

近接空撮画像と航空レーザー計測点群を用いた富士山一七〇七年宝永噴火の火口近傍堆積物の層序と形成過程

小山真人 Masato Koyama

静岡大学防災総合センター

Stratigraphy and formative process of the proximal deposits of the 1707 CE Hiei eruption, Fuji Volcano, based on field geological survey combined with photogrammetry and terrain analysis using aerial photos and LiDAR point cloud

一七〇七年富士山宝永噴火を起こした火口は、これまで南東山腹にある火口列（宝永第一〜第三火口）とされ、その脇にある宝永山は噴火中のマグマの突き上げによって古い地層（古富士火山の一部）が隆起したものと解釈されていたが、その証拠は十分でなく疑問点もあった。今回、野外地質調査に加えて UAV による近接航空写真撮影とそのフォトグラメトリ分析や、航空レーザー測量によって得られた高密度点群データにもとづく地形分析も実施した結果、宝永噴火の火口近傍堆積物がつくる地形・層序と、それらを形成した噴火の詳細な過程を、給源火口の移動も含めて明らかにすることができた。宝永山が、宝永噴火で放出された火砕物が降り積もってきたことも裏付けられた。

キーワード：赤岩 宝永山 火山地質 地形分析 UAV

はじめに

富士山の南東山腹には、一七〇七年の宝永噴火を起こした「宝永火口」が三つ並ぶとされ、形成順序とは関係なく北西から第一火口・第二火口・第三火口と呼ばれてきた（図1）。第一火口東縁のピーク（標高二六九三メートル）は宝永山と呼ばれ、その山頂付近には「赤岩」と呼ばれる凝灰角礫岩（以下、赤岩凝灰角礫岩 Akaiwa Tuff Breccia : ATB と呼ぶ）が露出する。

ATB は、(1)黄褐色を帯びて固結度が高く、それを覆う新鮮・未固結の黒色火砕物とは異質に見えること、(2)宝永火口周辺の富士山腹の

南東傾斜とは不調和な南西方向に傾斜すること、(3)周囲には見られない多数の「断層」が観察されることから、古富士火山時代の古い地層（旧期火山砂礫および泥流層 Old Fluvial Unit、未区分星山期噴出物 Unit）^(1,2)とみなされ、宝永噴火の際のマグマの突き上げによって隆起して地表に露出したと考えられてきた^(1,4,6)。ここで重要なことは、過去のいずれの研究も ATB の年代を測定したり、ATB とその上位を覆う火砕物との不整合面を直接観察・記載したりしておらず、上位層との不整合関係は右記理由からの類推でしかなかった点である。一方で、宝永噴火の初期に噴出した白色軽石層が、少なくとも火口から二キロ離れた地点から遠く千葉県まではつきりと確認されるのに、宝永火口の縁では確認でき

ないことも大きな疑問であった。

こうした問題意識から二〇一五年以来現地調査を続けてきた筆者が二〇一八年一〇月三日に現地を訪れたところ、宝永山付近の地層の露出状況が劇的に改善し、それまで崖錐に覆われていた部分がほぼ全面露頭となっていた。二〇一八年九月三〇日に周辺を通過した台風24号の強風と大雨が転石や漂砂を洗い流したと考えられる。

宝永山の地質構造や形成過程を再考する絶好の機会と考えた筆者は、改めて地質調査なぐびに UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用いた近接空撮とそれらのフォトグラメトリ解析を実施した。また、静岡県が実施した航空レーザー測量にもとづく高密度点群データの富士山部分が二〇二一年度末に無償公開されたので、それにもとづく地形分析も実施した。

その結果、ATBは未固結・新鮮な降下スコリアと同時異相・指交関係にあり、従来考えられていた不整合は存在しないことがわかった。さらに調査を進めると、赤岩だけでなく、宝永山全体が宝永噴火で降り積もってきた山であることが明らかとなった。その予察的な報告はすでに行ったが、さらなる分析と考察を加えて大幅に増補・修正した結果をここに報告する。

なお、筆者と同時期に同じ問題意識から研究を続けてきた山梨県富士山科学研究所の馬場章らは、岩石の熱残留磁化方向の測定と永年変化にもとづく考古地磁気年代推定や岩石の化学分析などを駆使し、筆者とほぼ同じ結論に達している。ただし、彼らの示した地質図や形成過程には疑問点もあるので修正案を提示する。

一 方法

筆者は二〇一五年七月以来、宝永火口付近の野外地質調査に加えて UAV を用いた近接空撮を実施し、二〇一六年七月三〇日以降はフォトグラメトリ用途を意識した対象物のマルチアングル撮影も実施した。用いた機材は DJI 社のドローン Phantom 4 (二〇一六年)、Mavic

2 Pro (二〇一八年一〇月～二〇一九年一〇月) と、それらの標準搭載カメラである。フォトグラメトリには専用ソフトウェアの Metashape Pro (Agisoft 社) を用いた。フォトグラメトリは、地理的座標と方向を記録した写真をさまざまな視点から撮影し、それらを処理することによって対象物の 3D モデルを作成する技術である。

一方、多数の写真撮影とその処理が必要となるフォトグラメトリに比べ、対象物に直接レーザーを照射する LiDAR (Light Detection And Ranging) は、対象物の立体形状を直接描き出す点で有利である。しかし、有人機による航空レーザー計測は料金が高額であり、UAV に搭載する場合も大型かつ高価な機体と計測器が必要となる。LiDAR 計測器は汎用のスマホやタブレットにまで搭載される時代となったが、レーザーの到達距離が高々数メートルなので航空計測には適さない。

しかしながら、静岡県が二〇一九～二〇二一年度に県内のほぼ全域をカバーする航空レーザー計測を実施し、測定ポイントの空間座標と色情報を含む高密度点群データとして無償公開した。ここではその中の富士山域を含む部分を用いた詳細地形モデル (Digital Terrain Model: DTM、四〇～七〇センチメッシュ相当) の構築と解析をおこなった。使用したソフトウェアは Global Mapper Pro (Blue Marble Graphics 社) である。

二 宝永山付近の層序と地質構造

宝永山付近に分布する一七〇七年噴火の火口近傍堆積物の地質平面図を図 2A (口絵 2)、南東・北北東の二方向から俯瞰した立体地質図を図 2B・C に示す。層序区分は概ね馬場らが踏襲したが、馬場らの Unit 6 をここでは Unit 6C とし、彼らが崖錐堆積物に含めていた中に新たに二区分 (Unit 6A～6B) を設けた。各ユニットの境界線は DTM から作成した傾斜量図 (図 1) と近接空撮写真を用いて見直しと修正を施した。なお、Unit 1～2 は層厚が薄いため地質図には示さ

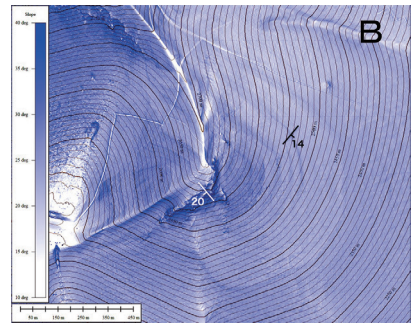
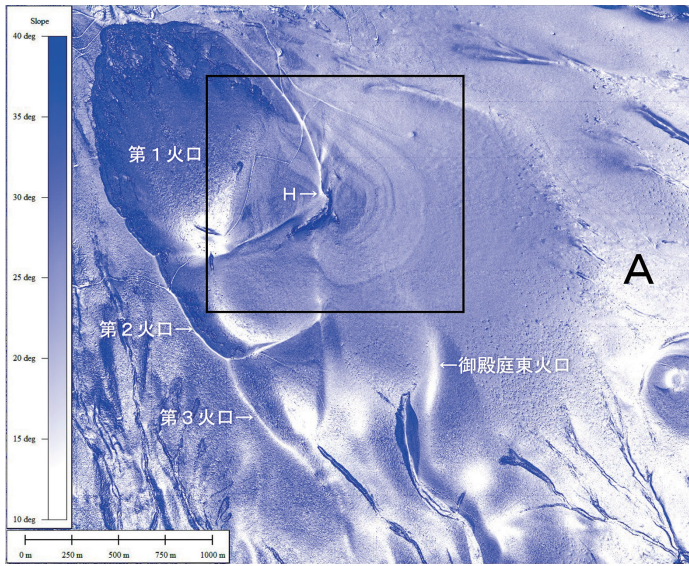


図1 宝永火口付近の地形

A: 傾斜量図。地表の傾斜角を陰影の濃淡で表して立体感をもたせた。宝永第1~第3火口、宝永山(図中のH)、御殿庭東火口(本文参照)の位置も示した。
 B: A図中の黒枠範囲の拡大図。地形等高線を加えた。黒と白の走向傾斜記号は、それぞれUnit 6BとUnit 7の層理面の傾きを示す。

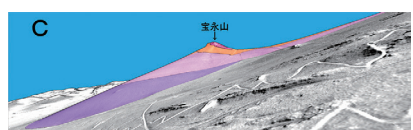
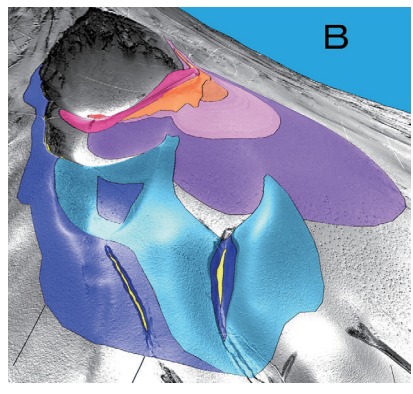
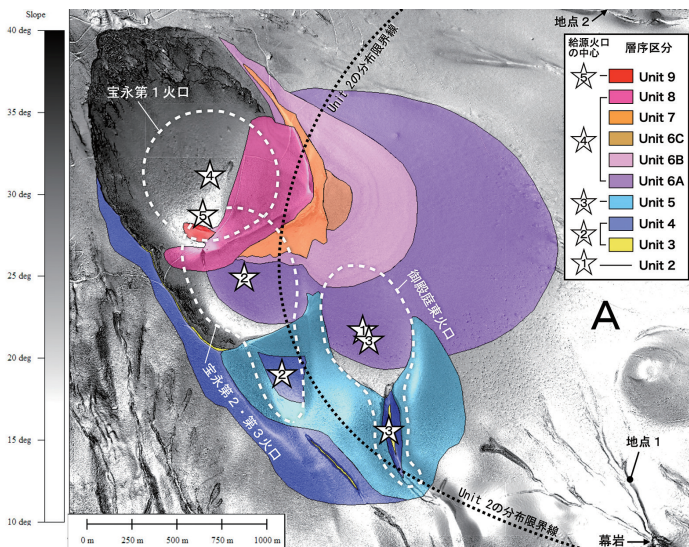


図2 宝永噴火の火口近傍堆積物の地質図

A: 地質図。Unit 2の分布は薄すぎるため示していない。背景図は図1Aの傾斜量図。星印: 推定した給源火口の中心位置とその開口順序。白破線で噴火当初の各火口底の概形も示した。
 B・C: 立体地質図(Bは南東から俯瞰、Cは北北東から俯瞰し、視点高度を下げて地質断面図の役割をもたせた)

第一火口底にある南南西に凸の弧を描く半円パンケーキ状のスパター丘の堆積物であり、噴火末期に形成されたもので、急崖をな

(1) Unit 9

以下、上位から順に各ユニットの特徴を、新たに判明した結果を中心に記述する。各ユニットの岩相・岩質の詳細については馬場らに詳しく記載されているので、ここでは簡単な説明にとどめ、主に彼らが指摘していない特徴について述べる。

宝永山付近の地表は転石や漂砂が多く、地山かどうかの判別が難しい箇所が多数ある。よって、地質境界線を引くにあたっては、近接空撮写真での地表の色合いや質感、傾斜量図に表れた微妙な傾斜の急変線なども考慮しながら、地表直下に隠れた地質境界の位置推定を行った。

す北北東側に小さな火口があったとみられる⁽⁵⁾。今回新たに判明した事実はない。

(II) Unit 8

黒色と赤色の粗粒スコリア質角礫の互層からなり、第一火口内壁の一部にへばりつくように堆積している。そのことは傾斜量図(図1)ならびに南東上空(図3)と南西火口縁から撮影した写真(図4A)からも明らかである。

本ユニットの最下部にあたる黒色角礫層内に、白色の皮膜をもつ礫が濃集した部分が複数ある。このうち第一火口底の遊歩道ぞいのものは、破断した火山岩礫の特定の面みに白色皮膜があり、基質には連続した白色部が見られない(図4B)。このことから、地下にあった熱水変質帯が噴火で吹き飛ばされて堆積したと推定される。白色皮膜に対してEDS (Energy dispersive X-ray spectrometry) エネルギー分散型X線分析) 機能を搭載した走査型電子顕微鏡で微細構造観察と定性元素分析を行った結果、層状多孔質でシリカに富むアモルファスまたはシリカ鉱物の微小結晶の沈積層と判明し、熱水変質帯内にあつた液相からの沈殿物と考えられる。同様な白色層は点々と宝永山の山頂方面に追跡できるが(図4Aの記号W)、白色物が不規則に吹き出したような形態(図4C)や、高角の亀裂に沿う形態(図4D)をとるものもあり、いずれも噴火中または直後の噴気活動による昇華物と考えられる。

(III) Unit 7

本論の最初に述べた赤岩凝灰角礫岩(ATB)を含むユニットであり、赤岩付近を中心として北方ならびに南西方へと延びる第一火口縁に沿って分布する(図2)。ATBの基質の主体は、黄褐色の泥質細粒物に表面をまぶされたスコリア質火山礫であり、加熱によって周囲を赤色酸化させた新鮮な玄武岩質火山礫・火山岩塊を含む(図5)。本ユニットの中部から下部は南西方向に二〇度程度傾斜する明瞭な層

理(一部は斜交層理)をもつが、上部には層理が不明瞭となる部分もあり、全体として固結度が高いために急峻な岩場を形成する(図3、図4A)。

本論の冒頭で述べた通り、これまでATBには多数の「断層」が発達するとされてきたが、それらは確認した限り、実際には変位が認められない亀裂である。これらの亀裂面に沿って、熱水活動の産物とみられる黄褐色泥質物の貫入が多数みられる(図6)。

Unit 7の岩相は、北方ならびに南西方に向かって大きく側方変化する。北方への側方変化は宝永山の東側でよく観察できる。層位S(成層スコリア)を基準として周囲の岩相の側方変化に着目すれば、ほぼ水平に成層する黄褐色のATBが、北方に向けて固結度の低い新鮮な黒色スコリア層(同じく水平に成層)に劇的に変化していることが一目瞭然である(図7、図8A)。ただし、こうした側方変化は一樣ではなく、いったん黒色スコリア層に変化した層位がふたたび元の黄褐色凝灰岩にパッチ状に戻る箇所(図8AのP1~P4の各層位)や、薄層状に黄褐色泥質部が途切れながら連続する箇所(図8Aの層位S、拡大写真は図8B)もある。

P1層位の黄褐色泥質部は、北方の馬の背付近まで第一火口縁の尾根の外側を追跡できる。馬の背付近の第一火口内壁の最上部に露出するスコリア質砂礫層には黄褐色部が認められないため、Unit 7は第一火口縁の尾根とその外側の狭い範囲に薄く分布すると考え、その下位にある灰色のスコリア質砂礫層を後述のUnit 6Bに対比した(図2)。

一方、新鮮な黒色スコリア層が南に向かってATB内へと連続する層位(図7・9の記号B)もあるが、黒色部の厚さは側方に変化し、同じ層位が黄褐色になったり黒色に戻ったりする箇所が見られる。

以上述べた同層位の岩相が側方変化する特徴は、黄褐色泥質部を堆積性のものと考えると説明困難であり、Unit 7の堆積直後に赤岩付近で生じた熱水活動によって黄褐色泥を含む熱水が未固結のスコリア層内へ染み出したこと(一部は亀裂や層理面に沿って貫入)によって形成

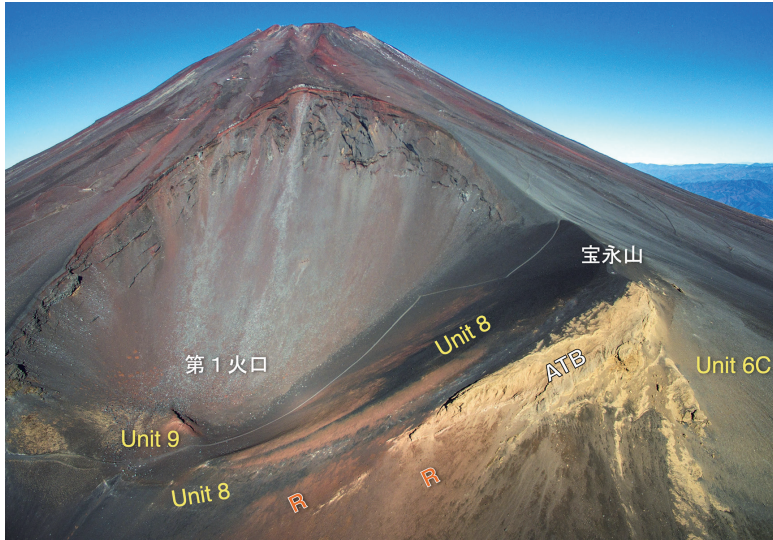


図3 南東上空から見た宝永山と宝永第1火口
本図に付した記号Rの説明は本文参照。

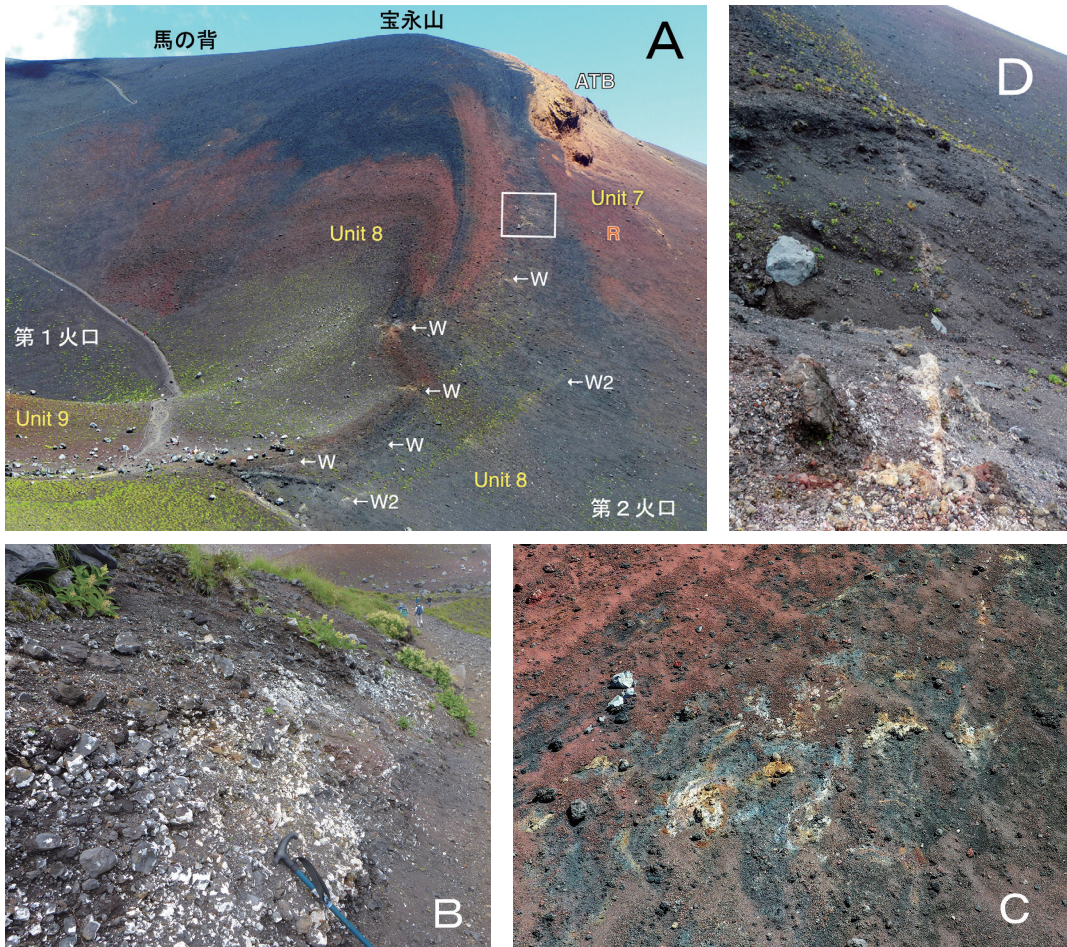


図4 宝永山を構成する堆積物 (Unit 8)

A: 西側の地表から見た宝永山。W,W2の説明は本文参照。白枠はC図の範囲 B: 第1火口底の遊歩道ぞい(位置はA図の左側枠外)に露出する白色皮膜を有する角礫層 C: A図の白枠の範囲の空撮写真 D: 高角の亀裂に沿う白色部(A図の記号W2を結ぶ白い線状部を西側地表から俯瞰)



図5 赤岩凝灰角礫岩 (ATB) に含まれる玄武岩質火山岩塊 (A)・火山礫 (B)
いずれも内部は新鮮であり、加熱によって周囲を赤色酸化させている。

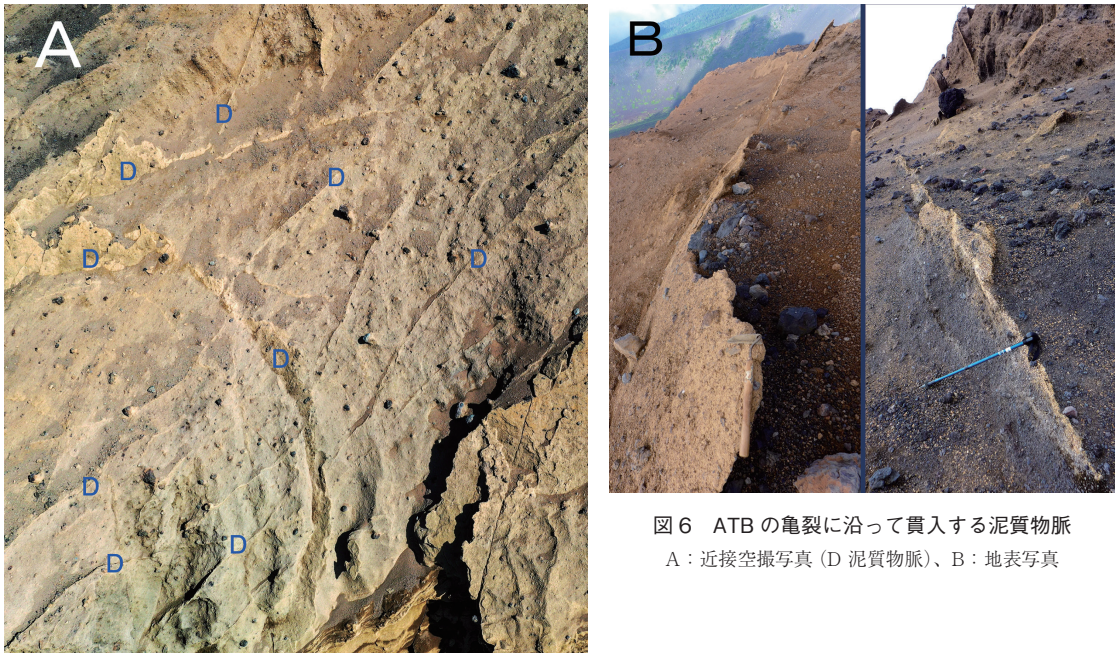


図6 ATBの亀裂に沿って貫入する泥質物脈
A: 近接空撮写真 (D 泥質物脈)、B: 地表写真

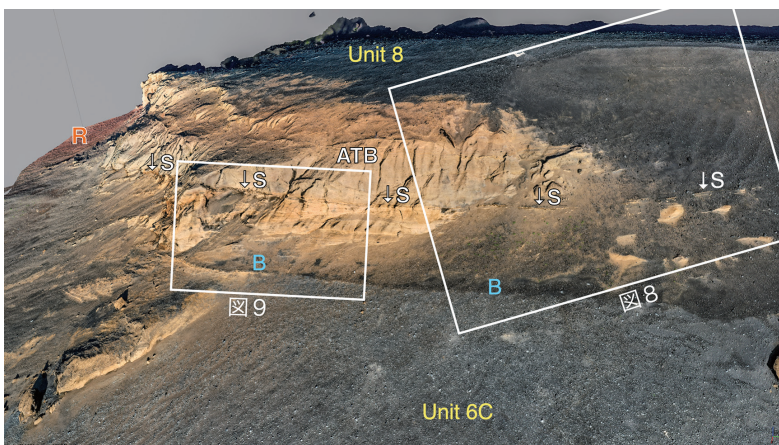


図7 ATB北端部を東方上空から俯瞰した合成3D画像
記号B、R、Sの説明は本文参照。
白枠は他図の範囲。

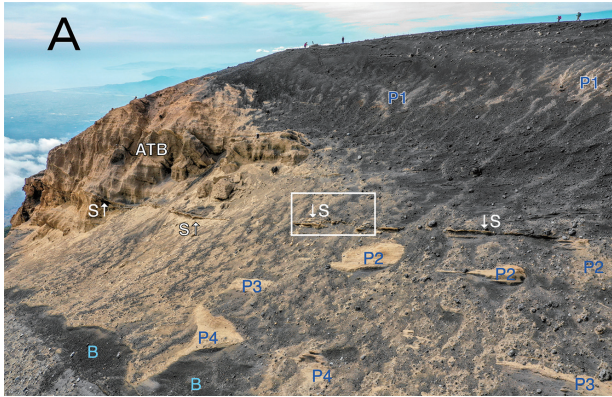


図8 ATBを構成するUnit7の岩相①

A: 赤岩北端部の東方からの近接空撮写真。記号B、P1~4、Sの説明は本文参照。白枠はB図の範囲。

B: 地上写真

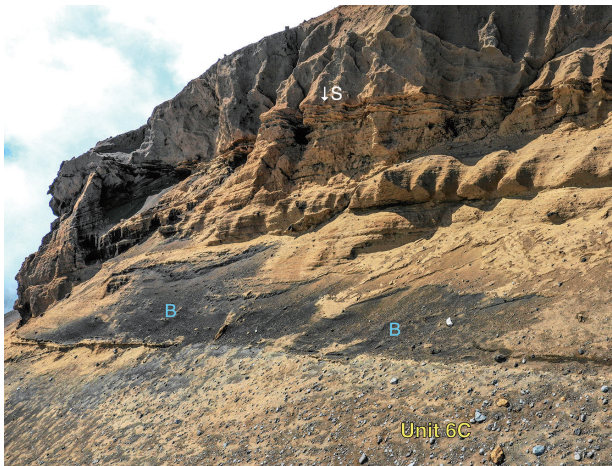


図9 ATBを構成するUnit7の岩相②

図7の左側白枠部分の近接空撮写真。記号B、Sの説明は本文参照。

されたと考えるのが自然である。なお、このような黄褐色泥質部は次に述べるUnit6C~6B中にも存在する。

Unit7の岩相は南西方にも変化する。図3や図4Aを見るべし、ATBの南西延長が赤色粗粒スコリア(記号R)に側方変化していることがわかる。Unit8内の赤黒縞模様が宝永第一火口の縁に沿って湾曲して分布するのに対し、

この赤色粗粒スコリア層は第二火口の内壁にへばりつくように南西方向へと垂れ下がる構造をしていることがわかる(図10)。

(四) Unit6C

宝永山の東側の標高二五〇メートル以上の狭い範囲にのみ分布する無層理・塊状・基質支持の凝灰角礫岩で、基質に泥質分が多いためやや固結度が高く急斜面をなす。風化面が灰色を呈する礫が多いため遠景では白っぽく見え、近接空撮写真では泥質基質の褐色が目立つ(図11)。Unit7~8と同様に、黄褐色泥の染み出しと見られるパッチ(図中の記号M)があちこちに見られる。Unit6Cに含まれる岩塊には異質礫が多く、その中には宝永噴火堆積物中に普遍的に見られるハンレイ岩礫が多数含まれるほか、まれに白色軽石礫もある(図12)。玄武岩質マグマに取り込まれたことを示す玄武岩質岩の外皮を

ところどころに残す軽石の特徴は、宝永軽石にしばしば見られるものである。

(五) Unit6B

Unit6Cの分布を取り巻くようにして、その下位に分布する固結度の低い黒色スコリア層である。Unit6Cよりも緩斜面をなすために多数の転石や漂砂によって覆われ、地山との区別が難しい。しかしながら、傾斜量図で見ると緩傾斜と急傾斜の繰り返しによる縞模様が顕著である(図1)。この縞模様は空中写真やフォトグラメトリによる3D合成画像でも黒色と灰色の縞として見られ、急傾斜部が黒色部、緩傾斜部が灰色部に対応している(図13A・B)。おそらく緩急の傾斜はUnit6B内の固結度の差によるもので、相対的に固結度の高い部分が急傾斜となって地山の黒色スコリアの露出が増えるために黒色が強く表れ、固結度の低い部分が緩傾斜となって転石が停滞し、地山の露出が

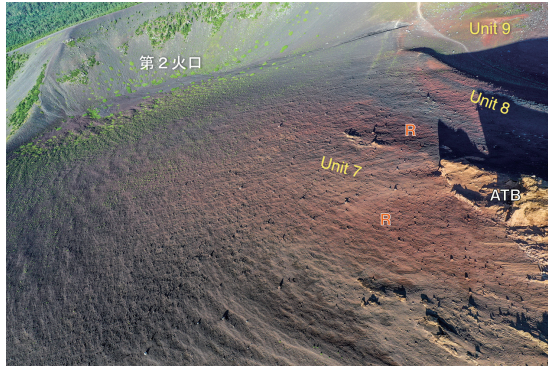


図10 ATB南西端から第二火口底にかけての近接空撮写真 記号Rの説明は本文参照。

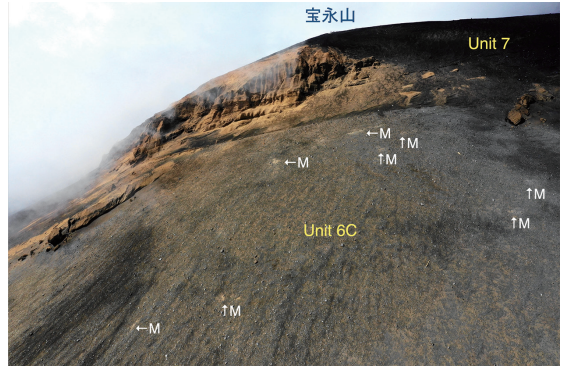


図11 ATB北端部とその下位層の近接空撮写真 記号Mの説明は本文参照。

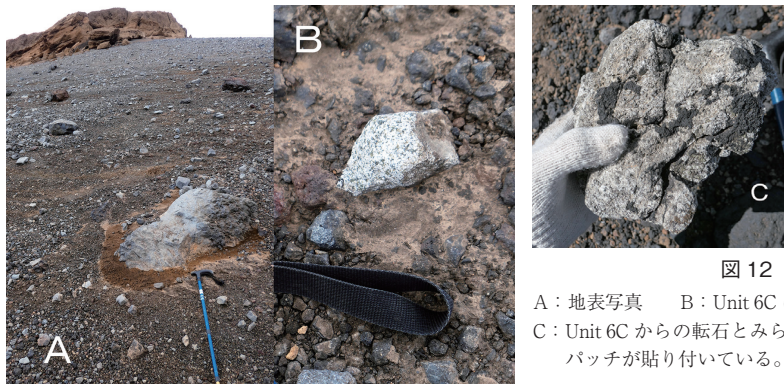


図12 Unit6Cの岩相

A: 地表写真 B: Unit 6Cに含まれるハンレイ岩礫

C: Unit 6Cからの転石とみられる白色軽石礫。表面に玄武岩質岩のパッチが貼り付いている。

傾斜量の縞模様が見え、Unit 6Bの下位にも楕円形の凸地形が続くが、縞模様はほとんど見られなくなり(図1)、地表も転石と漂砂で厚く覆われ、わずかに宝永第二火口内に黒色粗粒スコリアとおぼしき黒い領域(図14 A内の記号A)が見られるのみである。しかしながら、この楕円形の凸地形は平滑で、浸食谷や崩壊地形がほとんど見られない。また、凸地形の最下端にある傾斜急変線に沿って、宝永山付近を焦点のひとつに置いた滑らかな楕円を描くことができる(図1)。以上の特徴により、この凸地形を単純に崖錐とみなさず、他のユニットと同様に宝永噴火堆積物の初生的な堆積地形と考え、Unit 6Aとして区分する(図2)。

Unit 6Aがつくる楕円形の凸地形は、第二火口と御殿庭東火口(後述)の中にも滑らかに延びている(図1)。このことは両火口内の北東側の膨らみが単なる崖錐地形ではなくUnit 6Aの堆積地形であり、両火口の形成後にUnit 6Aが堆積したことを示唆する(図2)。

Unit 6Bの分布域にも他の上位ユニットと同様に、黄褐色泥の染み出しと見られるパッチがあちこちに見られる(図13 Aの記号M、地上写真は図13 C)。

減るために灰色を呈するものと考えられる。この緩急傾斜の繰り返しの縞模様を馬場は堆積構造とみなし、宝永山を火砕丘とみなす根拠のひとつとしたが、馬場らの地質図ではこの縞模様部分は崖錐に分類されており、解釈に食い違いが見られる。

縞模様と地形等高線の関係から求めたUnit 6B全体の走向傾斜はN40°E14°SEであり(図1 B)、最大傾斜方位の山側延長上には富士山頂がある。つまり、Unit 6Bは山頂から南東方向に傾き下がっていた地形面上に堆積したとみられる。なお、前述のUnit 6Cの底面もUnit 6Bの縞模様とほぼ平行しており、同じ南東方向への緩傾斜を示す(図13 B)。

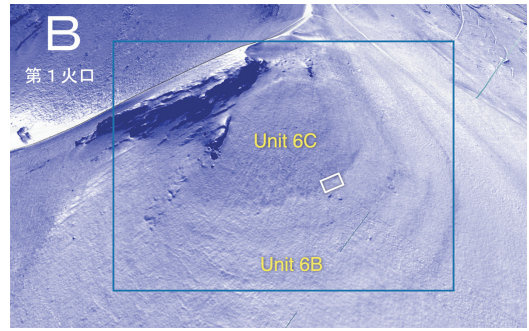
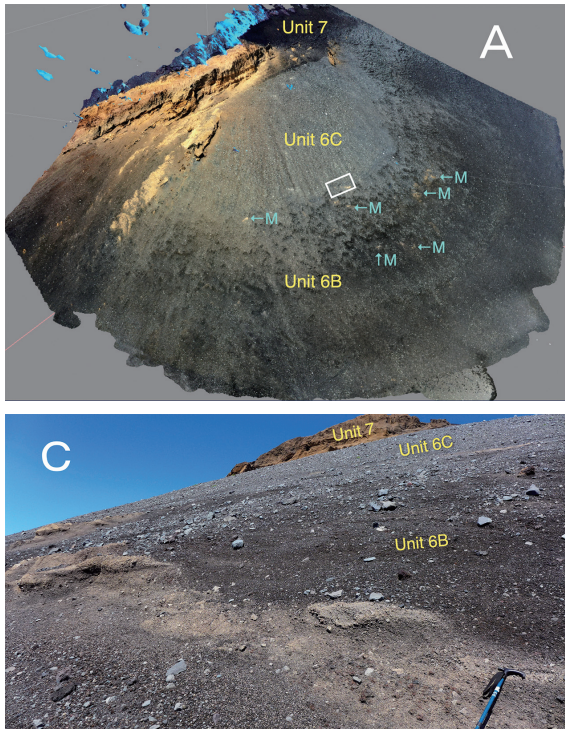


図13 宝永山東山腹の状況

- A：東方上空から俯瞰した合成3D画像。小四角枠はC図の範囲。記号Mは本文参照。
 B：A図とほぼ同じアングル・範囲の傾斜量の立体図。大四角枠と小四角枠はそれぞれA図とC図の範囲。
 C：A～B図の小四角枠範囲の地上写真。地山の黒色スコリア内に黄褐色泥質部のパッチが見られる

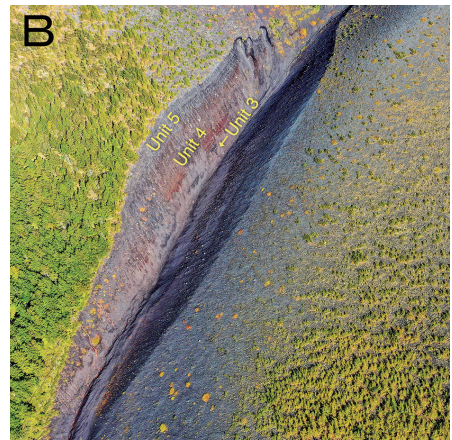
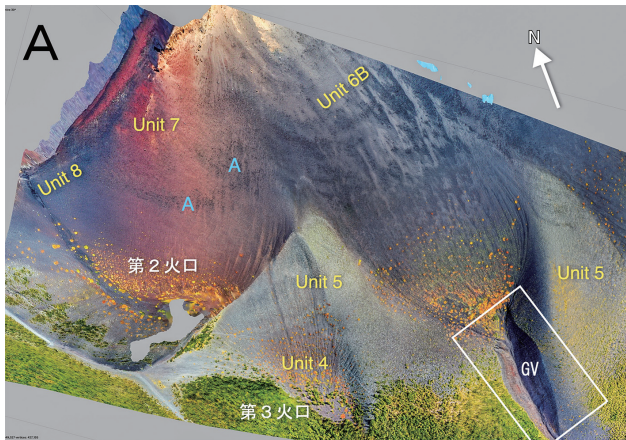


図14 宝永第2・第3火口と御殿庭浸食谷

- A：宝永第2火口から御殿庭浸食谷(GV)の範囲を真上から俯瞰した合成3D画像。四角枠はB図の範囲。
 B：御殿場浸食谷(A図のGV)の近接空撮写真。

(中) Unit 5 以下
 Unit 6A以上のユニットが宝永山を中心とした分布を示すこととは異なり、Unit 3～Unit 5の3ユニットは宝永第三火口とその東側に分布する(図2)。御殿庭浸食谷(GV)にはUnit 5・4・3の三層が重なる(図14)。
 Unit 5は、ほぼ均質の緻密な黒色スコリアを主な基質として雑多な岩質・外形の異質礫を大量に含む凝灰角礫岩であり、不明瞭な層理をもつ(図15A)。
 Unit 4は、均質かつ緻密で表面が暗赤色を呈するスコリアを主な基質として雑多な岩質・外形の異質礫を大量に含むほぼ無層理・塊状の凝灰角礫岩である(図15A～B)。緻密スコリアの多くは水冷破断を受けたような細かな亀裂を有して特徴的である(図15B)。
 Unit 3は、Unit 4と似た岩相をもつが、暗赤色スコリアの代わりに均質・緻密な黒色スコリアが基質の主体となる

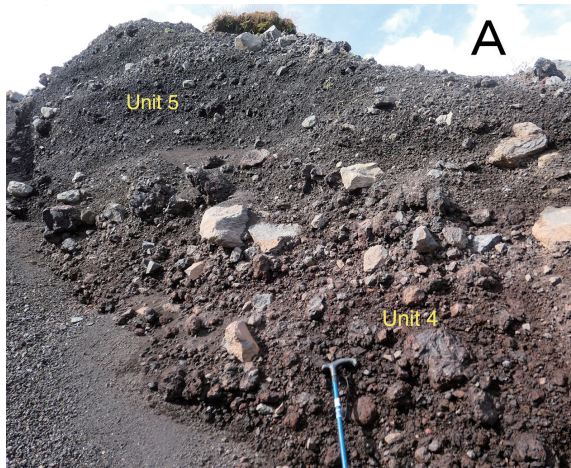


図 15 Unit 4・5 の代表的岩相

A: 御殿庭浸食谷 (図 14 の GV) の北部に露出する Unit 4・5 の重なり。

B: Unit 4 基質部の拡大写真。破線円で細かく破断した緻密スコリアを示す。

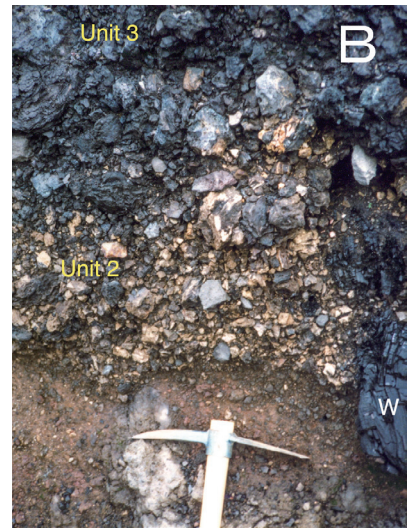
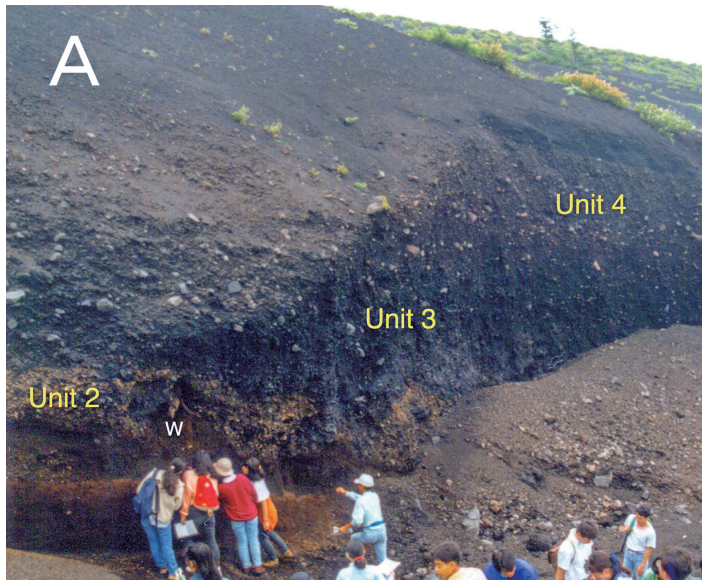


図 16 幕岩の北 (図 1 の地点 1) でかつて見られた露頭 (1993 年撮影)

A: Unit 2~4 が重なる露頭。W は埋没木。

B: 地点 1 近傍で見られた Unit 2・3 の重なり。W は炭化木。

点と、少量の黒曜石岩片を含む点が異なる。

馬場らの地質図は露頭がほぼ無い第三火口内の全域に Unit 5 を描いている⁽²⁾。しかしながら、近接空撮写真とその合成画像を見ると、第三火口底の無植生部分の色合は御殿庭浸食谷の Unit 4 と類似した赤味がかっているため (図 14 A)、下位の Unit 4 が頭を出していると推定した (図 2)。

馬場らは宝永第二火口の南縁での Unit 3 の層厚を六・四メートルとして同地点の Unit 4 の三・五メートルよりも厚く記載している⁽²⁾。しかし、彼らの地質図のその場所に Unit 3 の分布が描かれておらず不自然なため、本論の地質図では宝永第二火口南縁に Unit 3 の分布を加えた (図 2)。さらに馬場らの地質図は、宝永火口列の南西側の Unit 4 の分布を西に隣接する沢底にまで延ばして火砕丘を形成したように描いているが、第二火口内壁に露出する Unit 4 の厚さは高々数メートル以内なので、本論の地質図ではその厚さに見合った分布に修正した。

Unit 3 へ Unit 4 は、本論の地質

図で塗色されていない幕岩周辺にも良い露出が見られる。とくに地点1(図2)においては、かつUnit 4・3・2が順次重なる良好な露出が見られた(図16)。Unit 2は宝永噴火開始初期に噴出した白色軽石を主体とする降下火砕物とみなされ、地点1付近や獅子岩付近(図2の地点2)などに露出する。なお、馬場らはUnit 2の下位に細粒の降下テフラ薄層を発見し、宝永噴火最初期に堆積したUnit 1として区分している。

早川由紀夫は、御殿庭浸食谷とその周辺の地形がハワイのマウナケア火山の山腹にあるモレーンの地形と類似すると指摘し、御殿庭浸食谷に露出するUnit 5・4を雑多な砂礫とみなして、一三〇〇年前の氷期に形成されたモレーンと解釈している。しかしながら、前述したようにUnit 4においては基質の多くを均質かつ新鮮な緻密スコリアが占め、それらの多くは細かい破断面を有している(図15B)。もしUnit 4が水流や転動による堆積物であれば、このような破断面は移動中に分離してしまうだろうし、基質が礫支持で細粒物に枯渇している点も流れ堆積物という解釈には不利である。Unit 4は降下火砕物と解釈するのがもっとも自然である。また、前述したように幕岩付近の地点1で宝永軽石を含むUnit 2がUnit 3・4に順次覆われる(図16)。つまり、モレーン説は岩相・層序の両面から考えて成り立たない。

三 火口近傍堆積物からみた宝永噴火の推移

以上述べた宝永噴火堆積物の近傍相の層序と分布から、火口近傍の地形と噴火堆積物の形成過程を以下にまとめる。同様の議論は馬場らも提示しているが、より詳細な地質図が作成できたことから、改めて独自の視点を加えて議論する。

宝永噴火を起こした火口は、従来の考えでは宝永第一〜第三火口であり、噴火初期の白色軽石(宝永軽石)の給源が第二・第三火口、軽石に続いて噴出した黒色スコリアの給源が主に第一火口と考えられて

きた。しかしながら、本論の最初でも述べたように、噴火初期に噴出した白色軽石の層が図2の地点1付近を西端として東方へと遠く千葉県まで確認できるのに、第一〜第三火口の周囲には白色軽石が見当たらない。このことは、白色軽石を噴出した火口が、現在の地形から判別される第一〜第三火口列よりも東寄りにあったことを意味する。

以上のことと前節で述べた宝永山付近の観察事実に加え、宝永噴火の古記録と絵図から推定した噴火推移¹⁵⁾、ならびに馬場ほか⁹⁾が示したデータと論考も考慮に入れ、すでに作業仮説として提示していた宝永噴火の推移を次のように大幅に見直した。

一、馬場ほかはUnit 1を宝永噴火の最初期の降下テフラとし、宝永山の南西五〇メートルほどの位置で生じた水蒸気爆発あるいは水蒸気マグマ爆発の産物と推定している。筆者はUnit 1のデータを持ち合わせていないが、彼らの見解が正しければUnit 1の噴火は、おそらく一七〇七年一月一日一〇時頃の噴火開始以降の短い間の出来事であつたらう。

二、デイサイト質マグマを起源とする白色軽石を含むUnit 2の噴火(一七〇七年一月二六日一〇時頃〜一五時半頃)は、現在の宝永山の南南東一キロ付近を給源火口(図2の星印1)として起きたと推定した。この火口の地形は、その後の新たな火口の形成やUnit 6A以上の厚い堆積物に覆われてしまつて現存しない。この給源火口位置は、地点1〜2で確認できる白色軽石が宝永第一〜第三火口の南西火口縁(基盤岩の溶岩流との境界付近)で確認できないことと、宝永軽石の等層厚線図とその確認地点のデータから描いたUnit 2の分布限界線(図2)から見積もった。また、後述のUnit 5の給源火口(図2の星印3)とあえて異なる場所に置くほどの推定精度や必然性はないと考え、ほぼ同じ場所とした。

三、Unit 2の噴火がいったん収まった一月二六日一七時頃、宝永第二・第三火口がほぼ同時に開いてUnit 3とUnit 4をあいっいで堆積させる噴火が開始した。この日時に激しい噴火が再開するととも

に、遠方に降る火山灰の色が白から黒、すなわちデイサイト質から玄武岩質へと変化したことが史料記述からわかる。給源火口の位置が西に移動した理由は判然としないが、噴出し残った高粘性のデイサイト質マグマを避けて、その脇から玄武岩質マグマが噴出したためかもしれない。

四、その後、第二・第三火口の東に隣接した火口 (Unit 2 の給源火口とほぼ同じ位置、図 2 の星印 3) が開いて Unit 5 を堆積させる噴火に移行した。この火口は南南東の御殿庭浸食谷付近へも伸び、火口の両側に火砕丘を形成した。この火口を御殿庭東火口と呼ぶことにする。Unit 5 の給源をこの火口とみる理由は、Unit 5 の層厚がこの火口の両側のリッジ部分で厚く、宝永第三火口の北西縁へと薄くなるからである (図 2)。ただし、御殿庭東火口の西縁のリッジは宝永第三火口の東縁で削られているから、両火口の噴火は同時進行した期間があったかもしれない。

Unit 34 から Unit 5 への噴火の移行が起きた時期の候補としては、一二月一七日以降に何度か訪れた小康期間 (一七日午前、一八日朝、二〇日朝など) のいずれかと考えるのが自然であろう。Unit 5 の給源火口が Unit 2 とほぼ同じ位置に戻った理由は定かでないが、Unit 2 として噴出したデイサイト質マグマの後を追う形で地表に達した玄武岩質マグマが、Unit 5 として噴出したのかもしれない。

なお、馬場ほかは Unit 2 の給源火口として、宝永第三火口と次に述べる御殿庭東火口を含む形の楕円形の「宝永第四火口」を推定した。しかしながら、その考え方は宝永第三火口と御殿庭浸食谷の間にあるリッジの成因や、前述した Unit 5 の層厚変化をうまく説明できない。

五、その後、宝永第二火口の北北西に新たな火口 (図 2 の星印 4) が開き、Unit 6A~8 をあついで堆積させる噴火が生じた。この火口がその後浸食を受けて拡大したのが、現在見られる宝永第一火口である。Unit 6A~8 のいずれもこの火口から東南東に厚く延びる分

布を示しており、噴火中の強い西北西風にあおられ、一定の風向が維持された短い期間内に堆積したことがうかがわれる。

Unit 6A~8 の噴火は、史料記述と遠方に堆積した降下スコリアの粒径の増大からわかる一七〇七年一二月二五日夕方からの噴火の活発化に対応すると考えるのが自然である。給源火口が標高の高い場所に移動したことは、御殿場方面から描かれた絵図「宝永噴火之図」に付記された「一二月五日 (新暦一二月二八日) には黒岩上まで焼け登り申し候」という記述とも調和的である。

六、噴火の最終段階に至り、第一火口底の火口 (図 2 の星印 5) から Unit 9 を堆積させる噴火が生じて小さなスパター丘を形成した。この事件が起きたのは一七〇八年一月一日未明とみられる。

七、Unit 1 の噴火直後に宝永山周辺において前節で述べた熱水活動が生じ、赤岩付近を中心とした区域に分布する Unit 6B~7 の各ユニットに熱泥の貫入や滲出が起きた。また、Unit 8 の噴火中と直後にも噴気活動が生じて石英成分を主とする昇華物が生成した。

おわりに

地質調査ならびに UAV による近接空撮とそれらに対するフォトグラメトリ分析を行うとともに、航空レーザー測量によって得られた点群データにもとづく地形分析も実施し、宝永噴火の火口近傍堆積物がつくる層序とそれらを形成した噴火の詳細な過程を明らかにした。主要な結果は以下の通りである。

一、馬場ほかによる層序区分と各ユニットの分布を見直し、新たに Unit 6A~6C の区分を設けた。

二、宝永山とその山頂部に分布する Unit 7 の北方向・南西方向への岩相変化を明らかにした上で、宝永山が宝永噴火で放出された火砕物が降り積もってきたことや、赤岩 (ATB) が熱水活動の産物であることを裏付けた。

三、Unit 6B の堆積構造を明らかにし、Unit 6A~8 の給源火口が第一

火口底にあること、Unit 8が宝永第一火口の火口内壁にへばりつくように堆積したことを明らかにした。

四、Unit 5～Unit 2がつくる地形や分布を再検討し、それぞれの給源火口位置や噴火順序を推定した。その結果、噴火初期の白色軽石を含むUnit 2ならびにUnit 5の給源火口を、第二・第三火口の東に隣接した御殿庭東火口と推定した。

謝辞 石橋秀巳さんには宝永第一火口付近に分布する白色付着物の成分と成因について検討して頂き、鈴木雄介さんにはフォトグラメトリや点群データの取り扱いについて助言を頂きました。馬場章さんと藤井敏嗣さんには宝永山付近の地質とその形成過程について議論して頂き、情報や助言も頂きました。小林淳さんには本論執筆の機会を与えて頂きました。以上の方々に深く感謝いたします。

註

- (1) Tsuya, H. 『Geological and petrological studies of Volcano, Fuji, V.5. On the 1707 eruption of Volcano Fuji』 (Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, vol.33, 1955, pp.341-383)
- (2) 津屋弘達『富士山地質図(五万分の二)』(富士山の地質 地質調査所、一九六八年)
- (3) 高田 亮ほか『富士火山地質図(第2版)』(特殊地質図 一一、産業技術総合研究所地質調査総合センター、二〇一六年)
- (4) Miyaji, N. et al. 『High-resolution reconstruction of the Hoei eruption (AD 1707) of Fuji volcano, Japan』 (J. Volcanol. Geotherm. Res., vol.207, 2011, pp.113-129)
- (5) 宮地直道・小山真人『富士火山一七〇七年噴火(宝永噴火)』についての最近の研究成果『富士火山 山梨県環境科学研究所、二〇〇七年、三三九～三四八頁』
- (6) 小山真人ほか『宝永火口で見る富士山の成り立ちと噴火』(日本火山

- 学会二〇一六年秋季大会予稿集 A1.02², 二〇一六年)
- (7) 宮地直道『富士火山一七〇七年火砕物の降下に及ぼした風の影響』(火山 第二九巻、一九八四年、一七三～一八〇頁)
- (8) この好露出は翌二〇一九年も続いたが、コロナ禍で調査不能だった二〇二〇年を経て二〇二二年六月にNEKがドローンで空撮した映像(同年八月二十九日の「サイエンスZERO」で放映)では、再び台風以前の状態で悪化しているのがわかった。
- (9) 小山真人『一七〇七年富士山宝永噴火の火口と推移についての新たな作業仮説』(日本地球惑星科学連合二〇一九年大会予稿集 SVC35-01, 二〇一九年)
- (10) 馬場章ほか『富士火山、宝永山の形成過程の考察』(日本地球惑星科学連合二〇一九年大会予稿集 SVC35-02, 二〇一九年)
- (11) 馬場章『宝永山は降り積もってきた火砕丘である』(科学 第九二巻、二〇二二年、六〇六～六一〇頁)
- (12) 馬場章ほか『富士火山、宝永山の形成史』(火山 第六七巻、二〇二二年、三五～三七七頁)
- (13) VIRTUAL SHIZUOKA 静岡県富士山および静岡東部点群データ (<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/shizuoka-2021-pointcloud>) (令和四年二月五日閲覧)
- (14) 早川由紀夫『富士山の氷河堆積物と山体崩壊』(月刊地理 第六三巻、二〇一八年、六八～七三頁)
- (15) 小山真人『富士山噴火とハザードマップー宝永噴火の16日間ー』(一七四、古今書院、二〇〇九年)