活動期 (5.4~4.5 ka: 6.3~5.2cal.ka) があった。最後に、約 2,800 年間 (較正暦年代値では約 3,600 年間) の第 III 静穏期を経て、約 1650 年間の第 III 活動期 (4 世紀中頃以降) があり、この活動期は現在もお継続しているものとみられる。これまでの 3 回の活動期のうち、第 III 活動期が最も継続期間が長く、また大規模噴火の 1 回の噴出量も大きい (Fig. 5)。大規模噴火は、これまでに第 I 活動期に 2 回、第 II 活動期に 4 回、第 III 活動期に 4 回認められ、約 1.1 万年間 (較正暦年代値では約 1.2 万年間) の浅間前掛火山の噴火史の中で、総計で 10 回ほど繰り返されてきたことになる。また、各活動期内における 100 年当たりの大規模噴火の平均回数は、第 I 活動期が 0.29 回 (較正暦年代値では 0.33 回)、第 II 活動期が 0.36 回、第 III 活動期が 0.24 回となり、第 III 活動期が最も少ない。

浅間前掛火山はこれまで典型的な安山岩質「成層火山」であると考えられてきた。しかし、浅間前掛火山は、釜山火口や前掛火口の内部をみると基本的に溶結した火砕岩からなり、また、流下した溶岩流も鬼押出溶岩や上舞台溶岩にみられるように火砕成溶岩である。すなわち、浅間前掛火山は、火口から溢流した溶岩と火砕岩のみからなるいわゆる成層火山ではなく、強く溶結した一種の火砕丘であるといえる。この火山体を構成する強く溶結した火砕岩はプリニー式大規模噴火のたびに形成された

ものであり、火山体は前掛火山砕丘の推定断面図 (Fig. 3) に示されるように、大規模噴火のたびに成長を遂げてきたと考えられる (高橋・安井, 2006)。特に4世紀以降の歴史時代大規模噴火は規模が大きく、前掛火山の主部は、これらの歴史時代大規模噴火の噴出物からなるものと推定される。

第III活動期の大規模噴火は、これまでに4世紀、12世紀、18世紀の3回起きている。このうち12世紀の噴火は、1108年の天仁噴火と1128年の大治噴火の2回の噴火からなり、18世紀の噴火は1783年の天明噴火である。12世紀大規模噴火以降の噴火史をみると、2回の「大規模噴火期」とその間の「中小規模噴火期」とに分けられる (Fig. 6)。「中小規模噴火期」はさらに「連続的活動期」と「比較的静穏期」とからなり、現在は「中小規模

噴火期」のうちの「比較的静穏期」にあたる。以下に、歴史時代大規模噴火の概要を述べる。

#### 4. 四世紀大規模噴火

四世紀中頃の大規模噴火は、他の大規模噴火と同様、おそらくプリニー式噴火による降下軽石 (As-C) の噴出で始まり、火砕成溶岩 (黒豆河原溶岩) の流下、火砕流 (黒豆河原南火砕流堆積物あるいは小滝火砕流堆積物) の流出、そして再び火砕成溶岩 (下舞台溶岩) の流下があり、最後に降下軽石の噴出があったものと思われる (Fig. 7)。これが事実であるとする、4世紀中頃の大規模噴火では、初めに降下軽石が噴出し、次に火砕流の噴出がみられ、そして最後に溶岩流が流下するという、単純な1輪廻の噴火は生じていないことになる。

#### 5. 天仁 (1108年)・大治 (1128年) 大規模噴火

天仁および大治大規模噴火噴出物の分布を Fig. 8 に示す。1108年天仁元年大規模噴火は、先ずブルカノ式噴火による火山砂の噴出から始まった。やがて噴火活動はプリニー式に移行し降下軽石 (As-B) の噴出がみられた。噴火は一時激しいブルカノ式に変化して火山礫を噴出したものの、その後は本格的なプリニー式噴火へと移行した。しばらくプリニー式噴火を継続し降下軽石を堆積させた後、再び一時的に激しいブルカノ式噴火を行って火山礫を噴出し、さらにプリニー式噴火が続いた。降下軽石層の中位に厚さの薄い濃褐色火山シルト層が存在するが、これはプリニー式噴火と同時に流下した火砕流の灰かぐらである可能性がある。天仁降下火砕堆積物の噴出に引き続いて、大規模な追分火砕流の流出があった。追分火砕流堆積物は、多数の flow unit からなる複合火砕流堆積物である。初期に噴出した追分火砕流堆積物は規模

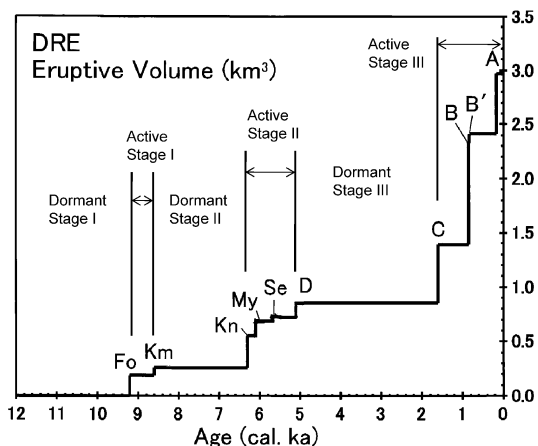


Fig. 5. Diagram showing the relationship between the eruptive volume ( $\text{km}^3$ ) and ages of eruption (cal.ka) (Takahashi *et al.*, in preparation).

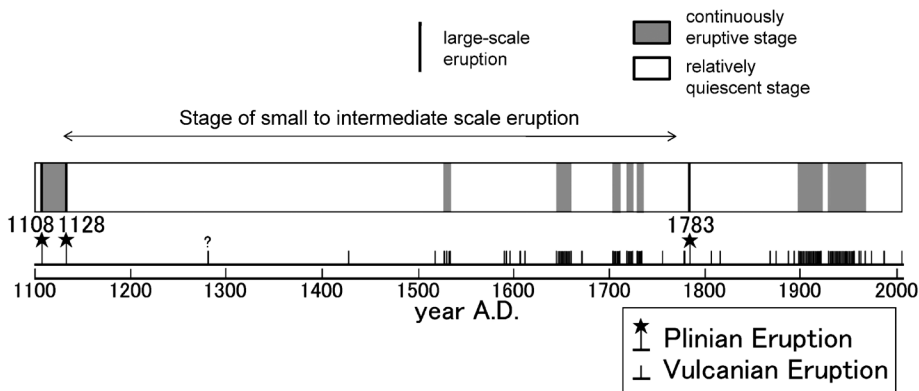


Fig. 6. Diagram showing the eruptive events of the Asama-Maekake volcano since the large-scale eruption in 1108AD (Takahashi *et al.*, in preparation).

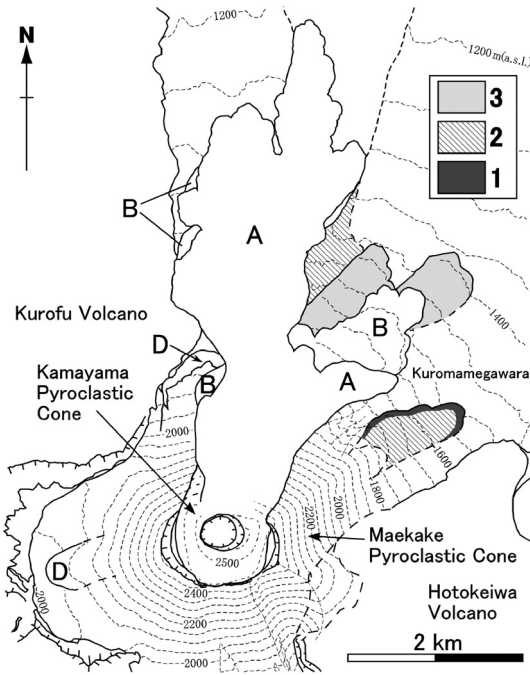


Fig. 7. Map showing the eruptive products of the large-scale eruption in 4<sup>th</sup> Century (Takahashi *et al.*, in preparation). A to D are the same as those in caption of Fig. 2. 1: Kuromamegawara lava; 2: Kotaki pyroclastic flow; 3: Shimonobutai lava

が大きく、後期になるほどその規模は小さくなる。また、後期には基質が赤色酸化した火砕流堆積物が噴出している。天仁降下火砕物および追分火砕流の噴出時には、噴煙柱からの落下あるいは同時に生じた激しいスパター噴泉、または噴泉崩壊により放出された火砕物の堆積により、火口近傍に様々な溶結した火砕岩からなる大型の溶結火砕丘が形成されたが、一部は石質岩片として追分火砕流中に取り込まれ主に南麓に流下した。また、火砕丘の上部を構成していた、強く溶結した火砕物の一部は、再流動あるいは滑动して浅間前掛火山の北斜面を相次いで流下し、上舞台溶岩を形成したものと考えられる（高橋・他, 2006）。現在西前掛火口壁下位にみられる厚い強溶結火砕岩層は、こうした大型火砕丘の一部である。

大量の降下火砕堆積物および火砕流堆積物の噴出直後、浅間前掛火山の山頂火口付近は大きく陥没し、現在の前掛火口が形成された。その後、拡大した山頂陥没火口内において激しいブルカノ式噴火が再開し、規模の大きな噴火活動が短い時間間隔で10年以上の長期間にわたって頻発した（宮野・他, 1994）。その結果、山麓には厚い赤色降下火山灰層が形成された。赤色降下火砕堆積

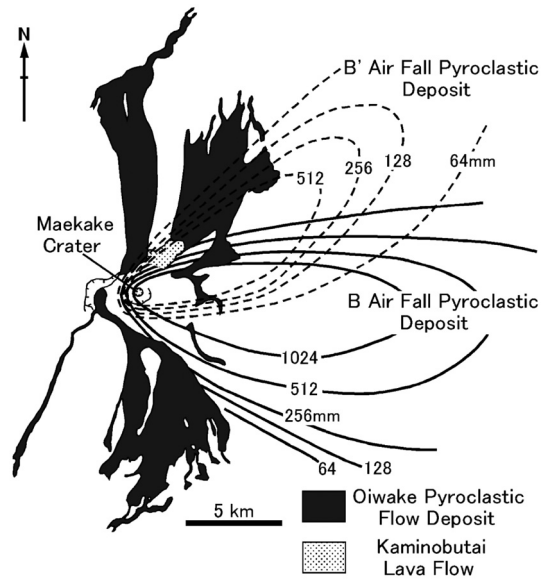


Fig. 8. Map showing the eruptive products of the large-scale eruption in 1108AD and 1128AD (Takahashi *et al.*, in preparation). Isopach maps of As-B and As-B' are from Miyahara (1991).

物層中には、陥没火口内を埋めた溶結火砕岩塊起源の岩片や変質を受けた火山岩片が多数含まれている（安井・他, 2005）。やがてブルカノ式噴火は終結し、短い噴火活動の休止期間が訪れて、赤色降下火砕堆積物層の上面は雨水による侵食を受けた。

大治3年（1128年）大規模噴火（早田, 1995）は、降下軽石を噴出するプリニー式噴火から突如として始まった。噴火はマグマ水蒸気爆発を伴うようになり、火口近傍や山腹にサージ様堆積物や大量の火山豆石を含む含軽石火山砂層が形成された。こうした噴火は、陥没カルデラ底の地下浅所に大量の天水あるいは地下水が流入し、それがマグマ水蒸気爆発を誘発したことに原因するものと思われる。やがて、プリニー式噴火は本格化し、大量の降下軽石（As-B'）が噴出したが、後期になると小規模な火砕流が流下するようになった。そのうち最大規模のものは南麓に流下し、火口から6.3kmの地点にまで到達している。その後、プリニー式噴火は激しいブルカノ式噴火に移行し、大量の降下火山礫が噴出した後、大治大規模噴火の活動は終了した。この降下火山礫には多量の強溶結火砕岩片が含まれるので、大治大規模噴火時には、前掛陥没火口内に新たな溶結火砕丘（古釜山火砕丘）が形成された可能性が高い。

### 6. 天明 (1783 年) 大規模噴火

天明大規模噴火噴出物の分布を Fig. 9 に示す。天明大規模噴火の推移は以下の通りである (安井・他, 1997; Yasui and Koyaguchi, 2004 など)。

(1) 5 月 9 日に噴火開始。6 月 25 日には、東方に降灰があった。

(2) プリニー式噴火の始まり・北北西方向への軽石降下 (7 月 17 日)

約 3 週間後の 7 月 17 日午後 8 時頃やや規模の大きいプリニー式噴火が生じ、北および北北西に軽石の降下および降灰があった。北北西の天明降下火砕堆積物は、この時の噴火で生じたものと考えられる (安井・他, 1997)。4 日後の 7 月 21 日から 26 日にかけて、断続的におそらくブルカノ式噴火が起こり、鳴動、降灰があった。

(3) 北東方向への軽石降下 (7 月 27 日～29 日)

7 月 27 日の午後プリニー式の噴火が始まり、大規模な噴煙が上昇して北東方向に軽石が降下した。また、北東 176 km の地点でも降灰が認められた。北東方向への軽石の降下は真夜中まで続いた。7 月 28 日の午後には鳴動があり、200 km 離れた場所まで聞こえた。北東および東南東で降灰があった。7 月 29 日の午後 2 時にプリニー式噴火が再開し、午後 4 時頃に最も激しくなり、午後 7 時まで約 5 時間余り続いた。北東 400 km の地点でも降灰がみられた。こうした 7 月 27 日から 29 日にかけての噴火によって、北東方向の天明降下火砕堆積物が形成されたものと考えられる (安井・他, 1997)。

(4) プリニー式噴火の継続 (7 月 30 日～8 月 1 日)

7 月 30 日の午後プリニー式噴火が再開し、午後 2 時頃に最も激しくなり、日没まで続いた。東および東南東方向で降灰があった。夜半から真夜中にかけて北および東方で降灰があった。7 月 31 日から 8 月 1 日にかけては噴火の勢いはやや弱まったが、北東および南東に降灰がみられた。

(5) 活動の活発化・東南東方向への軽石降下 (8 月 2 日～4 日)・火砕流流下

8 月 2 日には半日の休止期においてプリニー式噴火が生じ、午後数時間にわたって続いた。8 月 2 日の夜から 3 日の明け方にかけてこれまでで最も激しい連続的噴火となって大量の軽石が東南東方向に降下し、江戸でも降灰がみられた。8 月 3 日の午後から 4 日の朝にかけても激しい噴火が連続し、東南東方向に軽石が降下した。鳴動は 167 km 離れた金沢でも聞くことができた。2 日から 4 日朝頃までの噴出物が東南東方向の天明降下火砕堆積物下半部に相当すると考えられる (安井・他, 1997)。また、挟在する火山灰層の存在が示すように、この時期には一部の火砕流 (初期吾妻火砕流堆積物 (吾妻火砕流

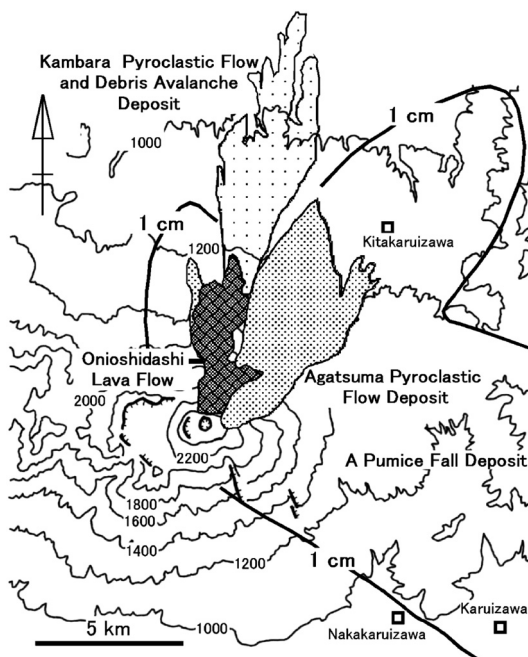


Fig. 9. Map showing the eruptive products of the large-scale eruption in 1783AD (Takahashi *et al.*, in preparation).

第 1 部層) の流下もみられた。こうした一連の噴火に伴い、噴煙柱からの落下あるいは spatter fountain によって、火口付近に溶結火砕丘が形成された (安井・小屋口, 1998a)。激しい噴火は 4 日の昼から午後 4 時頃まで連続し、東方に軽石や火山灰を大量に降下させた。午後 5 時頃から北東側斜面で火砕流の流下が観察されるようになった。

(6) クライマックス噴火・軽石降下・釜山火砕丘の形成・火砕成溶岩の流下・火砕流の流下

8 月 4 日の夜から翌日の朝にかけて噴火のクライマックスとなり、これまでで最も激しい噴火となった。大量の軽石が東南東方向に降下し天明降下火砕堆積物上半部が堆積するとともに、噴煙柱からの落下あるいはスパター噴泉によって火口付近には溶結火砕丘が急速に成長した。同時に、この間に複数の火砕流 (初期吾妻火砕流堆積物 (吾妻火砕流第 1 部層)) が北側斜面を流下した。急速に成長しつつあった溶結火砕丘の北側斜面は不安定となり、火砕成溶岩である鬼押出溶岩 (L1 および L2a) が流下を開始した。噴煙柱の上昇が終了した夜半以降、噴出するマグマの化学組成は変化して SiO<sub>2</sub> 量 62 wt% 以下のより苦鉄質なものが卓越するようになり、激しい溶岩噴泉もしくはスパター噴泉によって火口内には火砕成溶岩湖が急速に成長するとともに、間歇的に生じる激し

いブルカノ式噴火により噴泉崩壊が繰り返され、多数の火砕流（初期吾妻火砕流堆積物（吾妻火砕流第2部層））が流下した（Fig. 10）。やがて、火砕丘の北側火口壁の上部が破られ、火口内の火砕成溶岩湖が溢流して、鬼押出溶岩（L2b および L2c）が流下を開始した。その後、再び火砕流（末期吾妻火砕流堆積物（吾妻火砕流第3部層））が複数回にわたって北側斜面を流下し、L1、L2a および L2b 溶岩の表面の一部を覆った。L2c 流下後まもなく、強く溶結した火砕丘北東部斜面が崩壊し、鬼押出溶岩 L3 が流下を開始した（Figs. 11 and 12）。

#### (7) 鎌原火砕流・岩屑なだれの発生（8月5日）

鎌原火砕流・岩屑なだれの成因については様々な仮説が提案されており決着がつかないが、ここでは2つの考え方を示しておく。

##### (A) 山頂火口爆発的ブルカノ式噴火起源説

8月5日の午前10時頃、おそらく火口直下火道内のガス圧が高まることにより、大音響とともに釜山火口付近で爆発的噴火が生じ、火口をふさいでいた強溶結火砕岩からなる多数の大型本質岩塊が、北方向に斜め放出されるとともに熱雲として急速に斜面をなだれ下った（荒牧, 1993 など）。この一種の火砕流は、途中鬼押出溶岩 L2 を追い越すと同時に少量の火砕堆積物をその表面に残し、L1 の先端部に近い現在の浅間園火山博物館西方付近に斜めに激突した。その地点で爆発を起こしプラスチック堆積物を撒き散らすとともに、その運動エネルギーによって既存地形の表面を削り起こし、山体崩壊を誘発させることで溝状凹地を形成した。これにより発生した岩屑なだれは、浅間園火山博物館西方にあった柳井沼を破壊し、その水分を巻き込んで急速度で流下して、吾妻川へとなだれ込んだ。火砕流の着地により形成された凹地は、その後遅れて流下してきた鬼押出溶岩の一部（L2b および L2c）によって埋積された。天明大規模噴火の最後に生じた鎌原火砕流・岩屑なだれは、吾妻川周辺および下流地域に火山泥流による大きな災害をもたらしたが、(1) 爆発的噴火による大型溶結火砕岩塊の斜め放出、(2) 地表への斜め衝突による山体崩壊の誘発、(3) 着地点付近における柳井沼の存在、などの多くの偶然的要素が重なって起きた特異な現象である可能性が高く、前掛火山の噴火史の中では、一般の山体崩壊同様、起きる確率のきわめて小さい稀な出来事（超低頻度災害）であったと考えられる。天明噴火も、この超低頻度事件が起ころなければ、その人的災害はほとんどなかったものと考えられる。

##### (B) 鬼押出溶岩水蒸気爆発起源説

柳井沼の存在と水蒸気爆発の現象および岩屑なだれ堆積物に伴う水量を重視する説である（山田・他, 1993; 井

上（公）・他, 1994; 井上（公）, 2009 など）。8月5日の午前10時頃、流下してきた熱い鬼押出溶岩に覆われた柳井沼は急速に水蒸気化し、ガス圧が高まって激しい水蒸気爆発を複数回行ないプラスチック堆積物を撒き散らした（田中・他, 2012）。大規模な水蒸気爆発によって馬蹄型の凹地が形成され、破壊された溶岩が大量に飛散するとともに火砕流が発生した（鎌原火砕流堆積物）。また、同時に溶岩の下位にあった山体が大規模に崩壊を起こし、溶岩の岩塊とともに岩屑なだれとして急速に流下し（鎌原岩屑なだれ堆積物）、鎌原村を埋積するとともに吾妻川に流入した。

#### (8) 活動の沈静化（8月6日以降）

8月4日～5日にかけてのクライマックス噴火後も、8月6日～7日にかけて小規模なブルカノ式噴火あるいは水蒸気爆発が繰り返された。こうした小規模な噴火活動は、8月中旬～下旬まで断続的に続いていたが、9月下旬以降はほとんどみられなくなり、この年の年末には、一連の天明大規模噴火は、ほぼ完全に終息した。

以上のように、鬼押出溶岩の流下と釜山火砕丘の形成、As-A 降下火砕堆積物および吾妻火砕流堆積物の噴出は、互いに重複した現象であり、これまで考えられてきたような「降下火砕堆積物の噴出→火砕流の噴出→溶岩の流出」といった規則的な噴火を行う、いわゆる「1 輪廻の噴火」の産物ではない。

## 7. 吾妻火砕流

吾妻火砕流堆積物は中間型火砕流堆積物であり、block and ash flow と pumice flow の中間の性質を示す。中間型火砕流堆積物（荒牧, 1957）は、発泡の悪い丸味を帯びた本質岩片と基質とからなる。一般に block and ash flow は溶岩ドームの破壊によって生じる小規模なもので、また pumice flow はプリニー式噴火の噴煙柱崩壊などによって生ずる規模の大きな火砕流である。吾妻火砕流堆積物の本体は、プリニー式噴火を行っていた天明降下軽石堆積物の噴出終了後に流出しており、プリニー式噴火によって形成されたものではない。Druitt *et al.* (2002) および Cole *et al.* (2002) は、小アンチル諸島モンセラート島のスフリエールヒルズ火山 1995～1999 年噴火時にみられた噴泉崩壊 (fountain collapse) による火砕流の発生を記載しているが、吾妻火砕流堆積物の噴出様式はこれと類似したものである可能性がある。

噴泉崩壊とは、激しいブルカノ式噴火によって数 100 m の高さに放出された噴煙が、噴出後ただちに崩壊し、火砕流となって斜面を流下する現象である。スフリエールヒルズ火山の 1995～1999 年噴火は、基本的には粘性の高い安山岩質溶岩ドームの噴出とその崩落による雲仙



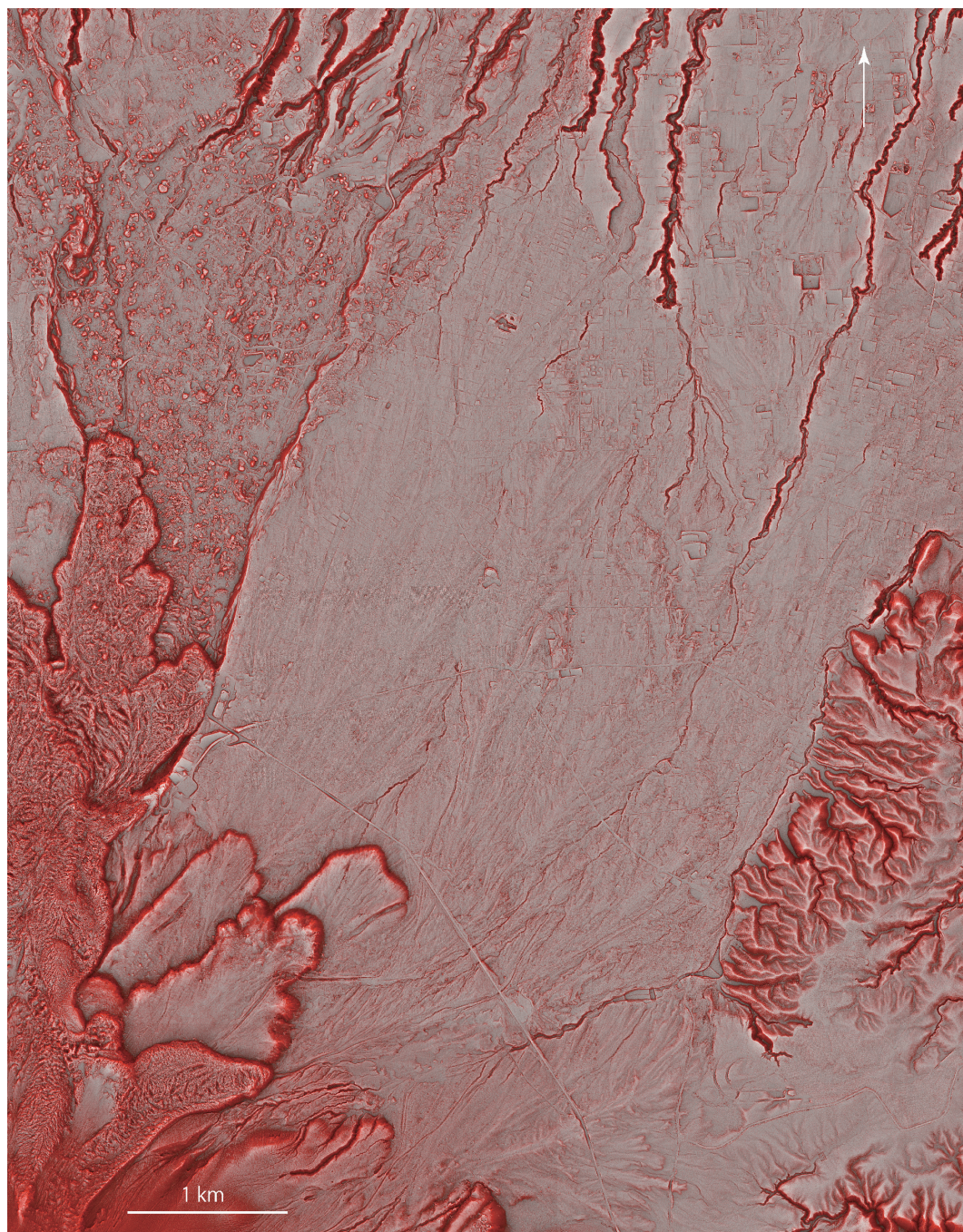


Fig. 10. Red relief image map showing the distribution of the Agatsuma pyroclastic flow deposit in 1783AD. The Agatsuma pyroclastic flow deposit comprises a lot of flow units. The widely spread pyroclastic flow units erupted in the early stage of 2<sup>nd</sup> member are distributed in the NW area, while small pyroclastic flow units are concentrated in the SE area. (赤色立体地形図: 国土交通省利根川水系砂防事務所提供)

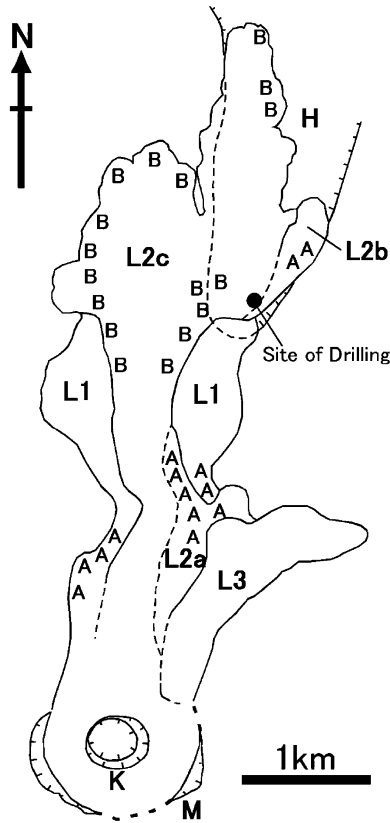


Fig. 11. Geologic sketch map of the Onioshidashi lava flow (Inoue, M., 2006). L1, L2a, L2b, L2c and L3: flow units of the Onioshidashi lava; A: Agatsuma pyroclastic flow deposit; B: tuff breccias with blocks of welded pyroclastic rocks and pumice; K: Kamayama pyroclastic cone; M: Maekake pyroclastic cone; H: horseshoe-shaped depression formed by the eruption of the Kanbara pyroclastic flow and debris avalanche

普賢岳 1991～1995 年噴火と同様の block and ash flow の流下によって特徴づけられるが、1997 年には激しいブルカノ式噴火による噴泉崩壊が生じた。これは火道上部の余剰圧が増大し、その結果、マグマの発泡を伴う爆発的な噴火が引き起こされたものであると考えられている (Druitt *et al.*, 2002)。この時の激しい噴火は、約一ヶ月間に 75 回あまり生じており、平均すると 10 時間に約 1 回の割合となる。1 回の火砕流噴出物の量は、平均して  $2 \times 10^5 \text{ m}^3$  DRE とされる (Druitt *et al.*, 2002)。溶岩ドーム崩壊によって形成された火砕流堆積物が block and ash flow 堆積物であるのに対して、噴泉崩壊によって形成された火砕流堆積物は軽石流堆積物であり、含まれる軽石はしばしば逆級化構造を示し、また flow unit の側面には

堤防がよく発達する。

吾妻火砕流堆積物は多数の flow unit からなり、軽石流堆積物ではないが弱く発泡した本質岩片から構成され、しばしば本質岩片が逆級化構造を示し、また堤防の発達したものも多く、スプリエールヒルズ火山 1995-1999 年噴火の噴泉崩壊火砕流堆積物との類似点が多くみられる。ただし、主期以降の吾妻火砕流堆積物は、少なくとも 50 枚以上の多数の flow unit からなり、総噴出量は  $0.15 \text{ km}^3$  DRE と大きく、1 回当たりの平均噴出量は、最大でスプリエールヒルズ火山の噴泉崩壊火砕流の 15 倍となる。しかも、仮に 8 月 5 日の午前 0 時から午前 10 時までの最大 10 時間の間に噴出したとすると、平均で 12 分に 1 回以上の高頻度で噴出を繰り返していたことになる。これは、吾妻火砕流のマグマ噴出率の方が圧倒的に大きかったことを示している。

吾妻火砕流の場合、大きなマグマ噴出率に由来する激しいスパター噴泉あるいは「火砕噴泉」の fall back によって形成された火口内の「溶岩湖」から、短時間に激しいブルカノ式噴火が頻繁に繰り返されることで噴泉崩壊が頻発し、多数の火砕流となって流下した可能性が考えられる。「溶岩湖」は、その一部が強く溶結した本質岩片から、また一部が未固結状態の fall back した本質岩片から構成されていたものと考えられる。スプリエールヒルズ火山の噴泉崩壊火砕流は噴火の際に指向性を持たないものが大部分であったが、溶岩ドームが馬蹄型に崩壊している場合には、開口部の方向へ噴泉崩壊が生じ、指向性を有する火砕流が発生している。吾妻火砕流の場合は、北東方向の火口壁が低いなどの理由で噴煙の斜め噴出が主として北東方向に向かって集中して生じたため、その大部分が北東方向に流下している。

Yasui and Koyaguchi (2004) によれば、吾妻火砕流堆積物は、第 1 部層、第 2 部層、第 3 部層の 3 つに大きく分けられる。第 1 部層 (初期吾妻火砕流堆積物) は天明降下軽石堆積物を挟在しており、天明降下軽石堆積物と同時期に噴出している。第 2 部層 (主期吾妻火砕流堆積物) は吾妻火砕流堆積物の大部分を占めており、初期のものは基質に富み、細粒物質や火山ガス成分を多く含む希薄で低密度の火砕流であったと推定され、規模が大きく表面が平坦で、薄く広くひろがって遠方まで到達している (Fig. 10)。一方、後期のものは基質に乏しく高密度の火砕流であり、規模が小さく末端崖や火砕流堤防がよく発達する (Fig. 10)。最後期に噴出した第 3 部層 (末期吾妻火砕流堆積物) は、第 2 部層後期のものと類似するがさらに規模が小さい。

吾妻火砕流堆積物に含まれる発泡の程度の低い丸味を帯びたキャベツ状本質岩片は、ジャガイモ状の本質岩片

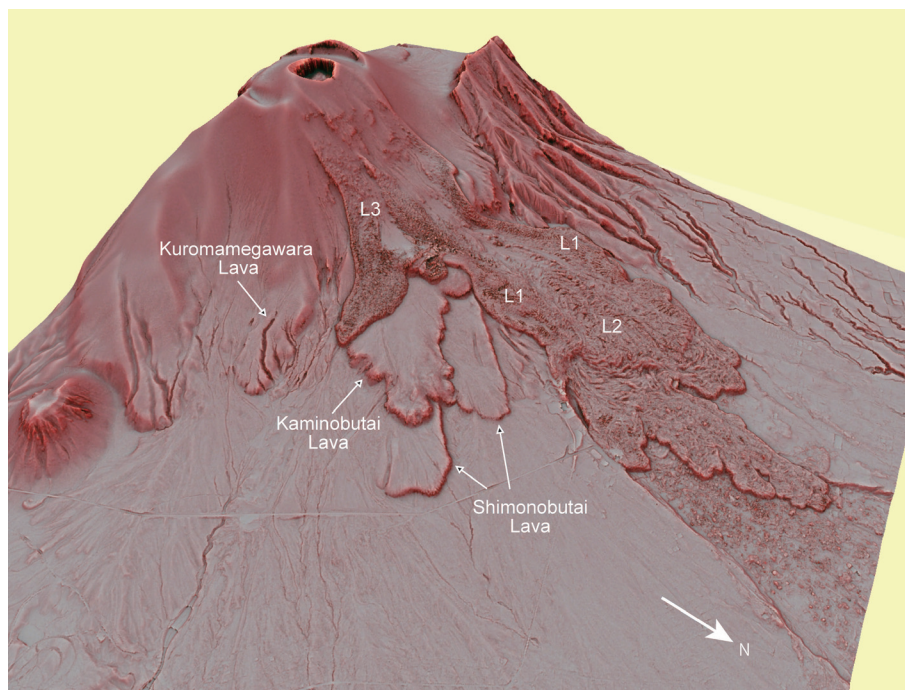


Fig. 12. The bird-eye view of the Onioshidashi lava flow seen from the north. L1, L2 and L3 are flow units of the Onioshidashi lava. (アジア航測千葉達朗氏提供)

が互いに癒着した複合ブロックを構成していることが多く、また内部に溶結構造を示すものもみられる。これらは、溶岩湖内や火口近傍、もしくは火道最上部付近において、噴火プロセスの中で本質岩片同士が繰り返し衝突・合体することで形成されたものと推定される(安井・他, 2006)。地点2で示されたように、天仁大規模噴火時に火口近傍に形成された溶結火砕丘の一部にも、このキャベツ状の本質岩片が含まれる。

### 8. 鬼押出溶岩

山頂火口から5.8kmまで到達している鬼押出溶岩流は、釜山火砕丘の北部斜面から流下しており、その上部の延長は釜山火砕丘北部斜面の幅広いU字型凹地に連続する(Fig. 12)。荒牧(1968)は鬼押出溶岩の表面形態を、(1)クリンカー型(clinker type)(2)割れ目型(slab type)(3)破砕型(fragmentation type)(4)塊状型(block type)の4タイプに分類した。クリンカー型は中上部斜面の溶岩堤防を構成しており、その内側には割れ目型が発達している。破砕型は溶岩の主要部を占めており、末端部には塊状型が分布する。一方、井上(素)(2006)によれば、斜面上部は平滑な火砕物堆積面から構成され、下部になるにしたがい平滑面が割れて台地状となって、

割れ目からは溶岩内の流体部が絞り出されてできた絞り出し溶岩(squeeze-out lava)として露出する(Fig. 13)。さらに下部になると、台地はさらに破壊され岩塔となり最後は岩塊となるが、同時に溶岩内から絞り出される流体部の量比が増す。溶岩末端部は流体部が破砕されて形成された塊状溶岩からなる。

鬼押出溶岩は、流出した順にL1, L2, L3の3枚のflow unitからなり、L2はさらにL2a, L2b, L2cの3つのsub flow unitから構成される(Fig. 11; 井上(素), 2002)。L1の幅は、釜山火口付近でも火口直径より大きく、釜山火口からの溢流では説明が困難である。釜山火砕丘の北側は削り取られて凹地になっており、その部分を含む一度堆積した高温火砕物が再流動化し、斜面を流下したものがL1である可能性が高い。L1およびL2aは、その一部が吾妻火砕流堆積物によって覆われているので、流下開始の時期は吾妻火砕流噴出以前、天明降下軽石堆積物噴出時まで遡る可能性がある。次のL2bおよびL2cは釜山火口付近では火口に収斂するので、釜山火口から溢流した可能性が高く、その時期は吾妻火砕流噴出期以降であると考えられる。最後に流下したL3は明らかに釜山火口から流出したものではなく、火砕丘の北東斜面最上部が再流動化してできた火砕溶岩であると推定され

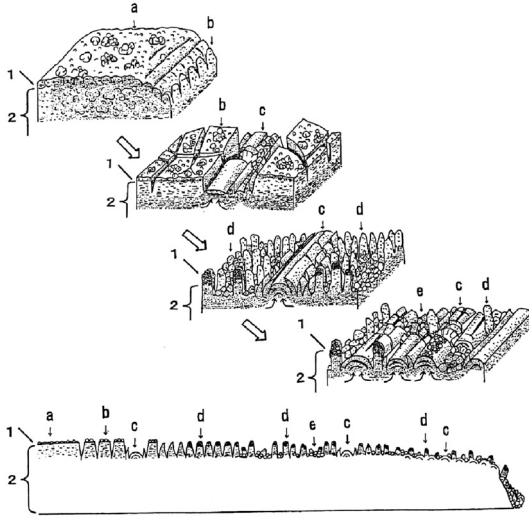


Fig. 13. The surface morphology of the Onioshidashi lava flow and its origin (Inoue, M., 2006). The upper sketches of the sequential process of the formation of the surface and near-surface morphology of the lava. The lower diagram shows a schematic cross-section of the lava. 1: surface pyroclastic rocks; 2: inner densely welded rocks; a: smooth depositional surface of pyroclastic rocks; b: plateau of pyroclastic rocks; c: morphology formed by squeezing out of inner fluidal parts; d: spines; e: blocks

る。地点7で確認されるように、L3は上舞台溶岩上で吾妻火砕流第3部層を覆うので、流下時期は吾妻火砕流噴出後であると考えられる。

鬼押出溶岩は、表層の10数mに溶結度や酸化度の違いによって示される成層構造が発達するなど明らかな溶結火砕岩の様相を呈する部分が見られるが (Fig. 25B)、内部に向かって溶結度が增大し、内部は全体として緻密な溶岩となっている (井上 (素), 2002)。また、Fig. 11に示された地点で実施されたボーリング掘削の結果では、内部の緻密部にも溶結レンズなどの溶結構造が発達しており、鏡下でも破碎された結晶片を多数含むなど、岩相上も明らかな火砕成溶岩であると考えられる (Yasui and Koyaguchi, 2004)。

### 9. 黒豆河原の観察地点

ここで紹介する観察地点は、鬼押ハイウェイ有料道路の山側の黒豆河原一帯である。全体が1783年天明噴火時に流出した吾妻火砕流堆積物に覆われているため、植生が少なく露岩の露出に恵まれている。なお、本地域の一部は私有地および国立公園保護地域であるため、立ち

入りには許可が必要である。黒豆河原には火山観測施設管理用の四輪駆動車専用の荒れた道はあるが、歩道を含めて基本的に道はなく、特に濃霧の際には迷うことも考えられるので、立ち入る際には注意が必要である。また、ほぼ全域が噴火時の火口から4kmの立ち入り規制地域内にある。観察地点には、鬼押ハイウェイ有料道路の六里ヶ原休憩所から徒歩で向かう。

観察地域の全体像を Fig. 14 に示す。本地域は南側の四世紀の黒豆河原溶岩および黒豆河原南火砕流堆積物 (小滝火砕流堆積物) によって構成される高まりと、北西側の四世紀の下舞台溶岩、十二世紀の上舞台溶岩および十八世紀の鬼押出溶岩によって構成される高まりとによって挟まれる緩斜面が、十八世紀の吾妻火砕流堆積物によって覆われている。観察地点は地点1~7の7地点である (Figs. 14 and 15)。

地点1 (Stop-1) 四世紀大規模噴火黒豆河原溶岩と黒豆河原南 (小滝) 火砕流堆積物

山頂方向から北へ下る沢の入口から少し遡行すると、黒豆河原溶岩からなる高さ5mを超える小さな滝がある。黒豆河原溶岩は、赤色酸化した基質と黒色の本質岩片からなる強溶結凝灰岩である。この強溶結凝灰岩はローブ状の形態を示しており、流動化した火砕成溶岩であると考えられる。黒豆河原溶岩は弱溶結火砕流堆積物に覆われ、さらに黒豆河原南火砕流 (小滝火砕流) 堆積物の非溶結部および強溶結部によって覆われる。小滝火砕流堆積物の最上位には赤色酸化部が見られ、As-C 降下軽石堆積物がこれを覆う。四世紀大規模噴火噴出物は、黒豆河原溶岩、小滝火砕流堆積物、As-C 降下軽石堆積物、下舞台溶岩の順に重なるものと推定される (Fig. 16)。

地点2 (Stop-2) 1108年天仁大規模噴火による上舞台溶岩

鬼押出溶岩に覆われる上舞台溶岩の山頂側の側端崖に、山頂方向に傾斜した、少なくとも8枚以上のユニットからなる層構造が見られる (Fig. 17)。層構造は溶岩と火砕岩の互層からなる。各層の厚さは1~2m程度である (Fig. 18)。

溶岩 (Unit-A) は下位の丸みを帯びたキャベツ状本質岩塊層に移化していることから、これらの火砕岩が強く溶結した溶結火砕岩であると考えられる (Figs. 18 and 19)。このキャベツ状の本質岩塊は、上舞台溶岩と同時期に噴出した追分火砕流堆積物中の本質岩塊とよく似ており、同一の成因を有するものであると考えられる。火砕岩 (Unit-B) は赤色酸化した基質を有する凝灰角礫岩からなる (Fig. 18)。

こうした上舞台溶岩で見られる強溶結部と凝灰角礫岩の互層と同様のものは、西前掛山の山頂付近の斜面に発

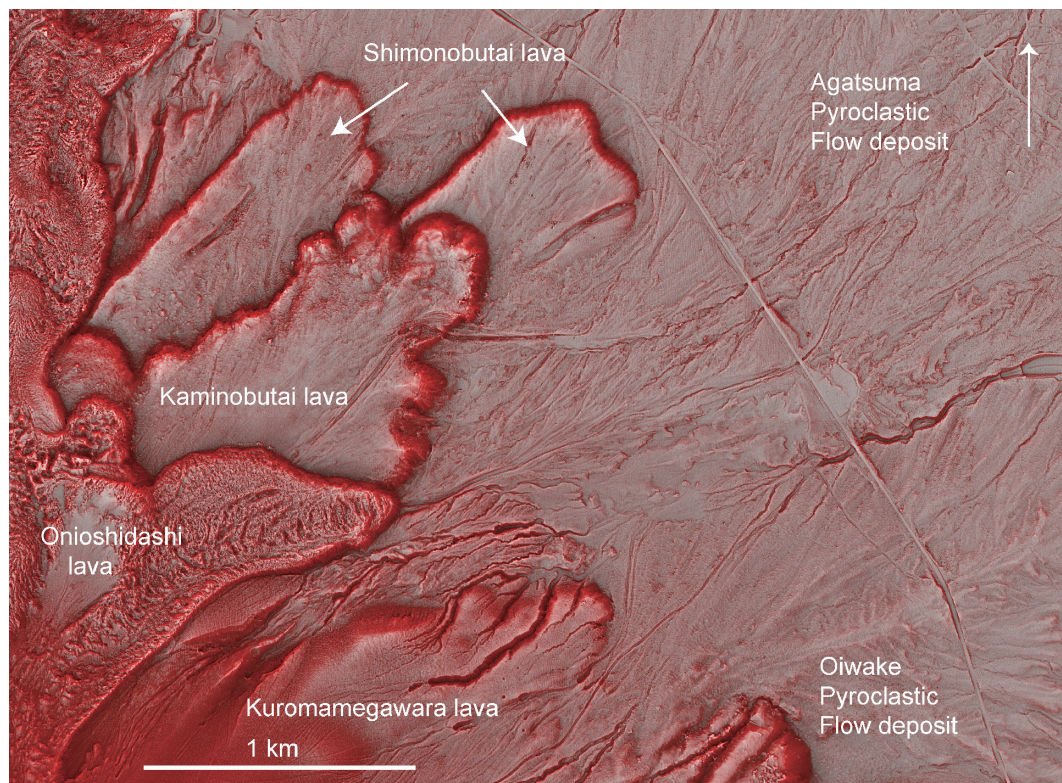


Fig. 14. Red relief image map showing the occurrence of eruptive products around the Kuromamegawara area. (赤色立体地形図: 国土交通省利根川水系砂防事務所提供)

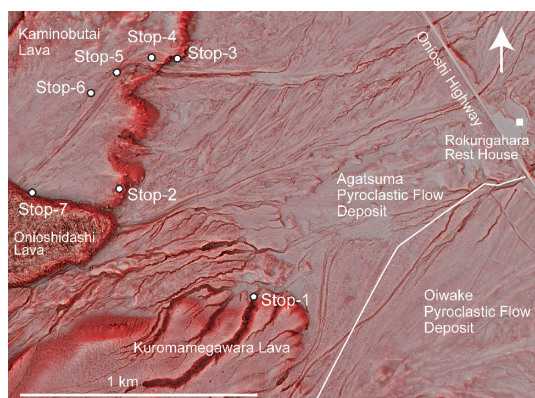


Fig. 15. Red relief image map showing the stop points for observation of outcrops. (赤色立体地形図: 国土交通省利根川水系砂防事務所提供)

達した十二世紀大規模噴火噴出物にみられる (Fig. 20)

以上の事実から、地点2を構成する溶岩・火砕岩互層は溶岩ではなく、溶結した火砕丘の一部と考えられる。上舞台溶岩は通常の溶岩ではなく、溶結火砕丘の一部が流動化し、火山体の斜面を流下したものであろう。溶岩・火砕岩互層が山頂方向に傾斜しているのは、流下時に流下方向への衝上によって生じた一種のランプ構造であると考えられる。

地点3 (Stop-3) 1108年天仁大規模噴火による上舞台溶岩

上舞台溶岩の先端部に近い部分は、弱く成層した基質に乏しい火山角礫岩 (Unit-C) から構成されている (Fig. 21)。成層構造は、地点2と同じく山頂方向に傾斜している。これもランプ構造であると考えられる。火山角礫岩は弱く溶結している (Fig. 21)。同様の火山角礫岩は、東前掛山付近の斜面に発達している。火山岩塊には溶結構造を持つものが含まれており、溶結火砕岩が破碎されたものであると考えられる。すなわち、この火山角礫岩も溶岩ではなく、溶結した火砕丘の一部と考えられる。

地点4 (Stop-4) 吾妻火砕流堆積物屈曲点にみられる特

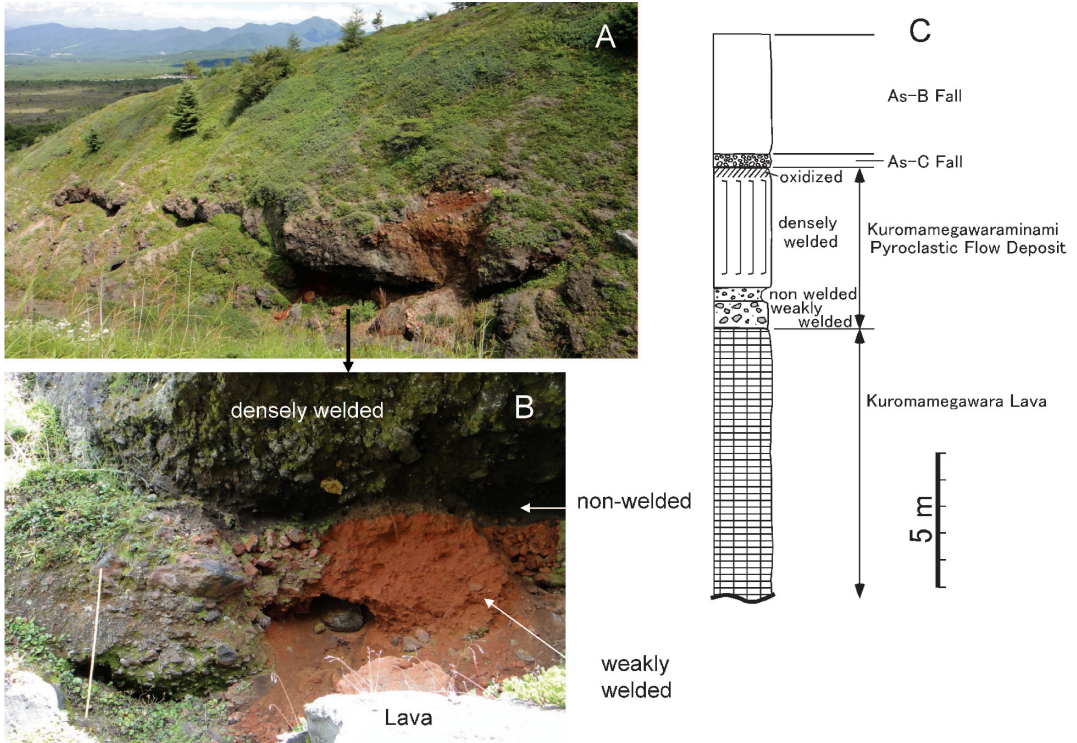


Fig. 16. Occurrence of the Kuromamegawara lava and Kuromamegawaraminami (Kotaki) pyroclastic flow deposit at the Stop-1. A: densely welded Kuromamegawaraminami pyroclastic flow deposit; B: underlying non-welded and weakly welded pyroclastic flow deposits (the scale is 1 m); C: schematic columnar section of the eruptive products of the 4<sup>th</sup> Century large-scale eruption at the Stop-1 (Takahashi *et al.*, in preparation).

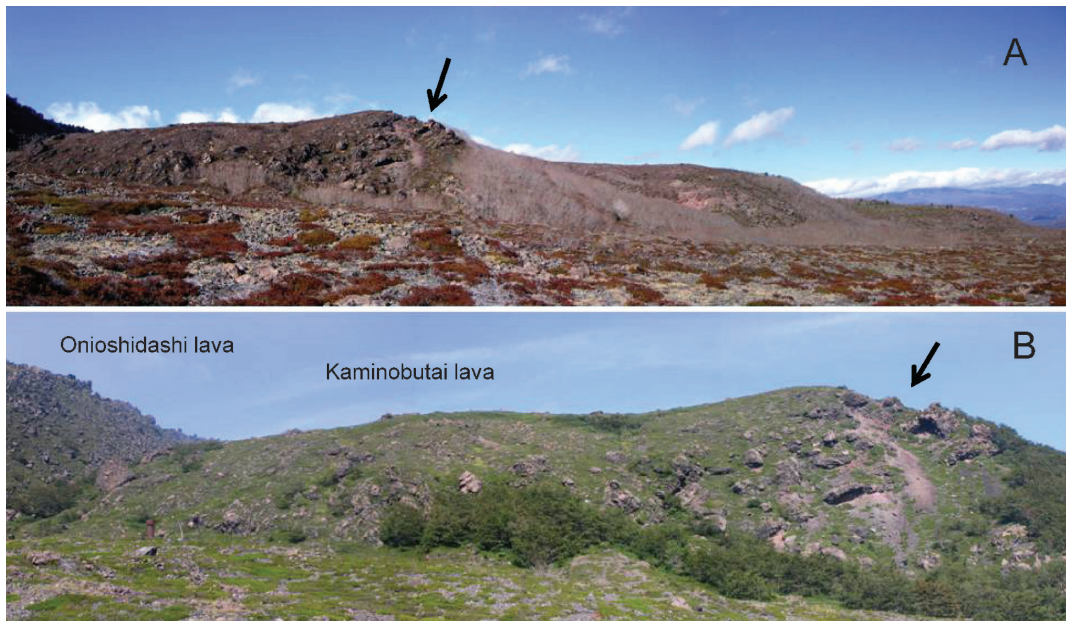


Fig. 17. Overview of the Kaminobutai lava flow (A) and its closed view (B). The Kaminobutai lava flow comprises stratified alternation of lavas and pyroclastic rocks inclined toward the summit crater (indicated by arrows). The maximum height of the cliff is about 50 m.



Fig. 18. Occurrence of the alternation of lava (Unit-A) and pyroclastic rocks (Unit-B) at the Stop-2. The Unit-A consists of weakly welded volcanic breccias and densely welded lava-like massive rock. The Unit-B is composed of tuff breccias. The scale is 1 m.

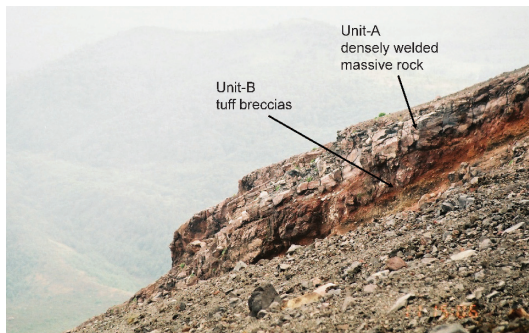


Fig. 20. The alternation of densely welded lava-like massive rock and tuff breccias at the southern slope of the Maekake volcanic cone just below the crater rim, which resembles the occurrence of Kamino-butai lava flow. The densely welded lava-like massive rock gradually changes to underlying tuff breccias.



Fig. 19. Volcanic breccias of the Unit-A comprise monolithologic rounded essential blocks, which resemble the essential blocks included in the Oiwake pyroclastic flow deposit.

#### 異なる堆積物

Fig. 22 の矢印の場所では、わずかな地形の高まりによって、吾妻火砕流堆積物第3部層の火砕流の流れが、北東方向から東方向へ向きを変えられており、屈曲部の縁には複数の畝状の微地形が発達しているのが認められる。Fig. 22 の写真の人物の足元では、キャベツ状の本質岩塊が畑の畝状に、複数平行して配列している。これは、火砕流の流れがほぼ同じ流路を連続して複数回通過したことを示している。

地点5 (Stop-5) 1783年天明大規模噴火の吾妻火砕流堆積物の断面

地点5では、吾妻火砕流堆積物の第2部層と第3部層

の境界がみられる (Fig. 23)。第2部層の上部の酸化帯から第3部層にかけて冷却節理が貫いていることから、第2部層の定置後、第3部層の流下定置までの時間は長くなかったとみられる (安井・小屋口, 1998b の Fig. 8)。吾妻火砕流堆積物の下位には、天明の降下軽石堆積物、その直下の土壌を挟んで、十二世紀大規模噴火の降下火砕物 (大治大規模噴火のB'降下軽石および赤色火山灰) が認められる。第2部層は上位ほど基質に乏しくて本質岩片の濃集する逆級化構造を示し、粒子流に近い高密度の火砕流であった可能性が高い。

#### 地点6 (Stop-6) 吾妻火砕流堆積物の断面

吾妻火砕流堆積物第3部層 D flow unit (Yasui and Koyaguchi, 2004) では、火砕流堤防の発達がみられる。火砕流堤防の凹地側では火砕流堆積物の断面がみえる。大型の本質岩塊が上部に濃集して逆級化構造を示し、下位は本質岩塊に乏しくて基質に富む (Fig. 24)。すでに述べたように、これをもたらした火砕流は、細粒物質や火山ガス成分に乏しく、粒子流に近い高密度の火砕流であった可能性が高い。

#### 地点7 (Stop-7) 鬼押出溶岩流 (L3) の先端部

鬼押出溶岩 (L3) 先端部の末端崖が上舞台溶岩および吾妻火砕流堆積物を覆っている。鬼押出溶岩は火砕成溶岩と考えられるが、ここでみられるブロック状溶岩 (Fig. 25A) は、溶岩内部の流体部が絞いだされたものと考えられる (Fig. 13)。ここでみられるようなブロック状溶岩は、鬼押出溶岩では主要な岩相ではない。

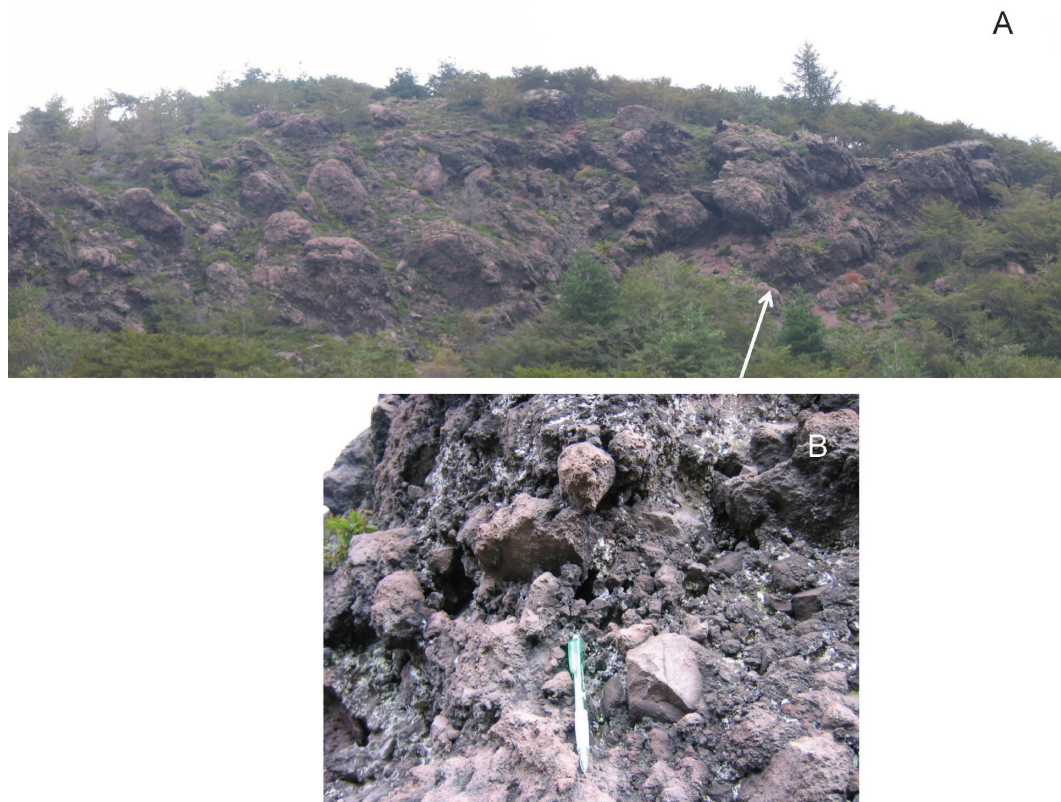


Fig. 21. Stratified beds of the poorly sorted volcanic breccias of the Kaminobutai lava at the Stop-3 (A), which consist of angular to sub-angular monolithologic clasts and incline towards the summit crater (B). The height of the cliff is about 10 m.

## 5. おわりに

本報告は長野県御代田町エコールみよたで開催された2012年度日本火山学会秋季大会の現地討論会資料の一部をまとめたものである。大会でお世話になった武尾実大会実行委員会委員長(東京大地震研)、市原美恵委員(東京大地震研)、堤隆委員(浅間縄文ミュージアム)の各氏、現地でお手伝いいただいた金丸龍夫氏(日本大文理)および現地討論会参加者の方々に感謝したい。国土交通省利根川水系砂防事務所および千葉達朗氏(アジア航測)には赤色立体地形図の使用を許可していただくとともに図を提供していただいた。また、2名の査読者からは、原稿の改善に役立つ有益なご指摘を頂いた。あわせて、感謝の意を表したい。



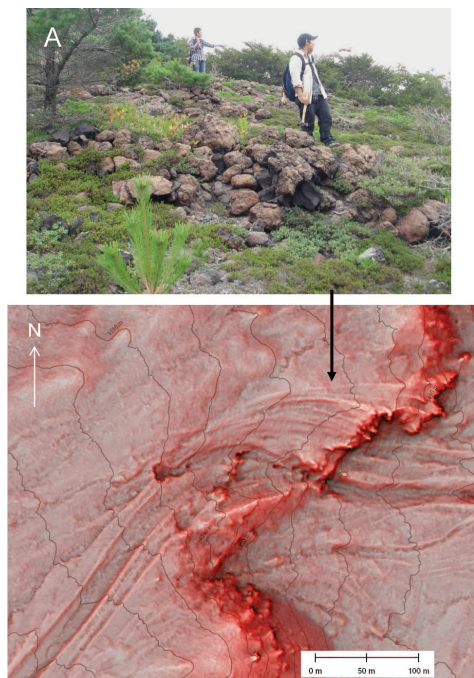


Fig. 22. The occurrence of unique pyroclastic flow deposit developed at the curved corner of the flow unit of the 3<sup>rd</sup> member of the Agatsuma pyroclastic flow deposit at the Stop-4, which comprises several small ridges of clast-supported volcanic breccias.

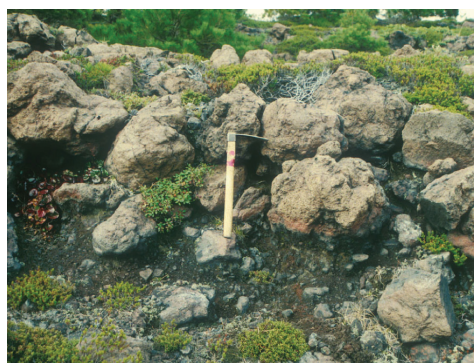


Fig. 24. The cross section of the pyroclastic flow deposit of 3<sup>rd</sup> member of the Agatsuma pyroclastic flow deposit at the Stop-6. The essential blocks are concentrated to the surface of the deposit.

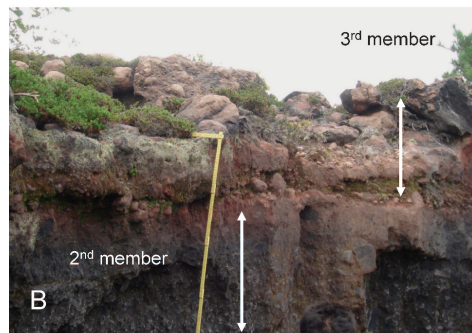
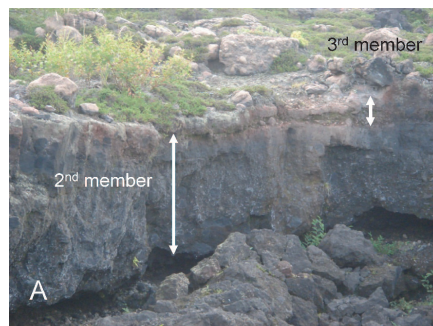


Fig. 23. The cross section of the Agatsuma pyroclastic flow deposit at the Stop-5. The 3<sup>rd</sup> member of the Agatsuma pyroclastic flow deposit underlies the densely welded 2<sup>nd</sup> member.



Fig. 25. The block lava of the frontal cliff of the L3 Onioshidashi lava flow near the Stop-7 (A), which was formed by the squeezing out of the inner fluidal portion of the lava. The height of the frontal cliff is about 30 m. The lava with rough surface at other place of the Onioshidashi lava flow (B). The height of the outcrop is about 5 m.

## 引用文献

- 荒牧重雄 (1957) Pyroclastic Flow の分類. 火山, **1**, 47-57.
- Aramaki, S. (1963) Geology of Asama Volcano. *J.Fac.Sci. Univ.Tokyo, Sec.II*, **14**, 229-443.
- 荒牧重雄 (1968) 浅間火山の地質. 地団研専報 **14**, 45p
- 荒牧重雄 (1993) 浅間天明の噴火の推移と問題点. 火山灰考古学 (新井房夫編), 古今書院, 83-110.
- Cole, P.D., Calder, E.S., Sparks, R.S.J., Clarke, A.B., Druitt, T.H., Young, S.R., Herd, R.A., Harford, C.L. and Norton, G.E. (2002): Deposits from dome-collapse and fountain-collapse pyroclastic flows at Soufriere Hill Volcano, Montserrat. *In The Eruption of Soufriere Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999*. Geological Society, London, Mem., **21**, 231-262
- Druitt, T.H., Young, S.R., Bapchie, B., Bonadonna, C., Calder, E.S., Clarke, A.B., Cole, P.D., Harford, C.L., Herd, R.E., Luckett, R., Ryan, G. and Voight, B. (2002) Episodes of cyclic Vulcanian explosive activity with fountain collapse at Soufriere Hills Volcano, Montserrat. *In The Eruption of Soufriere Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999*. Geological Society, London, Mem., **21**, 281-306
- 井上公夫・石川芳治・山田 孝・矢島重美・山川克己 (1994) 浅間天明噴火時の鎌原火砕流から泥流に変化した土砂移動の実態. 応用地質, **35**, 12-30
- 井上公夫 (2009) 噴火の土砂洪水災害—天明浅間焼けと鎌原土石なだれ—. シリーズ繰り返す自然災害を知る・防ぐ第5巻 古今書院 203p
- 井上素子 (2002) 浅間火山鬼押出溶岩流の噴火に伴う全岩化学組成変化. 金沢大文地理報, **10**, 17-23.
- 井上素子 (2006) 火砕成溶岩流としての鬼押出溶岩流. 月刊地球, **28**, 223-230.
- 宮原智哉 (1991) 浅間火山 1108 年噴出物における密度と化学組成の変化. 日本大文理自然研紀要, **26**, 39-49.
- 宮野義則・安井真也・遠藤邦彦・荒牧重雄 (1994) 花粉分析に基づく浅間 B-B' 間の噴火の推移と時間間隙. 日本火山学会 1994 年秋季大会講演予稿集, p. 198.
- 中村俊夫・辻 誠一郎・竹本弘幸・池田晃子 (1997) 長野県, 南軽井沢周辺の更新世最末期の浅間テフラ層の加速器 14C 年代測定. 地質雑, **103**, 990-993.
- 早田 勉 (1995) テフラからさぐる浅間山の活動史. 御代田町誌, 自然篇. pp22-43.
- 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—浅間前掛火山上舞台溶岩と那須茶臼岳溶岩—. 月刊地球, **28**, 240-244.
- 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—. 日本大文理自然研紀要, 48 印刷中
- 高橋正樹・安井真也・竹本弘幸 (「火山」投稿準備中) 浅間前掛火山の地質と噴火史
- 竹本弘幸 (1999) 北関東北西部地域における第四紀古環境変遷と火山活動. 茨城大学院理工学研究科博士論文 (手記) 130p
- 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. 日本大文理自然研紀要, **38**, 55-64.
- 田中栄史・安井真也・荒牧重雄 (2012) 浅間火山天明噴火の鎌原火砕流 / 岩屑なだれ堆積物の諸性質. 日本大文理自然研紀要, **47**, 271-286.
- 山田 孝・石川芳治・矢島重美・井上公夫・山川克己 (1993) 天明の浅間山噴火に伴う北麓斜面での土砂移動現象の発生・流下・堆積実態に関する研究. 新砂防, **45**, 3-12
- 安井真也・小屋口剛博 (1998a) 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.
- 安井真也・小屋口剛博 (1998b) 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. 日本大文理自然研紀要, **33**, 105-126.
- 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.
- 安井真也・小屋口剛博・荒牧重雄 (1997) 堆積物と古記録からみた浅間火山 1783 年のプリニー式噴火. 火山, **42**, 281-297.
- 安井真也・高橋正樹・阪上雅之・日本大学浅間火山 2004 年噴火調査研究グループ (2005) 浅間前掛火山のブルカノ式噴火の噴出物の岩石組織の多様性—天仁噴火から 2004 年噴火まで. 火山, **50**, 501-518.
- 安井真也・下斗米朋子・高橋正樹 (2006) 浅間火山 1108 年噴火の追分火砕流堆積物の本質ブロックの形態. 日本火山学会 2006 年度秋季大会講演予稿集, p10