

浅間火山火車岩屑なだれ堆積物の再発見

—浅間家畜育成牧場と周辺地域の火山地質—

安井 真也*・高橋 正樹*・金丸 龍夫*

Rediscovery of the Higuruma Debris Avalanche Deposit in Asama Volcano

Maya YASUI*, Masaki TAKAHASHI*, and Tatsuo KANAMARU*

(Accepted November 9, 2018)

Asama-Kurofu and Sennin volcanoes occupy the western part of the Asama volcano. The sector collapse occurred in the later stage of the volcano resulting a horseshoe-shaped caldera. A large-scale debris avalanche deposit was generated on the wide area and associated debris flow reached to the distant place more than 50 km. However, since the area closed to the volcanic edifice is thickly covered with the younger deposits from Asama-Hotokeiwa and Maekake volcanoes, little information on the debris avalanche deposit on the proximal area has been available. Hummocky topography is remarkable on the eastern area of the collapsed caldera. Geological survey in the proximal area was carried out especially in the Gunma Prefecture Asama Dairy Farm, the Nagakurayama National Forest, and its vicinity. Consequently, outcrops of the debris avalanche deposit were occasionally found in the valley bottom. In addition, a drilling core penetrated a thick debris avalanche deposit more than 27 meters. Whole-rock chemical composition of the blocks from the deposits are the same as those of the Asama-Kurofu and Asama-Sennin volcanoes. Long time ago, Yagi (1936) showed the distribution of "Higuruma debris avalanche" on his geologic map but few descriptions were made about it. The deposit confirmed in this study corresponds to the Higuruma debris avalanche and the description will be a clue for understanding the scale of the sector collapse.

Keywords: Asama volcano, sector collapse, debris avalanche deposit

1. はじめに

約10万年間の浅間火山の活動史(黒斑・仙人, 仏岩, 前掛火山)において, 黒斑・仙人火山の活動時期の末期に大規模な山体崩壊があった。その痕跡は, 湯の平をとりまく東に開いた馬蹄型カルデラの地形として明瞭に残されている(図1)。カルデラの東部はその後に形成された仏岩, 前掛の火山体によって覆われている。また山体崩壊によってもたらされた岩屑なだれ堆積物は, 現在の山頂部から10数km以上離れた地域で確認されている(図1-A, C, F)。10km以内の範囲では, 仏岩火山の軽石流堆積物, 前掛火山の火砕流堆積物, 降下火砕堆積物などが地表を覆っている。つまり, より新しい時代の堆積物が広く分布するために, 黒斑火山の崩壊地形(馬蹄

型カルデラ)と遠方の岩屑なだれ堆積物の直接的な関係が不明であった。八木(1936)はその地質図に“火車岩屑流”として, 馬蹄型カルデラの東方一帯に崩壊による堆積物の存在を示唆したが(図2), 堆積物自体の具体的な記載はほとんどされなかった。図1-Bの範囲の地形に着目すると, 東北東麓の浅間家畜育成牧場から東南東麓の長倉山国有林一帯は起伏に富み, 地形図上で円形や楕円形の閉じた等高線によって示される, 丘状の地形的高まりが数多く点在している。本研究ではこれらの地域において地質調査およびボーリング掘削調査を行い, より新しい時代の堆積物の下位に岩屑なだれに特有の産状を呈する堆積物を確認した。堆積物に含まれる岩塊は全岩化学組成の上では黒斑火山の岩石と区別されない。これらのことから八木(1936)の“火車岩屑流”を確認したも

* 日本大学文理学部地球科学科:
〒156-8550 東京都世田谷区桜上水3-25-40

* Department of Earth and Environmental Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University : 3-25-40 Sakurajosui Setagaya-ku, Tokyo, 156-8850 Japan

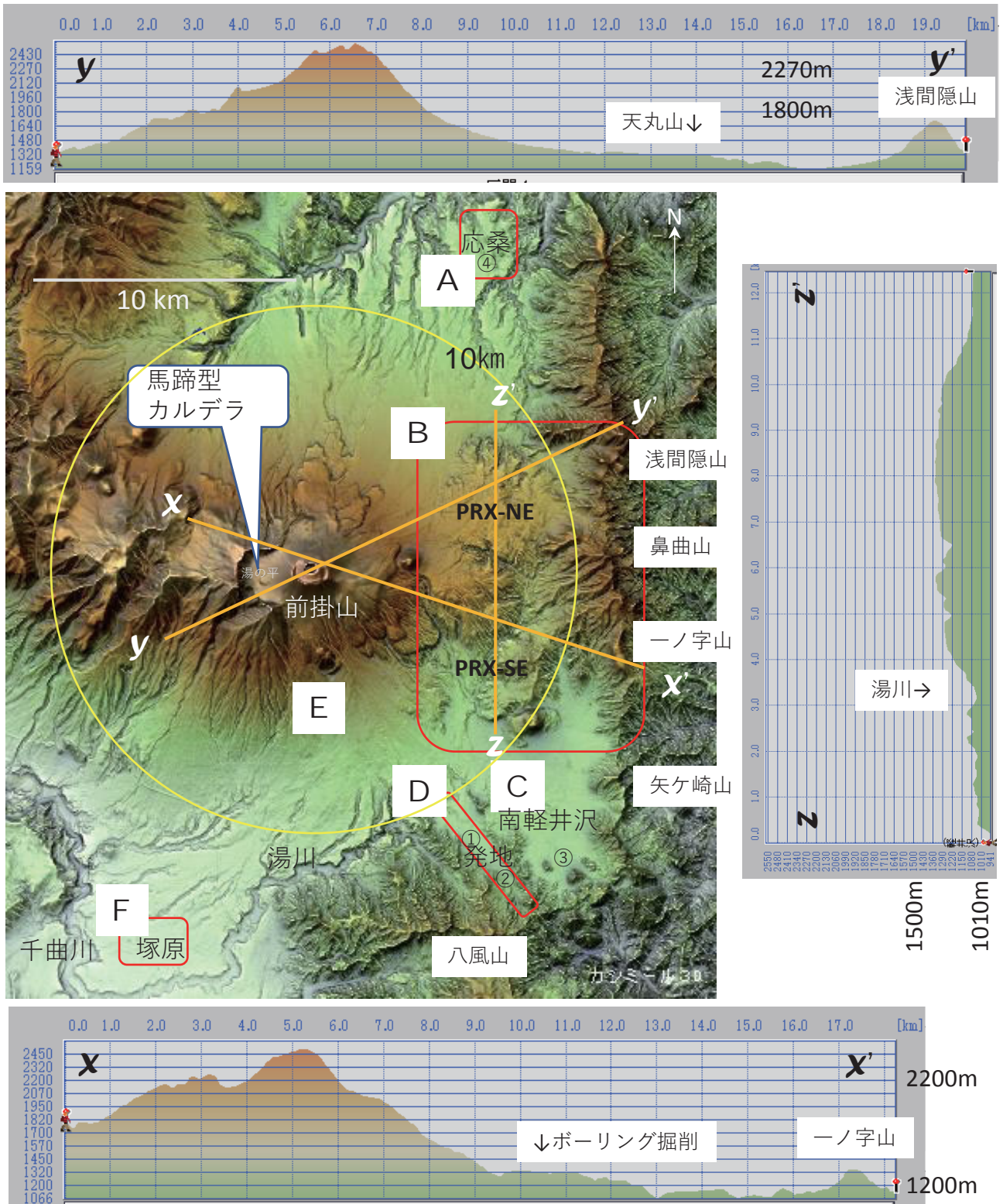


図1 浅間火山周辺の地形的特徴と黒斑火山の岩屑なだれ堆積物の分布範囲(A~F)および地形断面図。
 PRX-NE: 北東方向の近傍地域, PRX-SE: 南東方向の近傍地域, ①下発地地区 図3-3撮影地, ②図3-4撮影地, ③図3-5撮影地,
 ④図3-1撮影地 カシミール3D使用。

のとみられる。ボーリング掘削地点では岩屑なだれ堆積物は27m以上の厚さで堆積していることが確認され、相当な規模に及ぶようである。また調査の過程では表層

の地質に関する情報も得られた。長期的な活動予測や防災対策の上でも過去の火山活動の実態を明らかにすることが重要であり、その基礎的な地質情報として、浅間家

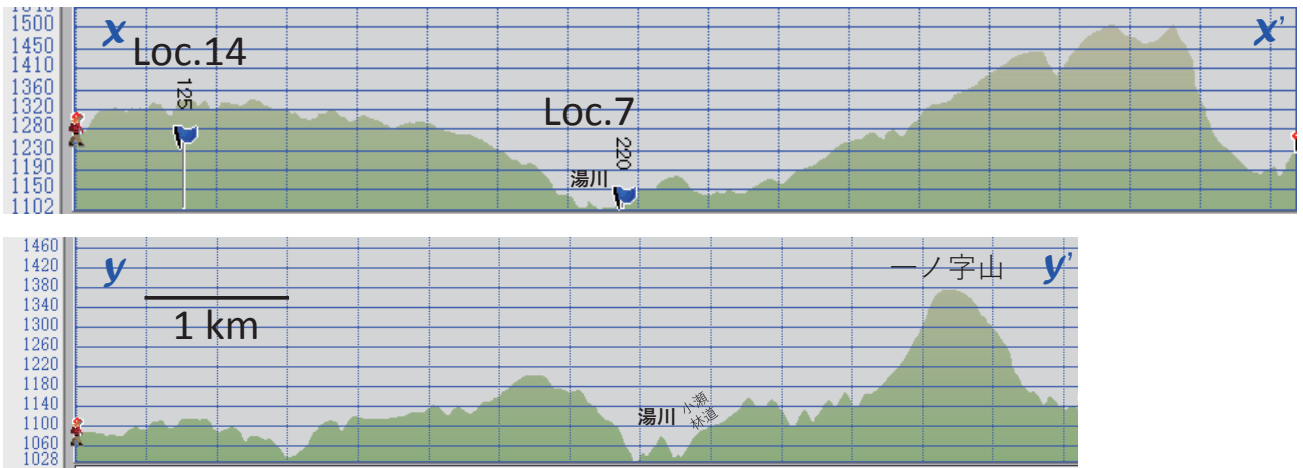
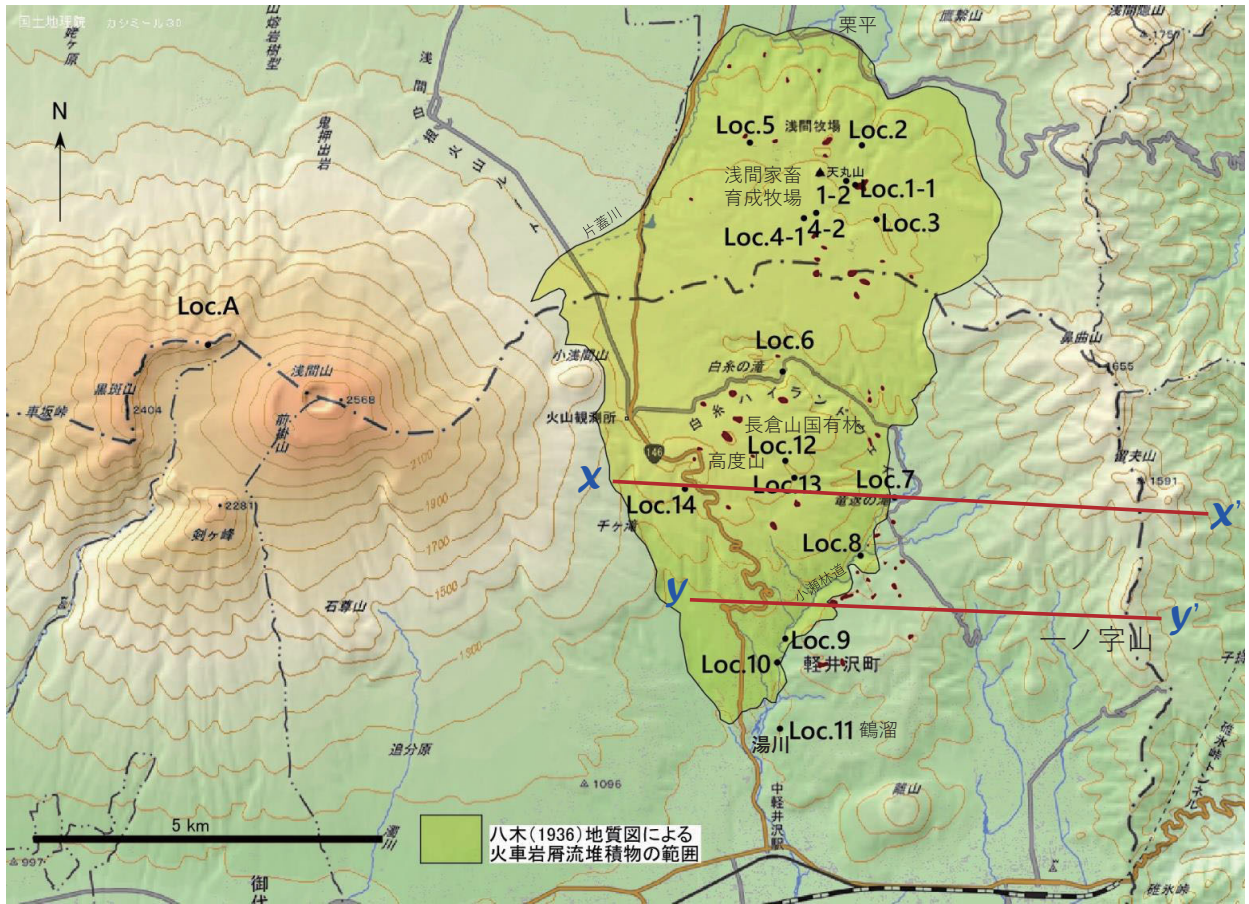


図2 浅間火山東麓における火車岩屑なだれ堆積物の分布（八木，1936），本研究の調査地点，および地形断面図。
 カシミール3D使用。褐色の領域：円形または楕円形に閉じた等高線で示される地形的高まり。

畜育成牧場と周辺地域における地質調査結果を報告する。

2. 黒斑火山の形成史と岩屑なだれ堆積物に関する従来の研究

浅間黒斑・仙人火山は開析のすすんだ大型の成層火山で、活動末期の山体崩壊によって山頂部を失い、東に開

いた馬蹄型カルデラが大きな地形的特徴となっている。Aramaki (1963) および荒牧 (1968) は、黒斑火山の原地形の大要が南側と北側に保存されていることを利用して、崩壊前の黒斑火山の地形復元を行い、山頂火口の直径が500mと仮定した場合、火山の高さは2800m～2900mに及んだと推定した。黒斑火山の形成史について Aramaki (1963) および荒牧 (1968) は、馬蹄型カルデラ

の内壁に成層火山の内部構造が露出することに基づいて、^{ぎっば}牙期、三ツ尾根期、仙人期の3ステージを区分した。また荒牧(1968)は、新井(1962)が関東地方北西部の「上部ローム」の下部の板鼻褐色浮石層(BP)としたものの岩石の性質が黒斑上部の降下軽石堆積物に類似することと、榛名火山の噴出物のC14年代とBPの層位から、黒斑火山の少なくとも最上部は約4万年前以降に形成されたと考えた。その後、竹本・久保(1995, 2003)は黒斑火山のテフラを新期と古期にわけて調べた。その結果、新期黒斑期テフラについては、新井(1962)の板鼻褐色軽石(BP)に対応する室田軽石(MP)より上位にBP-1~7を認識し、BP-5が岩屑なだれ堆積物を覆うとした。また始良カルデラからの広域テフラであるAT火山灰が室田軽石の下位にあることを示した。竹本・久保(1995, 2003)の成果は、約3万年前以降、BP下部の噴出のちに山体崩壊があり、さらにBP最上部の噴出があった、とまとめられる。

高橋・他(2008)は、従来の研究と黒斑火山噴出物の全岩化学分析結果を総括し、活動史を次のようにまとめた。10万~7万年前頃まで牙・剣ヶ峰溶岩グループの活動が続き、その後、3万年前頃まで三ツ尾根溶岩グループが活動したが、これらは溶岩流の噴出を主とした。3万年前以降はプリニー式噴火を繰り返し、山体崩壊を挟んでBPをもたらした。この時期には、仙人溶岩グループの溶岩流も噴出し、約2万年前には活動を終了した。高橋・他(2018)は岩屑なだれ堆積物および火山泥流堆積物から無作為に採取した岩塊合計148個の全岩化学組成を、黒斑火山の山体を構成する岩石の組成(高橋・他, 2008)と比較した。その割合は、牙溶岩グループが約20%、剣ヶ峰溶岩グループが14%、三ツ尾根溶岩グループが約61%、仙人火山溶岩が約5%であった。高橋・他(2018)は、岩屑なだれ堆積物にはより古い時代の岩塊が少ないことから、山体の上半部が崩壊したと考えた。

黒斑火山の山体崩壊とその堆積物についての研究は古く、戦前に遡る。八木(1936)の「浅間火山」において、爆発によって生じた火口は、浅間山の古名をとって「火車爆裂火口」と名付けられた。八木(1936)によると、岩屑流は既成の鼻曲火山に支えられ南北に拡がり、南側は小瀬沢南東の^{たかっやま}高度山を乗り越え、軽井沢に面したその中腹まで堆積した、とされ、小瀬林道、二度上付近、白糸滝の西谷他に剣ヶ峰の集塊岩と同一質の集塊岩塊片が露出するとある。なお、八木(1936)の本文中では「長倉岩屑流」とされているが、記述にある地名の分布から、地質図に示された「火車岩屑流」と同一のもの

とみられる。一方、荒牧(1968)は「東方裾野にあたる浅間牧場・高度山・千ヶ滝などの火山群の地域には塚原泥流のような黒斑山起源の泥流堆積物は殆ど認められない」とし、馬蹄型カルデラの東部については見解がわかれている。

10km以遠の山麓部については次のような研究がある。八木(1936)は南西麓の堆積物を「塚原岩屑流」と名付けて詳しい記載をした。それによれば、北海道駒ヶ岳山麓に無数に分布するものと同様であり、流れ山の多くは数個~数10個が集合して列をなし、北東から南西に向かう。底面の形は多少末広がりの卵型または楕円形で、長径の方向は流れ山の配列と一致する。表面の傾斜は長径の方向に非対称である。流れ山の高さは3~4m、15mまで様々で平均6mである。中下部に大岩塊が重なる。岩塊は同一種類で、非常に多孔質で黒色部と赤色部が縞状のものもある。肉眼的、顕微鏡下の性質共に剣ヶ峰南東腹の集塊岩と同一とみられる。北側については、岩屑なだれによる堰きとめで栗平付近の低地に一時的な小湖が形成され、後に片蓋川の侵食により乾涸した、と考えている。応桑部落の東北で流れ山が北東の方向に配列し、黒斑火山から押出したものと認められる、とするが、これについては形成時期や火車岩屑なだれ堆積物との関係の言及はみられない。現在も応桑周辺(図1-A)では流れ山地形が明瞭であり(図3-1)、大型のものは比高数10メートルで、馬見塚や天狗塚などの地名がみられる。宇野沢・坂本(1972)は、南東麓(図1-C)の比高5~15m程度のゆるやかな起伏を示す小丘(図3-5)が多数存在する南軽井沢一帯に着目した。火砕流堆積物と南軽井沢湖成層の分布や層序、C14年代を調べ、今から2.5万年以上前に黒斑火山の活動に伴って小起伏に富む盆地底の地形が生じたと結論した。つまり20~30m程度の比高をもつ元来の起伏の凹部がその後の火砕流堆積物などによって埋積されたと考えた。その後、荒牧(1993)は火山地質図において、南西部のものを塚原岩屑流、南東部のものを塩沢岩屑流、北麓のものを応桑岩屑流とそれぞれ呼ぶこととした。なお早川(2007)は黒斑火山の崩壊による堆積物をすべて「塚原土石なだれ」とし、その地質図では八木(1936)の火車岩屑なだれの領域も同様に塚原土石なだれとしているが、堆積物についての具体的な記載はみられない。

塩沢岩屑なだれ堆積物については、発地地区(図1-D)においても流れ山地形が見られ(図3-2, 3)、基盤山地の縁の八風湖のあたりまで塩沢岩屑なだれ堆積物を認めることができる(図3-4)。岩屑なだれ堆積物の分布、つまり山体崩壊の影響が及んだ範囲については、北東から南

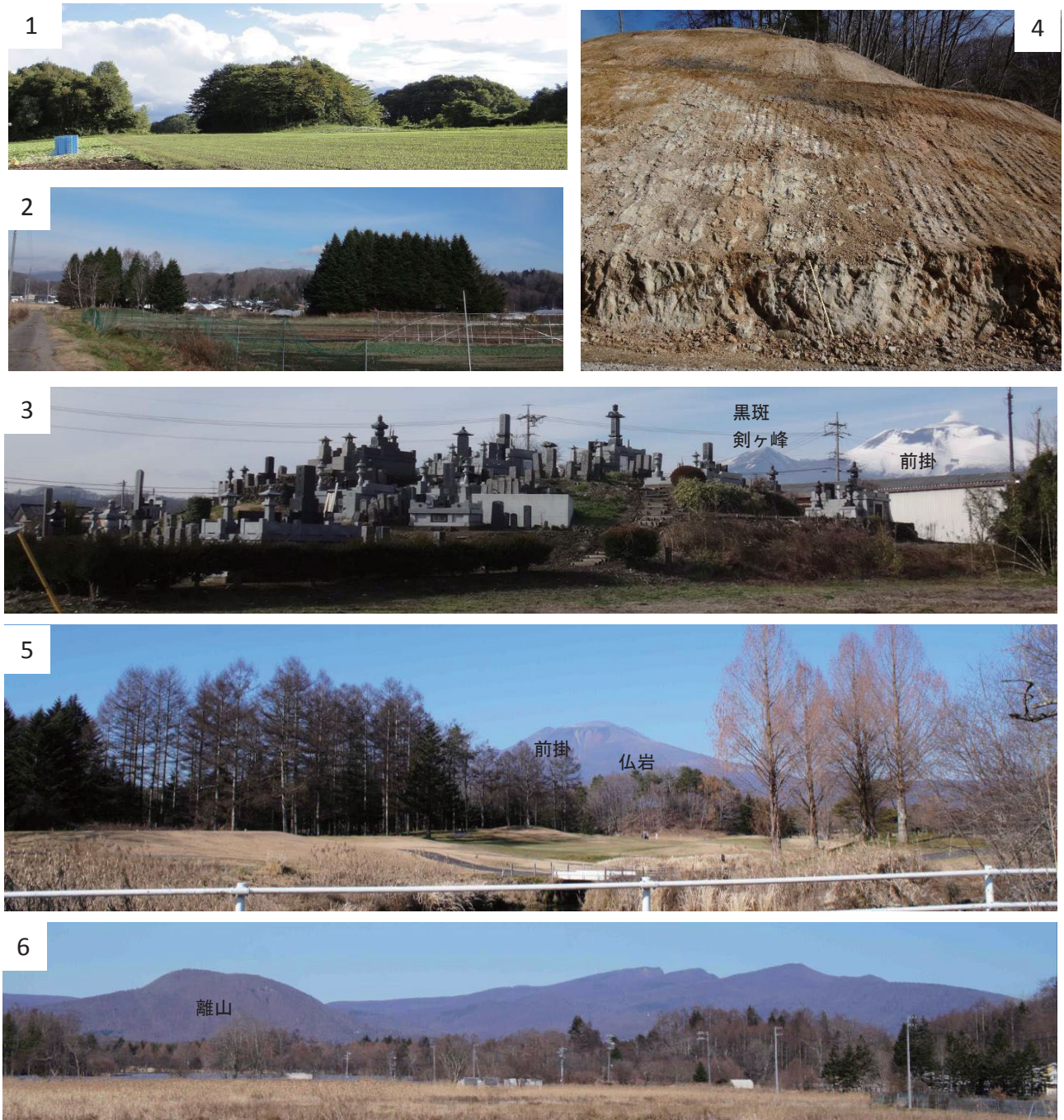


図3 浅間火山周辺の流れ山地形と岩屑なだれ堆積物。

1：応桑付近の流れ山地形，2：下発地付近の流れ山地形，3：下発地地区の流れ山（犬吠塚墓地），4：上発地・八風湖付近の岩屑なだれ堆積物の露頭，スケール：1m，5：南軽井沢地域のなだらかな起伏（軽井沢72ゴルフ場），6：馬取よりみた一ノ字山～鼻曲山方面。

方までの浅間火山の山麓を縁取るように分布する基盤山地との関係も含めて、さらに調査が必要である。なお、岩屑なだれが河川に突入して遠方に到達した火山泥流（前橋泥流など）についての研究も多いが、本研究では火山体の近傍に注目するためここでは省略する。

黒斑火山の山体崩壊の年代はまだ明確になっていない。竹本・久保（1995, 2003）は、3万年前以降の新期黒

斑期テフラのうち、BP4とBP5の間に時間間隙をはさまずに岩屑なだれ堆積物が挟まるとし、これらが一連の噴火によるものと考えた。新期黒斑期テフラはMP、BP1～7が識別され、個々に複数の降下単位があるとの記載から考えると、BP全体として数多くの降下単位があると予想される。一般に降下火砕堆積物の分布方向は、噴火時の上空の風向の影響で卓越風の方角以外にも

様々であるとみられる。このため広範囲の調査により個々の分布を抑えた上で、岩屑なだれ堆積物の上下にある降下単位を特定してその噴出年代を決める作業が必要であろう。ここでは従来の研究を俯瞰した上で、山体崩壊の時期を便宜上2.5万年前頃、としておく。

3. 地質記載

3-1. 東北東麓・浅間家畜育成牧場の地形と地質記載

群馬県浅間家畜育成牧場（群馬県吾妻郡長野原町）は、天丸山を中心とする標高千数百メートルに位置し、総面積約800ヘクタールの広大な牧場である。山頂火口からの距離は約5.5～9キロメートルである。南北断面では

南方の長倉山国有林（長野県軽井沢町側）とあわせてテーブル型の地形を示す（図1-ZZ'断面）。牧場内には天丸山（標高1,344m）をはじめとする丘状の地形的高まりが多数みられ、牧場全体が起伏に富むのが特徴的である（図4）。また牧場内とその周辺には多くの谷が発達しており、深い沢の谷壁には良好な地層断面が露出する。従来、この地域の詳細な地質調査の研究事例は少なく、本研究では浅間家畜育成牧場および長野原町の協力の下、許可を得て牧場内の地質調査を実施した。以下に代表的な地点の記載をする。なお、地点1-2, 3, 4は空色沢の上流部の沢（ガリー）の谷壁であり、地点1-1と地点5は人工露頭である。地点1および3ではC14年代測定を行



図4 浅間家畜育成牧場の地形。

1：13号草地付近の起伏に富む地形（地点4の西方）、2：4-2号草地付近の起伏に富む地形（地点1の東方）、3：天丸山、画面左手は火山シェルター、4：17-5草地付近の起伏に富む地形（地点5の南方）

い、結果は較正年代 (calYBP) で表記する (図8)。前掛火山の降下火砕堆積物 (特にAs-A~As-B) についての詳細な記載は安井 (2015) を、C14年代の測定方法は安井 (2017) を参照されたい。なお東北東麓はAs-A'の分布軸の延長方向にあたるが、今回の調査地点では見出されなかった。

地点 1-1 : 採土場跡

地点 1-1は牧場で使用する土砂を採取した跡地で、元は比高10m以上のやや大型の地形的高まりである (図5-1)。付近の沢の谷底 (地点1-2) まで厚さ22m以上にわたって多くの堆積物が認められる (図5-2, 3)。地表より約5mまで黒色土壌がみられ、少なくとも9枚の降下火

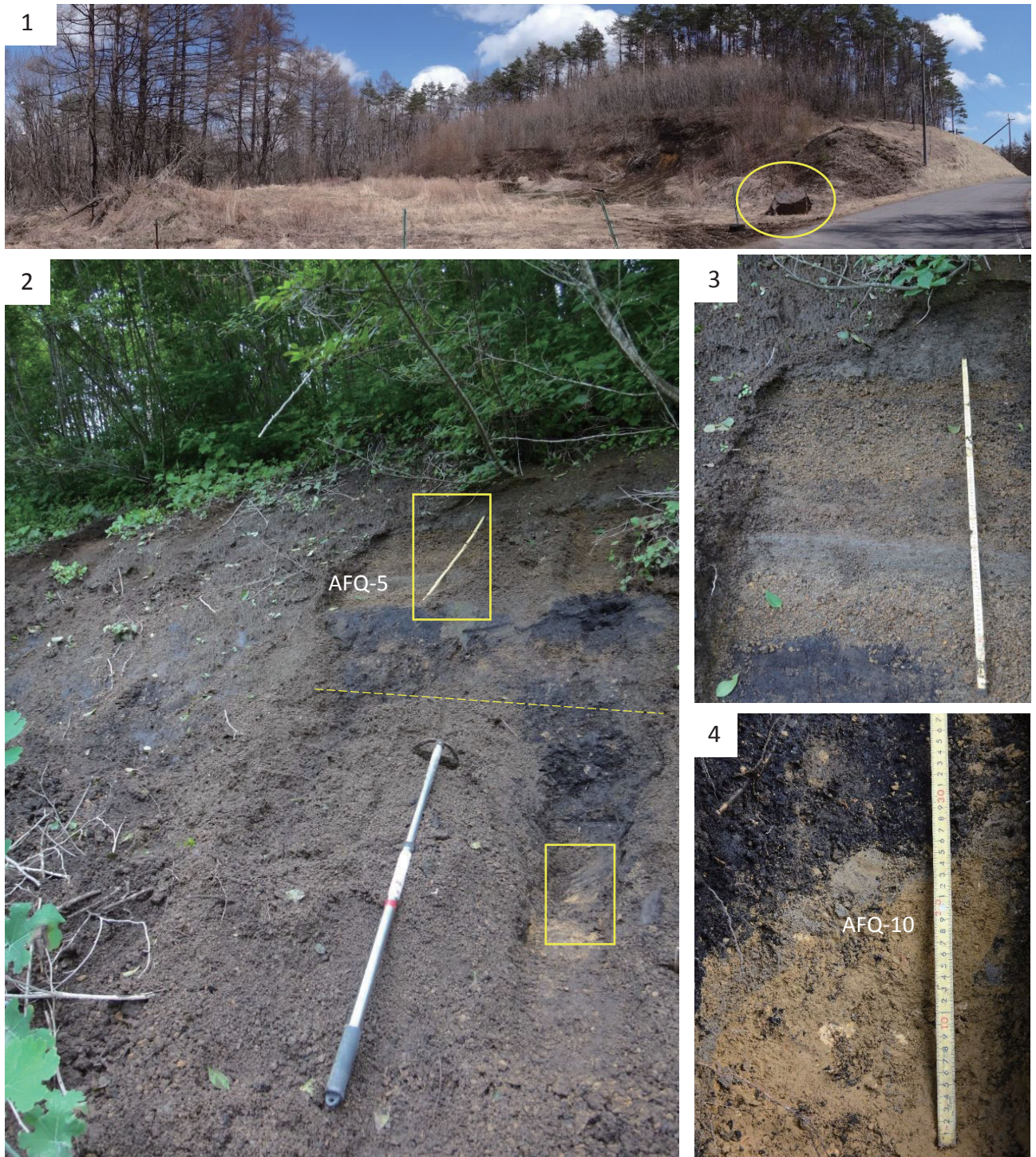


図5 浅間家畜育成牧場の地点1-1の堆積物。

1: 地点1-1全景 (○内は岩塊), 2: AFQ-5と下位の黒色土壌。上部の黄枠は写真3の範囲, 下部の枠は写真4の範囲を示す。
3: AFQ-5の近接写真。スケール: 1m。 4: AFQ-10の近接写真

砕堆積物が挟まれている。黒色土壌の同一レベルに軽石粒子が散在する場合も多い (AFQ-8, 9 など)。地表下約 16 cm に天明噴火の As-A が確認されるが、細粒火山灰を主とし、少量の軽石 (径 ~ 4 cm) が混じる。土壌を挟んで 12 世紀の As-B', 赤色火山灰, As-B が認められるが、As-B' の上面は作業道で人工的に削られているらしい。AFQ-5 は全体に成層構造が顕著で、粒径の異なる多くの降下単位から成る。軽石層が多いが、角張った暗灰色の岩片からなる層も数枚認められる。AFQ-3 は黄白色の軽石と同質の火山灰から成り基質支持である。AFQ-5 と 6 の間の黒色土壌からは極細粒砂サイズのバブルウォール型の火山ガラスが検出された (図 8 の写真)。この地点で測定した最も下位の AFQ-9 直下の土壌の C14 年代は 9430 calYBP を示した (図 8-Loc.1)。黒色土壌の下位の約 2.5 m は明黄褐色の火山灰および火山礫から成る (AFQ-10~13, 図 5-4)。AFQ-10 は細粒火山灰を主とし、泥サイズの粒子の割合が 52% である。AFQ-12 と AFQ-14 は岩相が酷似し、明黄褐色で無構造の火山灰から成り、ごく少量の丸味を帯びた軽石粒子を含む。AFQ-13 は礫支持の降下軽石で、粒径の違いから上下にわかれ、より粗い下部は最大 6 cm の軽石を含む。繊維状発泡の軽石も含まれ、また黒曜岩片も認められる。地点 1-1 では AFQ-14 の下部は植生に覆われ、基底は未確認である。

地点 1-2 : 地点 1-1 の西方の沢 (空色沢上流部)

地点 1-2 ではガリーの谷壁の幅 7 m, 高さ数 m ほどの範囲にとう汰の悪い堆積物 AFQ-15 が見られる (図 6-1)。拳大から最大径 1 m の角ばった火山岩塊を含む。火山岩塊は確認した限りすべて強溶結火砕岩であり、赤褐色の基地にレンズ状または縞状に暗灰色部が分布する (図 6-4)。基質は未固結の火山灰と火山礫から成り、場所により色調が不均一に変化する (図 6-2, 3)。風化の著しい軽石に富む部分や、スコリア質岩塊と同質の基質火山灰から成る部分、黒色土壌の部分などが局所的にみられ、変形した構造を呈する場合もある。地点 1-1 の道路脇には径約 1.8 m の岩塊が置かれているが (図 5-1 丸枠内, 6-4-3), 地点 1-2 の岩塊と同質の溶結火砕岩である。

地点 2 : 11 号草地付近ガリー

11 号草地付近のガリーの源頭部では右岸と左岸で出現する層が異なる部分が認められ、人為的な埋積や侵食の影響があるものとみられる。しかし北方下流側の谷壁には黒色土壌の下位に厚い明黄褐色の火山灰層が見られ、成層した火山灰層を挟んで、谷の下部に岩屑なだれ堆積物様の不均質な流れ堆積物が遠望される (図 7-1)。

地点 2 の周辺には浅い侵食地形があり、表土の下位に As-A から As-B' までを確認できる。

地点 3 : 9 号草地付近ガリー

地点 3 では高さ約 7.5 メートルの谷壁に多くの堆積物の断面が観察される (図 7-2)。地表から約 6 メートルまで黒色土壌と多くの降下火砕堆積物が見られる。As-B' の下位の赤色火山灰層は 20 枚以上の暗灰色岩片の降下単位から成るが、厚さ数 cm の褐色の軽石層を挟む。軽石粒子は最大径 2.5 cm で、As-B の軽石と同様の全岩化学組成を示す。As-B より下位の降下火砕堆積物を AF-9-1-5 とした (図 8-Loc.3)。AF-9-4 と 5 の間の黒色土壌から極細粒砂サイズのバブルウォール型ガラスが検出された。河床の直上には著しく成層した黄褐色の軽石層と火山灰の互層がみられる。この地点で測定した最も下位の AF9-5 直下の土壌の C14 年代は 8645 calYBP を示した (図 8-Loc.3)。

地点 4-1 : 13-5 号草地東方ガリー

黒色土壌に挟まる As-B より下位について、主に礫支持の軽石層から成る降下火砕堆積物を上から順に AF-13-5-1-5 まで 5 層にわけた。赤色火山灰の層準は 1 メートルと厚く、成層構造が著しい。AF13-5-3 と 5-4 の間の黒色土壌からバブルウォール型ガラスが検出された。黒色土壌の下位は、地点 1 や 3 と同様の産状の細粒の明黄褐色火山灰が谷底まで続く (図 7-3)。

地点 4-2 : 13-5 号草地東方ガリー

地点 4-2 は 4-1 の約 170 m 下流に位置し、全体に固結した角礫岩の岩塊が谷壁下部の崖錐中に突出する (図 7-4)。岩塊は径 5 cm 前後の角礫 ~ 亜角礫から成り、角礫の粒間には少量の基質火山灰が認められる。岩塊を構成する個々の礫は赤褐色の基地に暗灰色部がレンズ状に含まれる溶結火砕岩で多孔質である (図 7-5)。数メートルほど下流の谷壁には、5 cm 前後の粗大な黄白色の軽石から成る孀恋降下軽石 (YPK) が露出する。

地点 5 : 第 2 駐車場工事現場

2017 年 10 月の牧場の第 2 駐車場の新設工事の際の掘削により、地表から約 3 m までの堆積物が確認された (図 7-6, 7)。As-A は法面により厚さが 4 ~ 18 cm まで変化し、層厚の小さいところでは細粒火山灰を主とするが、大きいところでは火山灰層の上位に層厚 10 数 cm, 軽石径 ~ 4.2 cm の軽石層の降下単位が認められた。つまり狭い範囲での産状の変化が著しい。As-B' は 106 cm と厚

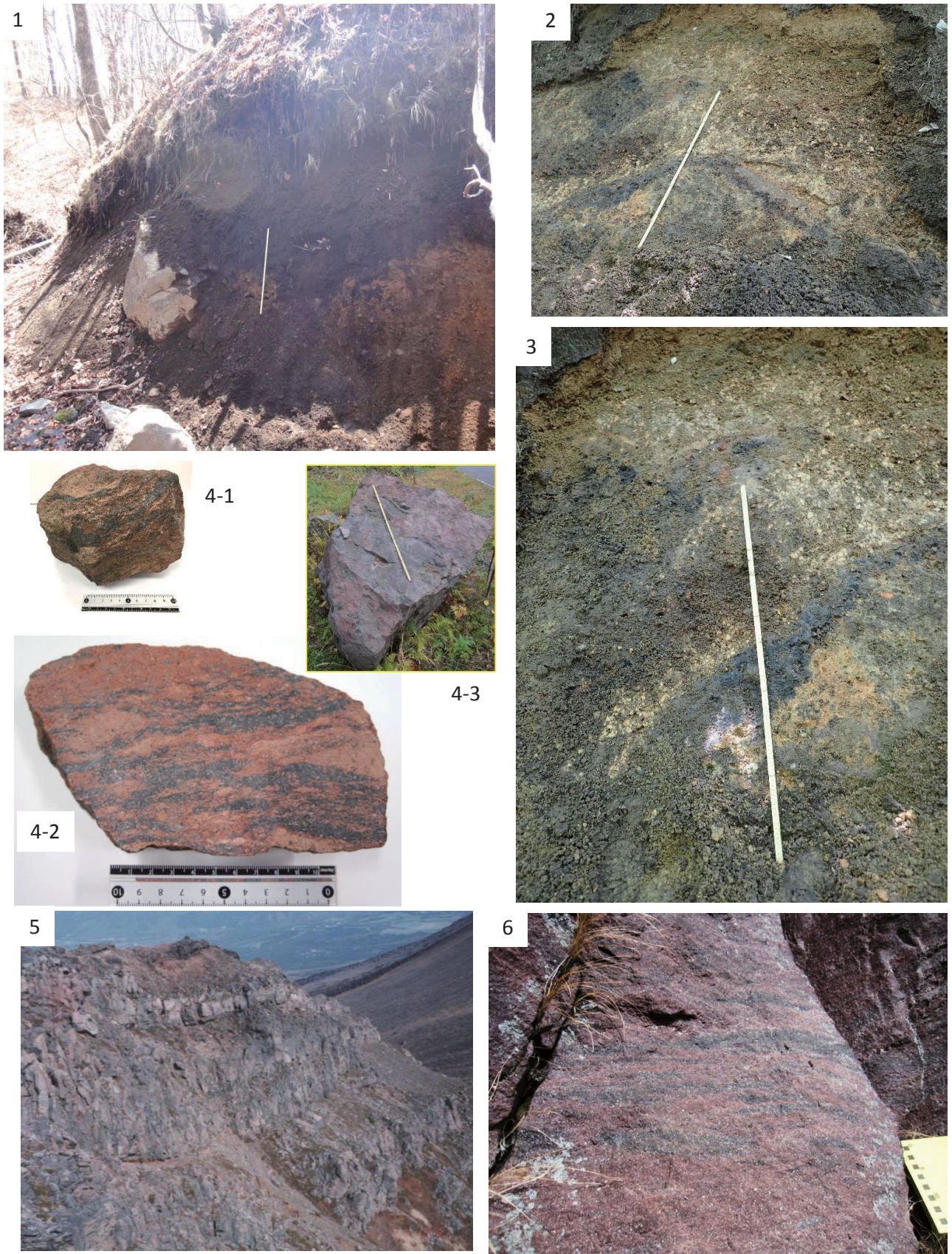


図6 浅間家畜育成牧場の地点1-2の岩屑なだれ堆積物.

1: 露頭全景. スケール: 1m, 2: 不均一な岩屑なだれ基質 (DM). スケール: 1m. 3: 写真2の部分拡大. 変形したソフトブロックに注意. スケール: 1m. 4: 岩屑なだれ岩塊 (DB) の標本写真. 表面 (4-1) と断面 (4-2), 4-3: 図5-1の丸枠内の岩塊の写真. 5と6: 馬蹄型カルデラ北端部の仙人岳 (図2のLoc. A) のアグルチネート (高橋・他, 2013参照)

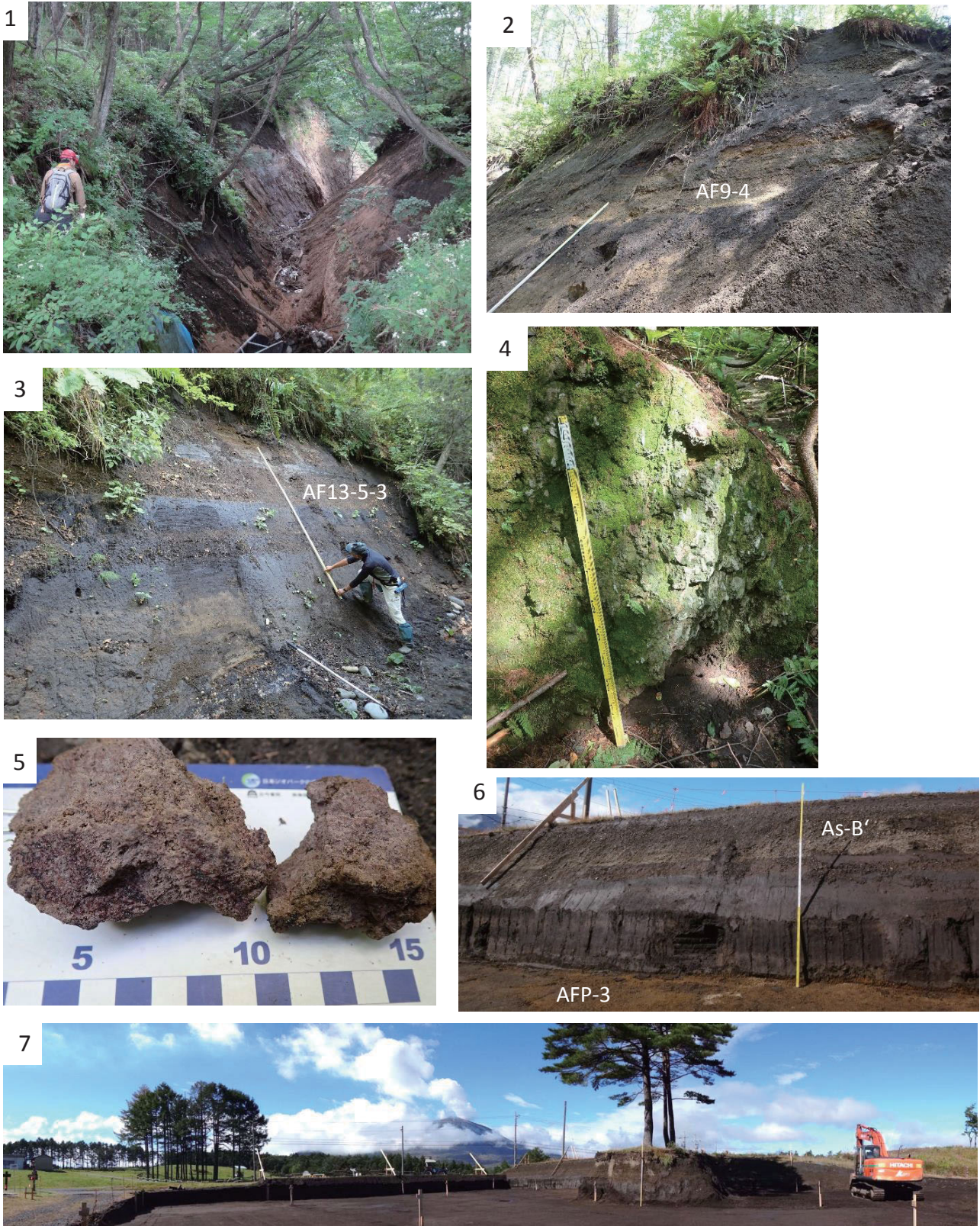


図7 浅間家畜育成牧場の露頭写真.

1: 地点2の沢. 画面手前が沢の源頭部, 2: 地点3 スケール: 3m, 3: 地点4-1. スケール: 3m, 4と5: 地点4-2に露出する火山角礫岩の岩塊と、岩塊を構成する礫の近接写真, 6と7: 地点5の工事現場写真. 掘り下げた地面がAFP-3の明褐色軽石層の全面露頭. 図8のLoc.5参照. スケール: 3m.

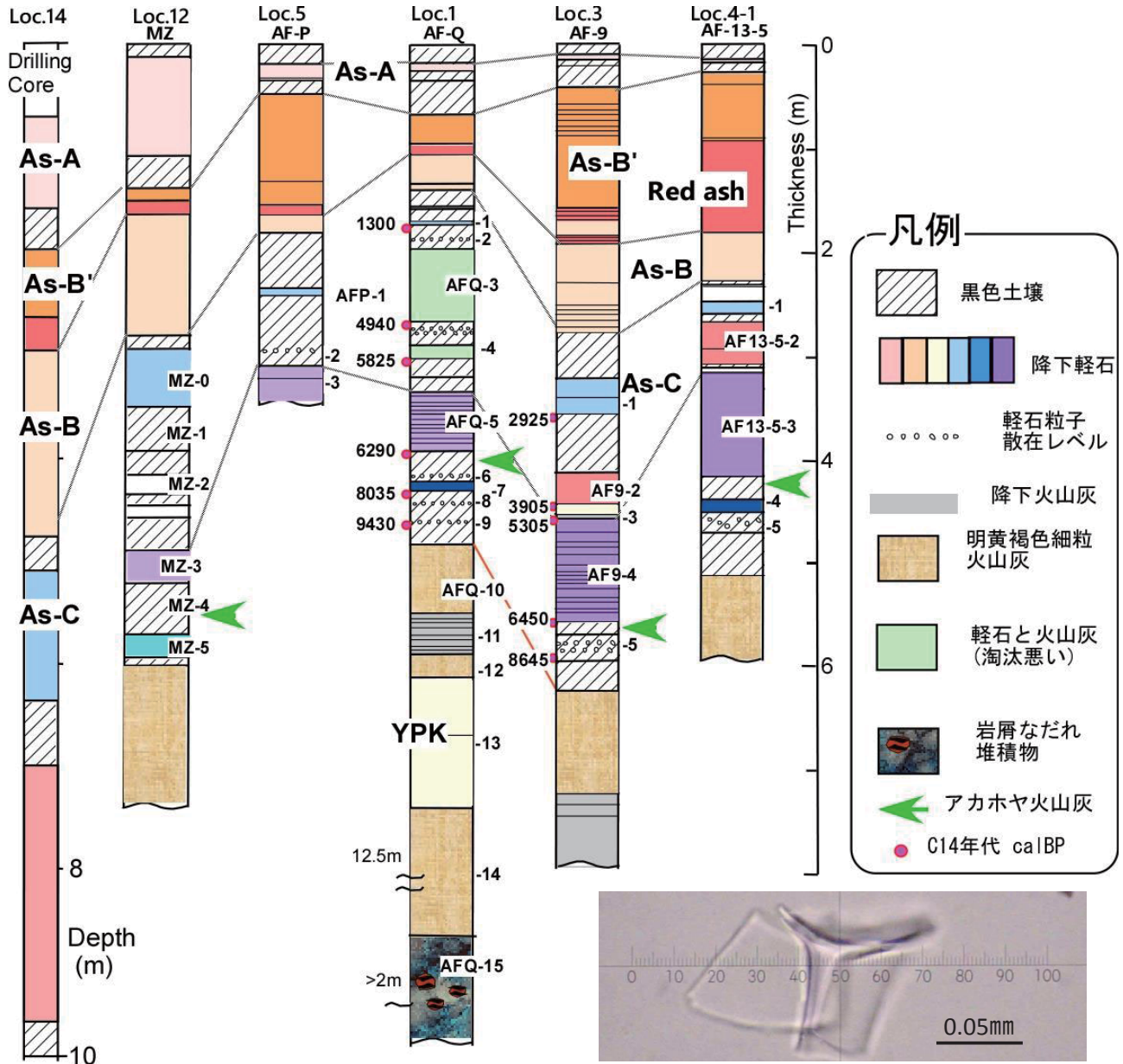


図8 調査地点およびボーリングコア試料の柱状図。

写真は地点1-1で検出されたアカホヤ火山灰 (KAh) の顕微鏡写真 (極細粒砂サイズ 63~125 μ m)

く、粗大な軽石粒子 (~12cm) を含む。As-B下位の黒色土壌にはAFP-1とAFP-2が挟まれる。前者は灰白色の火山灰を主とするが、局部的に軽石が濃集する。AFP-2は黄褐色の風化した軽石粒子が同一レベルに散在する。掘削面に現れたAFP-3の全面露頭は、明褐色の軽石から成り、礫支持である。

3-2. 東南東麓の地形と地質記載

県境の南の長野県側 (軽井沢町の範囲) は、八木 (1936) では長倉山と呼ばれているが、この一帯は湯川の北西側の高度山と南東側の鶴溜の山塊に大別される

(図2)。この一帯は3-1で前述した浅間家畜育成牧場と同様に表面の凹凸が著しく、地形図上でも円形や楕円形の閉じた等高線によって示される丘状の地形的高まりが多く確認される (図2で褐色に着色した領域)。凹凸に富む地形は、白糸の滝周辺から東方は鼻曲一留夫山直下の斜面まで広範囲に及ぶ。浅間隠山から一ノ字山にかけての西側斜面は、開析のすすんだ東側斜面に比べて緩傾斜で非対称な地形を呈する (図2-X, Y断面)。長倉山一帯は湯川とその支流によって下刻されているが、以下に示す各地点では谷地形の内側にとう汰の悪い流れ堆積物が認められる。特に小瀬林道 (長倉山併用林道) 沿いの湯

川の左岸では堆積物が断続的に露出するが、岩相の変化が著しい。小瀬林道については代表的な露頭について記載する。

地点6：白糸の滝入り口付近

色調の不均質な基質と角礫～亜角礫の緻密な岩塊から成り、植生に覆われているが、堆積物全体の厚さは数メートル以上あると推定される(図9-1,2)。

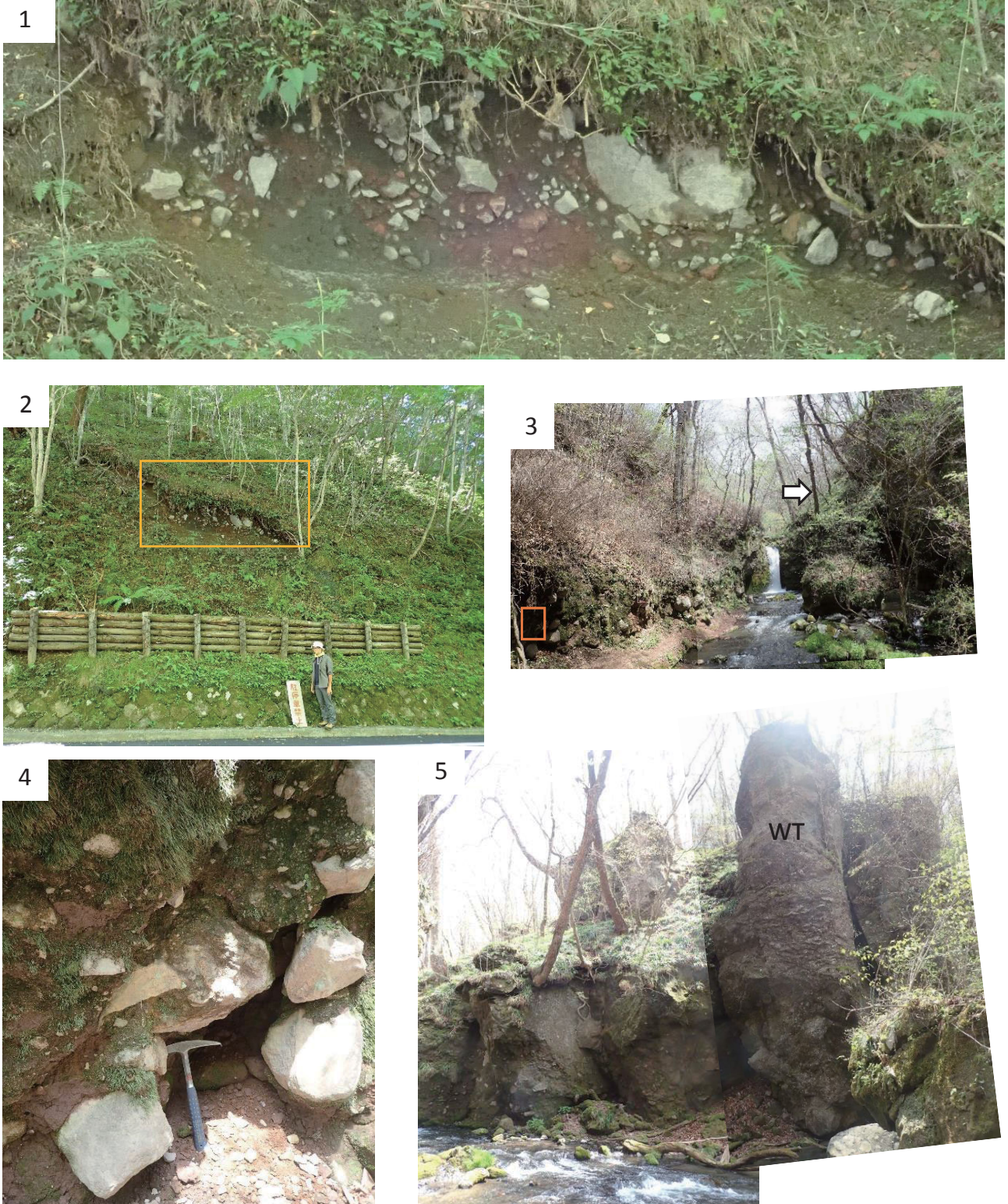


図9 東南東麓における岩屑なだれ堆積物の露頭写真。

1：地点6，2：地点6の全景，黄枠が写真1の範囲，3：竜返の滝（地点7）の全景，矢印は写真5の視野を示す，4：写真3の黄枠部分の拡大，谷埋め状の流れ堆積物の近接写真，スケール：33cm，5：湯川の左岸，溶結凝灰岩（WT）に谷埋め状の流れ堆積物（画面左手下方）がアバットする。

地点7：竜返の滝

竜返の滝周辺では、谷地形の内側に流れ堆積物がアバット不整合で接している(図9-3)。谷壁には柱状節理の発達する溶結凝灰岩が高さ10m以上にわたって露出し(図9-5)、谷を埋める流れ堆積物は現在の湯川により下刻されている。谷埋め状の堆積物はとう汰が悪く、赤褐色の岩塊と同質の基質から成り、全体に未固結である(図9-4)。岩塊は垂角礫～角礫の溶結火砕岩で、赤褐色の基地に暗灰色部分がレンズ状に分布する溶結構造を示す。竜返の滝はこの流れ堆積物に懸かっている。

地点8：小瀬林道沿い

林道沿いに色調の不均一な未固結の基質部分と角張った溶岩片の岩塊が認められる(図10-1)。多数の礫と少量の基質火山灰が固結した火山角礫岩の岩塊も見られる(図10-2)。

地点9：小瀬林道沿い

林道沿いに緻密で暗灰色の溶岩塊が露出する。ジグソークラックが発達する岩塊もある(図10-4, 5)。さらに斜面上方にも緻密で暗灰色の溶岩塊が幅20m以上にわたり露出する。

地点10：小瀬林道沿い

林道沿いの数メートル四方の範囲に、暗灰色の安山岩質岩片と暗灰色の基質から成る未固結の堆積物が見られる(図10-3)。岩片は緻密で斑晶に富み、斜長石よりも粗大な輝石を特徴的に含む。地点10の南方では板状節理の発達する大型の溶岩塊が見られる(図10-6)。

地点11：野鳥の森入り口・ケラ池向かい

とう汰の悪い流れ堆積物と露頭上部に降下火砕堆積物がみられる。前者は露出する範囲で厚さが約5.7mあり、基質の色調と岩相が変化し、全体に不均質である(図11-3, 4)。岩塊は角礫～垂角礫で、暗灰色で緻密な溶岩片や赤褐色で多孔質なものなど多様である。この堆積物を厚さ数cmの火山灰層が直接覆い、さらに厚さ約1.2mの軽石層が覆う。軽石層は礫支持で、灰白色の数cm大の軽石から成る。

地点12：万山望林道の採石場跡地

地点12と地点13はそれぞれ高度山の斜面に発達する谷の上部斜面と谷底に位置する(図2)。地点12は長倉山国有林の万山望林道沿いの採石場跡地(図11-1)であり、厚さ6mにわたって黒色土壌と降下火砕堆積物が認

められる。柱状図(図8)に示したMZ-0,2,3,5は礫支持の降下軽石の層である。MZ-3とMZ-5の間の黒色土壌からバブルウォール型ガラスが検出された。前掛火山の時代の黒色土壌層の直下に、厚さ1.7m以上の明黄褐色の火山灰を主とする堆積物が認められ、極少量の角のとれた軽石と炭化木片が含まれる。

地点13：地点12の南東約360mの谷底

地点12の南東側の谷底に火山角礫岩の岩塊や緻密な溶岩塊が点在する。溶岩塊にはジグソークラックが認められる(図11-2)。

地点14：万山望北西ボーリング

文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト(課題C-2)により、2018年9月に山頂火口の東南東5.5km(万山望北西の長倉山国有林内、標高1,344mの地点)で深度50mのボーリング掘削が実施された。コア試料の柱状図を図12に示す。表層から70cmは人工土で、それより約10mまでは軽石を主とする降下火砕堆積物と黒色土壌の互層である。深度10～23mは軽石質で、粒径や暗灰色の石質岩片の含有量の違いにより成層構造を示す。礫支持の降下軽石とみられる層が複数認められる。深度15.9mの土壌のC14年代は2.3calYBPを示す。23m以深はコアの下底の50.2mまで不均質な岩相を呈し、数メートル以上同じ岩相が続く部分が多い(図13)。赤褐色の火山礫と同質の火山灰から成る部分が多いが、多種の礫を含み基質の色調の変化が著しい部分も認められる(図13-1, 4)。また白色の粘土質の基質中に変質した火山岩を含む部分(図13-2)も特徴的である。暗灰色で緻密な溶岩様部も4層準に認められるが、それぞれ上下にクリンカーに漸移せず、端は破碎している。ジグソークラックの見られる火山礫や岩塊もある(図13-1)。

4. 全岩化学組成

浅間火山の噴出物については多くの全岩化学組成が報告されている(高橋・他,2008, 2018など)。ここでは岩層なだれ堆積物に含まれる岩塊と地点11の降下軽石の全岩主化学組成分析を行った。6倍希釈のガラスビードを作製し、東京大学地震研究所の蛍光X線分析装置(RIGAKU ZSX Primus II)を用いて外西・他(2016)の方法により分析を行った。

SiO₂-MgO変化図において地点8と10の岩塊は牙溶岩グループ、地点1-2と7は仙人溶岩グループ、地点14のボーリングコア試料(深度30.6m, 34.5m, 38.5m, 48.7mの溶岩塊)は三ツ尾根溶岩グループの組成領域にプロッ

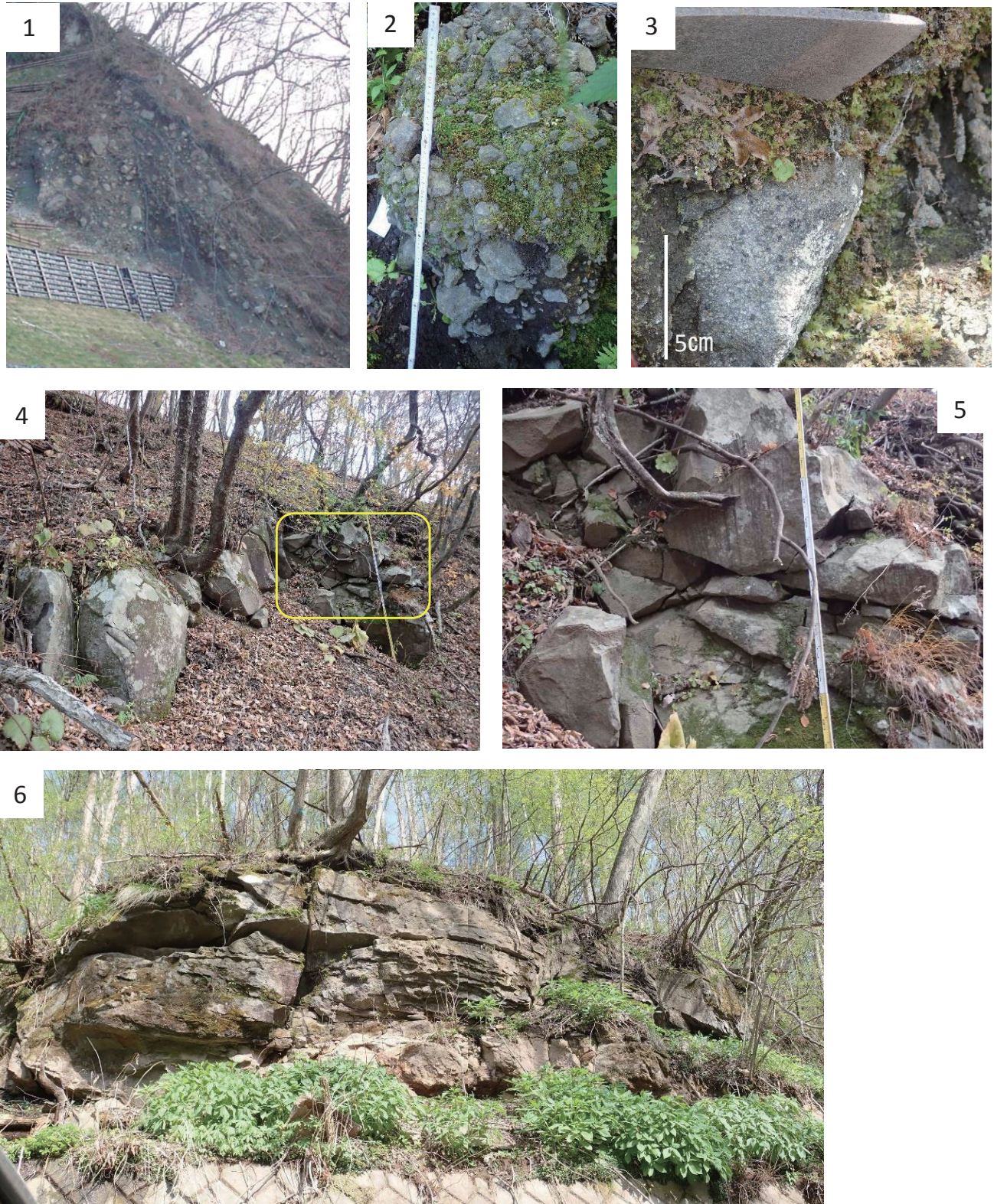


図10 東南東麓における岩屑なだれ堆積物の露頭写真.

1：地点8全景，2：地点8における火山角礫岩の岩塊．複数の礫と基質から構成される．3：地点10にみられる粗大な輝石斑晶を含む溶岩片，4：地点9のメガブロック．スケール：3m．5：写真4の黄枠部分の拡大．緻密溶岩塊に発達するジグソークラックに注意．6：地点10南方の大型の溶岩塊．板状節理が発達する．



図11 東南東麓における露頭写真.

1: 万山望林道沿いの採石場跡 (地点12). 人物の足首より上方は前掛火山の降下火砕堆積物. スケール: 3m. 2: 地点13の谷底に露出する溶岩塊. ジグソークラックが発達する. スケール: 1m. 3: 地点11の岩屑なだれ堆積物とその上位の降下火砕堆積物. 4: 写真3の黄枠の拡大. 不均質な岩屑なだれ基質. スケール: 39cm

トされる (図14)。これらは全岩化学組成でみる限りは黒斑火山由来であると考えても矛盾はない。また地点11の降下火砕堆積物を構成する軽石粒子は、高橋・他(2008)により示されたBPと同じ組成領域にプロットされる (図14)。南東麓の軽井沢駅東方では、塩沢岩屑な

だれ堆積物が板鼻褐色軽石のBP-5に覆われるとの報告例がある (竹本・久保, 2003)。前述のようにBPは降下単位が多く、今後等層厚線図を作成して個々の分布を明らかにする必要がある。しかし地点11は山頂部と軽井沢駅東方の地点を結ぶ線上にほぼ位置するため、予察

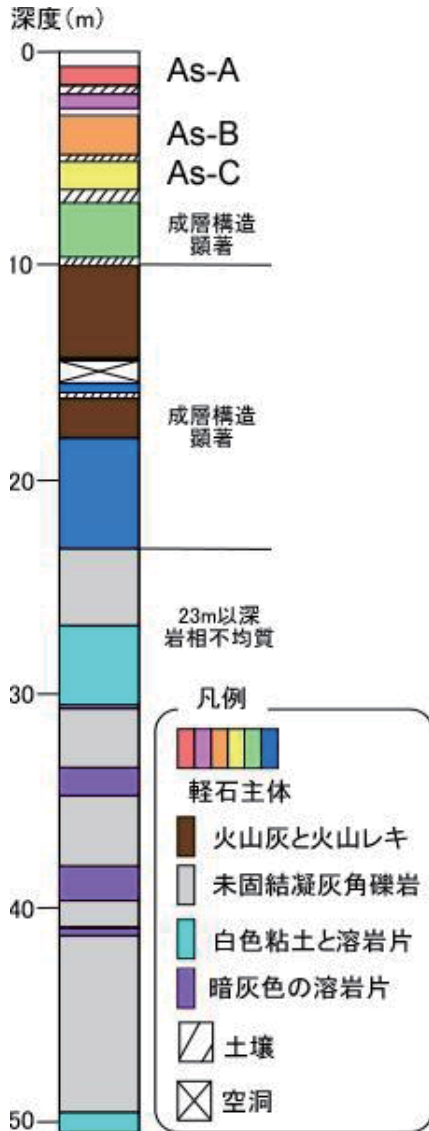


図12 地点14・万山望北西ボーリングコア試料の柱状図。

的ではあるが、地点11の降下軽石層は軽井沢駅東方で岩屑なだれ堆積物を覆う軽石層に対比される可能性がある。

5. 考察

5-1. 黒斑火山馬蹄型カルデラの東方における岩屑なだれ堆積物の再発見

黒斑火山の山体崩壊による岩屑なだれ堆積物についての従来の研究の多くは、浅間火山山頂部より10km以上離れた地域を対象としていた(図1)。黒斑の火山体およびその周辺では、より新しい時代の仏岩火山および前掛火山が形成されて、それらの噴出物が分布するため、10km以遠に分布する岩屑なだれ堆積物と黒斑山頂部の馬蹄型カルデラの関係が明瞭ではない。八木(1936)の地質図には馬蹄型カルデラの東方の10km以内の範囲に

“火車岩屑流”の分布が示されているが(図2)、堆積物の記載はほとんどない。本研究では、複数地点で浅間前掛火山と仏岩火山の噴出物の下位に、とう汰の悪い流れ堆積物が広く分布することを確認し、記載した。以下に述べるように、それらの産状は岩屑なだれであることを示している。また堆積物に含まれる岩塊の全岩化学組成は、黒斑火山の噴出物の複数の溶岩グループの組成範囲と一致するため、黒斑火山に由来することの強い状況証拠となる。以上より、今回の調査では八木(1936)の“火車岩屑流”に相当する堆積物が確認されたものと考えられる。

まず東北東麓の浅間家畜育成牧場の地点1-2では、確認された堆積物の層序的に最下部に岩屑なだれに特有の岩相を示す堆積物が認められた。基質の色調や岩相が不均一で、火山灰や軽石から成る未固結物質の領域(ソフトブロック)が複雑に分布する。また地点1-2と地点4-2ではいずれの岩塊も赤褐色の基地に暗灰色の扁平な礫が含まれる強溶結火砕岩の特徴を示し、黒斑・仙人岳で見られる産状(図6-5, 6)(高橋・他, 2013)と同様である。また地点1-2の岩塊の全岩化学組成は、仙人溶岩グループ(高橋・他, 2008)と同様であり、黒斑・仙人火山に由来する山体崩壊の産物(岩屑なだれ堆積物)であることが示唆される。従って、浅間家畜育成牧場で顕著にみられる起伏に富む地形は、岩屑なだれ堆積物の表面の凹凸を反映したものと解釈される。特に地形図上で円形や楕円形に閉じた等高線によって示される丘状の地形の高まりは、大型の岩屑なだれ岩塊(DB)が原地形になっていると考えられ、比高~40mの天丸山がその代表例といえる。南軽井沢地域では流れ山地形の間の凹部を火砕流堆積物と湖沼堆積物などが埋めていると考えられている(宇野沢・坂本, 1972)。一方、5-2で後述するが、浅間家畜育成牧場では基本的に降下火砕堆積物が岩屑なだれ堆積物の表面の起伏を覆っている(mantle bedding)と考えられる。

次に東南東麓(長野県側)であるが、地形的に丘状の地形高まりが多く分布する点で、東北東麓と共通する。湯川沿いの小瀬林道ではジグソークラックの発達する岩塊など岩屑なだれに特有の産状の堆積物が谷地形にアバットする形でみられ、岩塊は黒斑の牙・剣ヶ峰溶岩グループと同様の全岩化学組成を示した(地点8, 10)。また高度山の斜面に発達する谷の底(地点13)にもジグソークラックの見られる緻密な溶岩塊や固結した火山角礫岩の岩塊が露出する(図11-2)。図10-5のような割れ目は溶岩の節理のみでは考えにくく、山体崩壊で地滑りに滑り出した岩体が岩屑なだれ岩塊に分裂する際に、



図13 地点14・万山望北西ボーリングコア試料の代表的深度の写真.

1: 深度24~27m, 2: 27~30m, 3: 33~36m, 4: 48~50.2m

大きな剪断力によってジグソークラックが生じるという描像 (Takarada *et al.*, 1999) によって理解できるとみられる。地点7の竜返の滝が懸かる堆積物は赤褐色の基質と溶結火砕岩の岩塊から成る。溶結火砕岩である点が地点1-2や地点4-2のものと共通し、地点7の岩塊も仙人溶岩グループの組成を示す (図14)。なお八木 (1936) は、

竜返の滝は火車爆発の集塊岩に懸かるとしているが、地点7では岩塊は同一岩種で基質も均一であるため、岩屑なだれ堆積物の一部であるか否かは周囲の堆積物との関係をよくみて判断する必要がある。

以上をまとめると、調査地点の多くで岩屑なだれ堆積物の上部に近い部分が現在の谷底や谷壁において確認さ

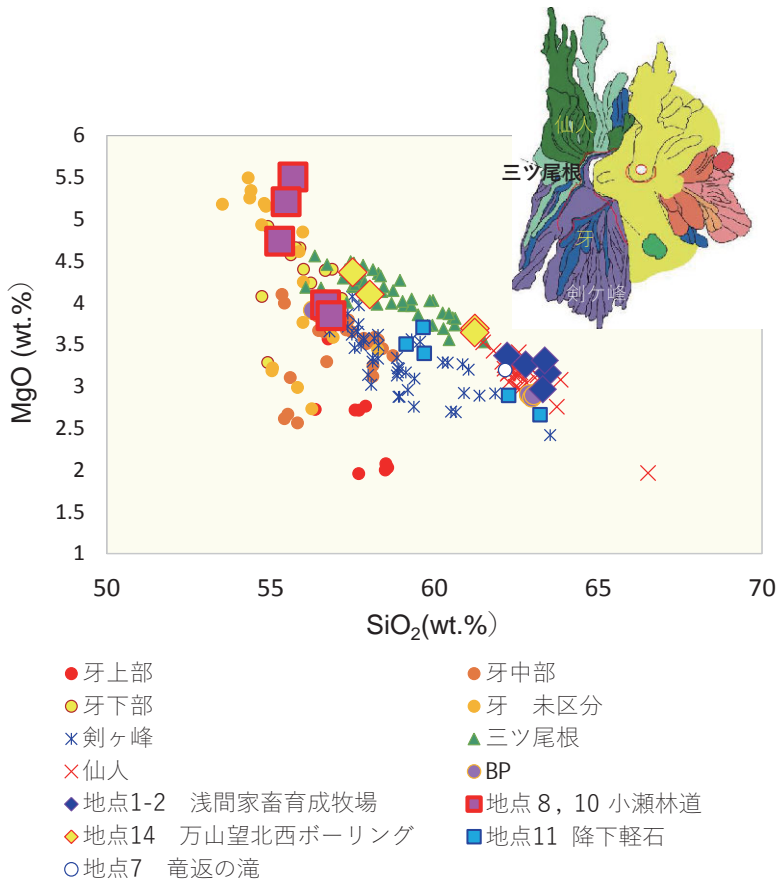


図14 全岩SiO₂MgO変化図。

黒斑火山の噴出物と本研究の調査地点の試料の比較。
地質図と黒斑火山の溶岩グループ区分(右上)は高橋・他(2018)のFig.2に加筆したもの。

れたものとみられる。堆積物の厚さに関する情報は少ないが、地点14のボーリング掘削調査では岩屑なだれ堆積物が厚さ27m以上あるものと推定される。コア試料では数メートル以上同じ岩相が続く場合が多いことから、複数のメガブロックあるいは成層火山体の構造を残した大型の岩屑なだれ岩塊(DM)を掘削した可能性がある。緻密な溶岩塊が見られる深度については、それぞれ上下が角礫状で、クリンカーに漸移する産状ではないため、周縁部が破碎した溶岩のメガブロックであるとみられる。なおコア試料の4つの深度の緻密な溶岩片はいずれも三ツ尾根溶岩グループと同様の組成を示した。

以上より、馬蹄型カルデラの東方には黒斑火山の岩屑なだれ堆積物が数10mかそれ以上の厚さで堆積していると考えられる。図2のYY'断面でみると、小瀬林道付近の湯川の谷は70~100m程度侵食されているらしいことから、山体崩壊の直後は岩屑なだれ堆積物によって厚く埋め立てられたようである。またこの断面図では湯川の東方、一ノ字山にかけての斜面も凹凸に富むことから、鶴溜の山塊の北側部分まで岩屑なだれが堆積した可

能性がある。地点11でも確認されることも考え合わせると、岩屑なだれ堆積物は八木(1936)の推定(図2)より広い範囲に分布するらしい。南北に伸長する鼻曲火山の西側斜面は開析のすすんだ東側斜面に比べて緩傾斜で、非対称な地形を呈する(図2のX,Y断面,図3-6)。特に一ノ字山の西側斜面は、表面が比較的平坦で、谷の発達する東側斜面と対照的である。このことから、浅間火山に面した西側斜面に岩屑なだれが乗り上げる形でアバットして堆積している可能性がある。1~3Maの火山岩から成る基盤山地は、北東から南方にかけて浅間火山の東麓を縁取るように分布しており(図1)、こうした山地の周辺で岩屑なだれ堆積物の分布調査をする必要がある。今後、給源から10数km程度の範囲において岩屑なだれ堆積物の分布と厚さなどの実態が詳しくみえてくれば、遠方の堆積物も含め、山体崩壊の規模の評価にもつなげられるだろう。なお本研究では浅間火山の基盤の「浅間牧場溶岩」や「高度火山」とされる連続した溶岩の岩体は確認されなかった。つまり現状では、岩屑なだれ堆積物を含む黒斑火山の噴出物と基盤岩の直接的な関係や黒斑火山の裾野の東縁に関する情報がほとんど得られていないことも今後の課題として指摘される。

5-2. 浅間火山東麓の表層地質に関する新発見

本研究では岩屑なだれ堆積物の地質調査の過程で、表層部分の地質についても情報が得られた。東北東麓の浅間家畜育成牧場では、前掛火山の降下火砕堆積物を挟在する黒色土壌の基底部(仏岩火山の噴出物の上面との境界)は地表から5~6mにある(図8)。一方、東~東南東麓でのボーリング掘削(地点14)では、これまでに作成した前掛火山の降下火砕堆積物の等層厚線図(安井, 2015, 2017)や周辺露頭との関係から、地表から約10mまでが前掛火山の降下火砕堆積物と考えられる(図12)。As-A, As-B, As-Cの層厚が厚く、As-Cの基底は6m以深である。これらは分布主軸が東~東南東方向にあり(安井, 2015)、過去の大規模噴火の際の上空の風向の卓越方向の風下に掘削地点が位置したことを示している。同様に地点12でもAs-A, As-B, As-Cが厚く(図8, 図11-1)、東北東麓に比べて噴煙からの火砕物の堆積量が多

かったといえる。As-Cより下位は地表の露頭ではなかなか露出しないが、今回複数の良好な露頭とボーリング掘削調査の機会に恵まれたため、得られた知見を以下にまとめる。

5-2-1. 東北東麓の表層地質

東北東麓の地点1-1, 3, 4-1で黒色土壌から極細粒砂サイズのバブルウォール型火山ガラスが検出された。これは南東麓のM72地点で検出されたもの(安井, 2017)と同じ産状で、鬼界カルデラ由来の約7300年前の広域テフラ・アカホヤ火山灰(K-Ah)に対比される。その層準は地点1-1および地点3のC14年代測定結果とも矛盾しない(図8)。アカホヤ火山灰が検出された黒色土壌の上位の降下火砕堆積物(AFQ-5, AF9-4, AF13-5-3)は主に明褐色の軽石層から成り、灰色の岩片層を挟むなど降下単位が多い共通点があり、地点間の対比が可能とみられる。地点5のAFP-3も同様に明褐色の軽石から成り、層位からみてAFQ-5, AF9-4, AF13-5-3に対比される(図8)。東南東麓の地点12においても、アカホヤ火山灰の検出される土壌層の上位に類似の岩相の軽石層(MZ-3)が認められ、対比可能とみられる。地点1と地点3における軽石層直下の土壌のC14年代測定結果から、噴出年代は6200年前頃(縄文時代前期)と考えられる。これは南方のMyおよび北方のUB(安井, 2017)と同時代に東北東方向にも降下火砕堆積物がもたらされたことを示す。以上より、東北東麓の浅間家畜育成牧場の範囲については、約1万年前より現在までの前掛火山の時代において降下火砕物の堆積量が多いのは縄文前期と12世紀(As-B'とB)であるといえる。

仏岩火山の時期については、地点1-1, 3, 4-1において、浅間前掛火山の基底の黒色土壌の下位に1m前後の厚さの明黄褐色の細粒火山灰が特徴的に認められた。その粒子は顕微鏡下では無色の軽石型ガラスや繊維状のガラスが主である。地点1-1のAFQ-10では泥サイズの粒子の割合が52%であり、細粒粒子が主である。詳細は別途報告予定であるが、地点1-1のAFQ-10と同様の層位・岩相の堆積物が北方でも見られ、約2km北方の地点では泥サイズの粒子が71%、約5km北方の地点では58%含まれる。Murai(1961)による粒度分析結果をみると、山麓の軽石流堆積物(荒牧(1993)の小諸第1軽石流に相当)に含まれる泥サイズの粒子は20%以下であることが大半である。このため、泥サイズの粒子に富むAFQ-10は、軽石流の灰かぐら火山灰(co-ignimbrite ash)である可能性がある。この場合、軽石流の本体は台地状の牧場(図1-ZZ'断面)の周囲の低地に流下し、そ

の灰かぐら火山灰が地形的高所を覆ったものとみられる。しかしながら二次的な風成層の可能性も否めないため、成因についてはさらに検討が必要である。AFQ-10より下位には孀恋降下軽石(YPK)がみられ、地点3では成層した降下火山灰層が認められる。以上より、牧場の範囲では表層部20mほどは降下火砕堆積物を主とするらしいことがわかった。

5-2-2. 東南東麓の表層地質

地点12では前掛火山の時代の黒色土壌の下位に、明黄褐色の火山灰を主とする堆積物が認められる。少量ではあるが角のとれた軽石と炭化木片が含まれることから火砕流堆積物であるとみられる。その下位は崖錐に覆われて不明であるが、地点13の谷底に火山角礫岩や緻密な溶岩塊が露出し、岩屑なだれ堆積物の上面とみられることから、その間の標高差約70mには小諸第1軽石流などの仏岩火山の噴出物が堆積している可能性がある。一方地点14のボーリングコア試料では、前掛火山の堆積物の基底から岩屑なだれ堆積物の間に、軽石を主とする堆積物が約10mにわたって見られる。特に岩屑なだれの直上の約5m(深度18~23m)は粒径の異なる礫支持の軽石層が20枚以上見られる。岩屑なだれ堆積物を直接覆うことと、深度15.9mの土壌のC14年代が2.3calYBPを示すことから板鼻褐色軽石(BP)の降下単位に相当する可能性がある。なお地点14における仏岩火山の噴出物の厚さは地点12~地点13の谷と比べるとかなり薄いようである。

以上を俯瞰すると、浅間家畜育成牧場とその周辺地域の表層地質に関して、前掛火山の時代については実態がみえ始めてきたといえよう。一方、仏岩火山の時代については情報が少なく、継続的に手掛かりを集める必要がある。

6. まとめ

- 1) 浅間黒斑・仙人火山の山体崩壊に関して、馬蹄型カルデラの東方、現在の山頂火口からの距離5~9km程度の山麓で地質調査を行ったところ、過去2万年間にもたらされた堆積物の下位に岩屑なだれに特有の産状を示す堆積物が多く地点で認められた。八木(1936)が地質図に示した“火車岩屑流”に相当する堆積物を実際に確認できたものとみられる。
- 2) 東北東麓の浅間家畜育成牧場では、黒斑・仙人溶岩グループと同様の全岩化学組成・岩質を示す溶結火砕岩の岩塊を多く含む岩屑なだれ堆積物が谷底に

確認された。東南東麓の長倉山国有林とその周辺では黒斑火山の牙・剣ヶ峰溶岩グループおよび三ツ尾根溶岩グループと同様の化学組成を示す岩塊が谷底やボーリングコア試料で確認された。

- 3) 本研究の調査範囲は特徴的に起伏に富むが、黒斑火山の山体崩壊による岩屑なだれ堆積物の表面の凹凸が原地形となっていると考えられる。ボーリング掘削地点(現在の火口の東南東5.5km)では岩屑なだれ堆積物は27m以上の厚さがある。コア試料では同様の岩相が数メートル以上連続する場合が多いことから、大型の岩屑なだれ岩塊が複数掘削されたらしい。
- 4) 岩屑なだれ堆積物の上位は、より新しい時代の堆積物に厚く覆われるが、東北東麓の浅間家畜育成牧場の表層部は、仏岩火山と前掛火山の主として降下火砕堆積物によって最大20mほど覆われている。18世紀や12世紀の前掛火山の大規模噴火による降下火砕堆積物が厚く分布する東南東麓のボーリング

地点では、前掛火山と仏岩火山の堆積物の境界は深度10mで、牧場の5m前後より深い。

謝 辞

群馬県浅間家畜育成牧場の原田昌季場長、板垣光明次長、元職員の小林一雄氏、長野原町教育委員会の萩原喜隆氏(元企画政策課)、東信森林管理署には地質調査の際に多くの便宜を図っていただきました。大日建設株式会社の大林博美氏と軽井沢町教育委員会の佐藤幸信氏には露頭情報をはじめ多くをご教示いただきました。熊本大学教育学部の宮縁育夫博士、浅間北麓ジオパークのガイドの方々(黒岩俊明氏、土屋茂次氏、松本智之氏、嶋村明氏)には調査の際にお手伝いいただきました。全岩化学分析では地球科学科の学生諸氏がピード作製を担当し、また共同利用で東京大学地震研究所の装置を使用させていただきました。年代測定では、日本文理学部の個人研究費と東京大学客員教員の研究費を使用しました。ボーリング掘削調査は、文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの課題C-2「噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成」によりすすめられました。

以上の方々および機関に深く感謝いたします。

引用文献

- 新井房夫(1962) 関東盆地北西部地域の第四紀編年. 群馬大学紀要自然科学編, vol.6, p.1-79.
- 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, 45p. 地学団体研究会.
- 荒牧重雄(1993) 浅間火山地質図.地質調査所, 6.
- 早川由紀夫(2007) 浅間火山北麓の2万5000分の1地質図. NPO法人あさま北麓スタイル.
- 外西奈津美・安田 敦・中田節也(2016) ガラスピード法による蛍光X線分析装置(XRF)を用いた珪酸塩岩石の主・微量成分分析. 地震研究所彙報, 90, 1-14.
- Murai, I. (1961) A study of the textural characteristics of pyroclastic flow deposits in Japan. *Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo Univ.*, 39, 133-248.
- 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一分析データ288個の総括一, 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一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一日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 48, 141-168.
- 高橋正樹・菊池雅之・折戸功一・安井真也・金丸龍夫・竹本弘幸(2018) 浅間黒斑・仙人火山大規模山体崩壊堆積物に含まれる火山岩塊の全岩主化学組成一分析データ148個の総括と火山岩塊の起源について一, 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, 53, 51-75.
- Takarada, S., Ui, T., and Yamamoto, Y. (1999) Depositional features and transportation mechanism of valley-filling Iwasegawa and Kaida debris avalanches, Japan. *Bull Volcanol*, 60, 508-522
- 竹本弘幸・久保誠二(1995) 群馬の火山灰. みやま文庫, 180p.
- 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.
- 八木貞助(1936) 浅間火山(付浅間火山地質図). 信濃教育会, 533p.
- 安井真也(2015) 降下火砕堆積物からみた浅間前掛火山の大規模噴火. 火山, 60, 211-240.
- 安井真也(2017) 浅間前掛火山12世紀以前の噴火履歴復元の手がかり一御代田軽石を中心とした新知見一. 火山, 62, 117-134.
- 宇野沢昭, 坂本亨(1972) 長野県, 南軽井沢周辺の最近の地史. 地質雑, 78, 9, 489-494.