

垂木台地における雲仙普賢岳 1990-1995 年噴火堆積物の重要露頭

大野 希一*

(2015年5月19日受付, 2015年8月20日受理)

Significant Outcrops of Pyroclastic Deposits at Tarukidaichi
Derived from the 1990-1995 Eruption of Unzen Volcano

Marekazu OHNO*

There are two significant outcrops that can be observed at Tarukidaichi (Taruki Height) located around 2.5 km NW of Heiseishinzan lava dome generated by the 1990-1995 eruption of Unzen Volcano. This paper discussed the dates and time of eruptions based from the observations on the pyroclastic deposits exposed at these outcrops. Pyroclastic deposits observed at Tarukidaichi can be divided into 5 layers based on their occurrences. Layer 1 corresponds to mainly ash fall deposits resulting from pyroclastic flows that occurred from May 20, 1991 to early September 1991. Layer 2 is composed of pyroclastic surge deposits that are accompanied by large-scale pyroclastic flows that happened on September 15, 1991. Layer 3 is composed of deposits caused from the series of pyroclastic surges and ash falls that occurred from January to March 1992. Layer 4 is ash falls accompanied with pyroclastic flows, pyroclastic surges and their reworked deposits from March 1992 to middle June 1993. Layer 5 is composed of deposits from pyroclastic flows that occurred on June 23, 1993. These outcrops are very useful for students who want to learn volcanic geology. These sites should be conserved and protected through effective collaboration between the scientific community and local residents.

Key words: Unzen Volcano, 1990-1995 eruption, Tarukidaichi, sustainable use of outcrops

1. はじめに

火山噴火に遭遇すると、地層(堆積物)が形成される過程を観察する機会に恵まれる。地層が形成される様子が直接観察できる点は、火山地質学が有する大きな特徴であり、このことが堆積物から過去の噴火現象の復元を可能にする。火砕堆積物の層序と、その堆積物をもたらした噴火現象との具体的な時間関係を検討した研究は多数あり(富士山1707年宝永噴火, Miyaji *et al.*, 1992; 宮地, 2006, 浅間山1783年天明噴火, 早川, 1995; 安井・他, 1997, 有珠山1977-78年噴火, 吉田, 1995; 三宅島1983年噴火, 遠藤・他, 1984; 伊豆大島1986年噴火, 遠藤・他, 1988; 有珠山2000年噴火, 廣瀬・他, 2002; 宝田・他, 2002; 大野・他, 2002; 国方・他, 2003; 高橋・他, 2004, 三宅島2000年噴火; 中田・他, 2001, 浅間山2004年噴火; 吉本・他, 2005など), いくつかの堆積物に

ついては、それらの噴出日時が特定されている。

1990年11月17日から約5年間継続した長崎県雲仙普賢岳1990-1995年噴火(以降, 1990-1995年噴火)は多くの研究者によって観測され、その噴火推移が克明に記録された(例えば大学合同観測班地質班, 1992; 中田, 1993; Nakada and Fujii, 1993; Nakada *et al.*, 1999; 太田, 1993)。山麓には現在もこの噴火によって生じた火砕堆積物が残存し(Fig. 1), それらの一部については堆積物の層序と噴火日時との関係が明らかになっている。1990-1995年噴火に伴う火砕堆積物については、1991年6月3日・8日に、普賢岳の東側斜面の水無川に流下した火砕サージ堆積物(Nakada and Fujii, 1993), 1991年9月15日に、北東斜面のおしが谷から水無川に向かって流下した火砕流および火砕サージ堆積物(遠藤・他, 1993; Nakada and Fujii, 1993), および1993年6月22~23日に

* 〒855-0879 長崎県島原市平成町1-1がまだすドーム内
島原半島ジオパーク協議会事務局
Unzen Volcanic Area Geopark Promotion Office, 1-1,

Heisei-machi, Shimabara-shi, Nagasaki 855-0879, Japan.
e-mail: staff3@unzen-geopark.jp

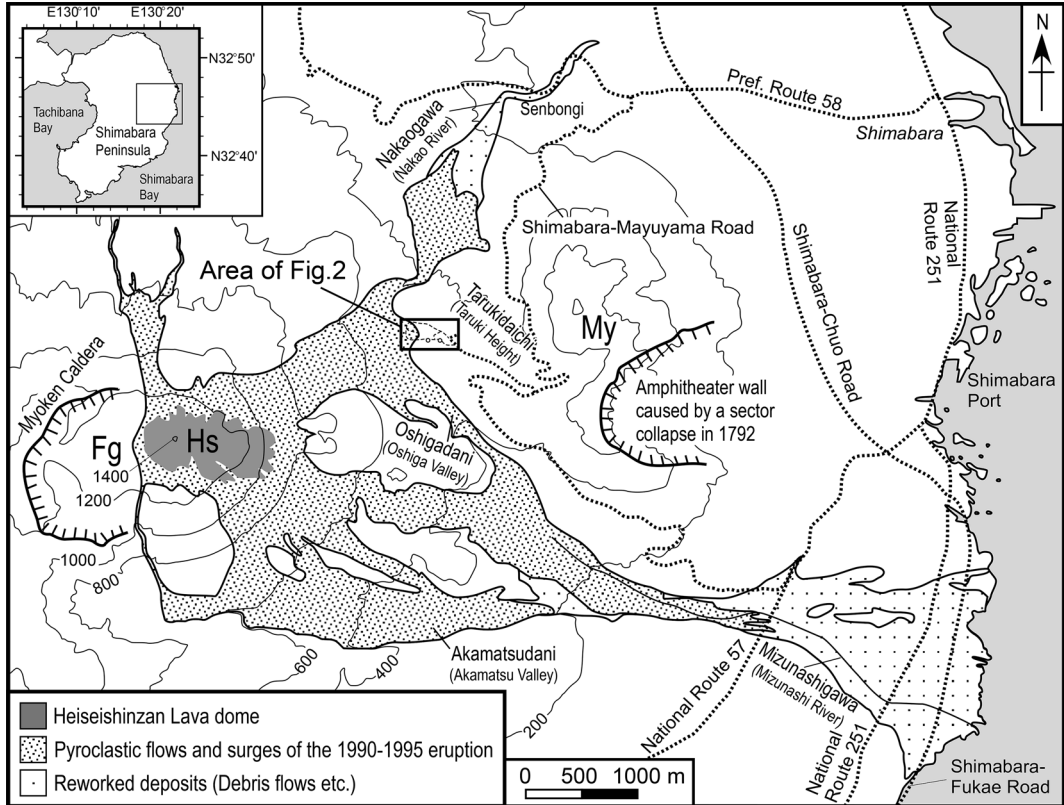


Fig. 1. Locality map of east flank of Unzen Volcano. Distribution of pyroclastic deposits derived from the 1990–1995 eruption of Unzen Volcano is referred from Watanabe and Hoshizumi (1995). Fg: Fugendake lava dome, Hs: Heiseishinzan lava dome, My: Mayuyama lava dome.

かけて、普賢岳の北東約2.5kmに位置する垂木台地を経て千本木地区に流下した火砕流に伴う堆積物（遠藤・他、1996a, b; 長井・他、2007）について、層序と噴火日時との関係が議論された。それらのうち、特に垂木台地や千本木地区で観察される火砕堆積物については、トレンチ調査や露頭の解析により、噴火日時と噴出物層序との詳細な関係が明らかになっている（遠藤・他、1996a, b; 長井・他、2007）。特に長井・他（2007）は、垂木台地上に産する1990–1995年噴火に由来する火砕堆積物を8つの層に分け、各層の噴火日時に関する詳細な関係を報告した。

しかし、これまで報告された露頭の多くは、その後継続した噴火活動や、噴火終息後に実施された砂防工事に伴って失われている。また、千本木地区には、遠藤・他（1996a, b）が記載した露頭（Fig. 1）が保存されているものの、この露頭は国土交通省九州地方整備局雲仙復興事務所が所管する砂防指定地内にあり、砂防工事の安全対策上、入域が制限されている。さらに長井・他（2007）が記載した長崎県立垂木台地森林公園内に位置するトレ

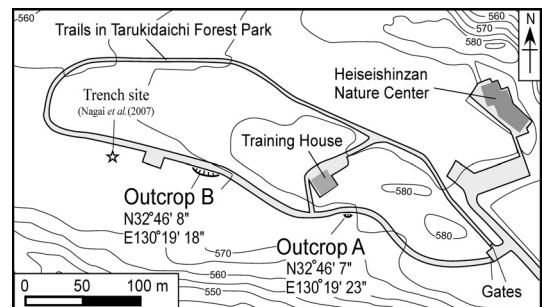


Fig. 2. Route map of two outcrops along a trail in Tarukidaichi Forest Park. In this map, the trench site described by Nagai *et al.* (2007) is also shown. Contour lines are referred from a volcanic base map “Unzendake IV” (1/5000) published by Geospatial Information Authority of Japan.

チ（Fig. 2）は、現在は埋め戻されている。長井・他（2007）が記載したトレンチにて採取された露頭については、が

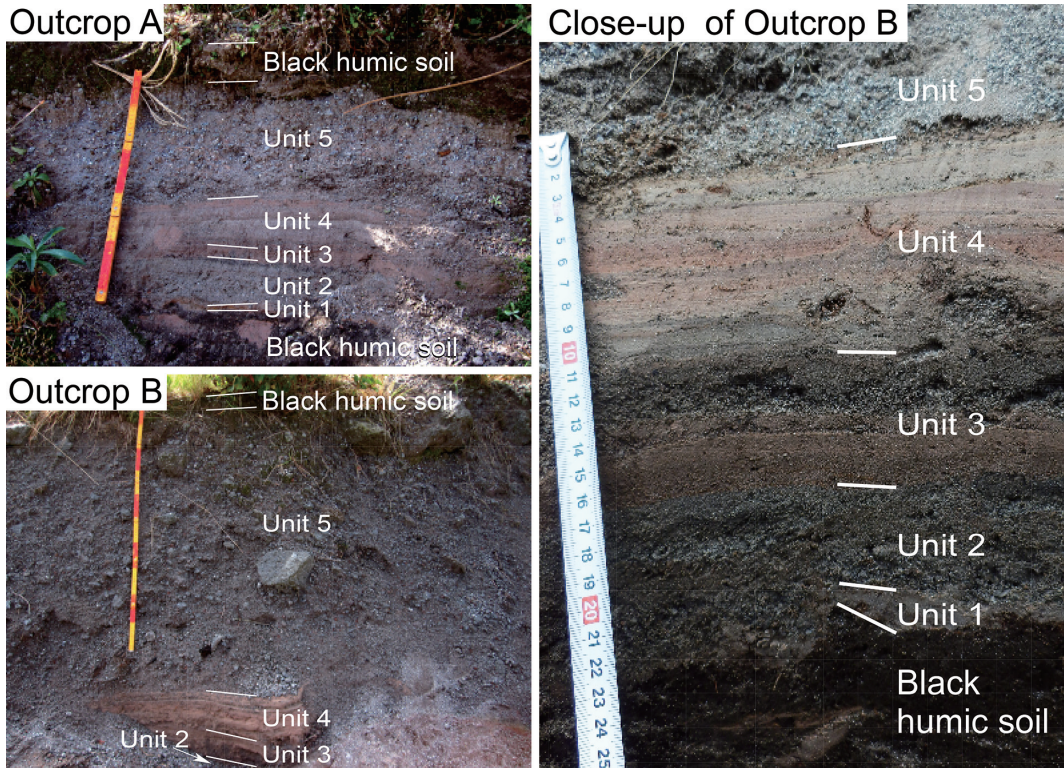


Fig. 3. Photos of outcrop A and B at Tarukidaich Forest Park. Pyroclastic deposits can be divided into 5 layers on the basis of their occurrences. Close-up image of base of outcrop B is also shown.

まだすドーム（雲仙岳災害記念館）内に剥ぎ取り標本が展示してある（雲仙岳災害記念館，2010）とはいえ、これまで1990-1995年噴火によって生じた堆積物の層序と噴火日時との関係が報告された露頭は、ほぼ全て失われているか、通常の見学が困難な状況にある。

これに対し、垂木台地森林公園内の遊歩道沿いには、長井・他（2007）が記載したトレンチの近傍に、1990-1995年噴火に伴う堆積物が観察できる露頭が2つある。よって、これらの露頭に産する火砕堆積物の噴火日時が関連付けられれば、実際に起こった噴火現象と堆積物層序との関係が観察できる貴重な露頭になりうる。そこで本論では、垂木台地森林公園内にある2つの露頭（露頭AおよびB）に産する火砕堆積物の形成日時を特定するとともに、堆積物の特徴と噴火現象との関係を議論する。また、これらの露頭の活用事例や保全の在り方についても触れる。

2. 垂木台地上の露頭

垂木台地は、平成新山と眉山溶岩ドームの間に位置する標高約560mの平坦な高台で、表層部のクロボク土お

よびテフラ層を断ち切る断層群や、台地中央に認められる小規模なグラーベンの存在から、約4.6 cal ka BPに起きた眉山溶岩ドーム形成時の地殻変動によって生じた傾動地塊と考えられている（尾関・他，2005）。

Fig. 2は垂木台地森林公園内にある遊歩道沿いのルートマップである。本論で紹介する2つの露頭は、雲仙天草国立公園の特別地域内にあり、法的な保全がなされているほか、遊歩道の入り口にイノシシ等の侵入を防ぐためのゲートが設置されており、これが結果的に露頭の実質的な保全に大きく貢献している。

Fig. 3はこれら2つの露頭写真である。また、Fig. 4にはこれらの露頭の柱状図と2つの露頭の対比結果を示す。垂木台地上に産する火砕堆積物は、岩相の違いから5つの層に分けられる。なお本論では、層内に存在する地質構造を、ユニットと呼ぶこととする。

第1層 (Layer 1): 淡茶褐色を呈する火山灰で、下位の土壌の起伏をマントルベディングする。層厚は、露頭Aでは1~1.3 cm、露頭Bでは1~1.5 cmで、あまり変化しない。長井・他（2007）の(1)層に対応する。

第2層 (Layer 2): 火山レキを含む、灰色の中粒~極

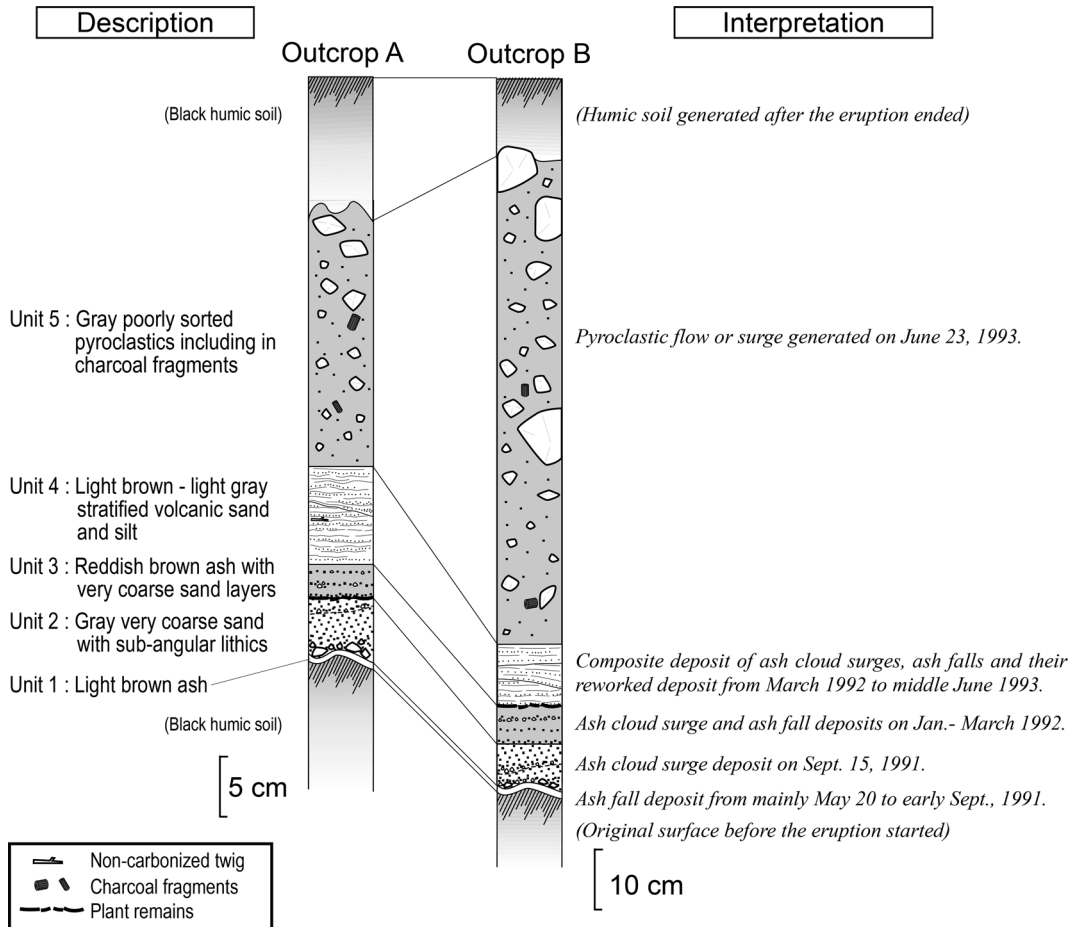


Fig. 4. Columnar sections of each outcrop at Tarukidaichi Forest Park in Fig. 3.

粗火山灰の粒子からなる火砕堆積物で、淘汰は良い。第2層の上面は平らであり、旧地表面が作る起伏を埋めるように堆積している。第2層は、極粗粒火山灰から中粒火山灰にいたる正級化構造を示す2つのユニットで構成される。露頭Aでは、第2層全体の層厚は4~6cmで、最下部に直径1.5cm程の亜角レキを含む。また、第2層の上部に黒色の植物片が濃集している。露頭Bでは、第2層は厚さが5~7.5cmに達し、露頭Aに比べてやや厚い。長井・他(2007)の(2)層に対応する。

第3層 (Layer 3): 細粒~極粗粒砂からなる粗粒火山灰と細粒火山灰の互層で構成され、特徴的に強い赤褐色を呈する。細粒火山灰の層厚はおよそ5mmで、観察される範囲内ではほとんど層厚が変化しないのに対し、粗粒火山灰は層厚が0.3cm~2cmと変化する。露頭Aでは、粗粒火山灰は正級化構造を示し、その上位の細粒火山灰と明瞭な境界で接している。第3層全体の層厚は

2.5~4cmである。露頭Bでは、全体の層厚は約6cmに達し、露頭Aより厚くなる。第3層は長井・他(2007)の(3)の下部に対比される。

第4層 (Layer 4): 厚さ2~3mmの中~細粒砂層(以下、細粒砂層)と厚さ1~2mmのシルトの累層からなる。中~細粒砂層は灰色を呈するが、シルト層の色は淡灰色、淡褐色、赤褐色など多様である。中~細粒砂層やシルト層は層厚の変化に乏しく、側方に連続して堆積しているが、不整合により所々成層構造が切られているところもある。また、この不整合に起因する窪みを、中~細粒砂層やシルト層が埋めているところもある。露頭Aでは、層理面と平行に直径5mm程の生の小枝が認められる。露頭Aでは、第4層の全体の層厚は7~8cmだが、露頭Bでは層厚が12cmに達する。第4層は長井・他(2007)の(3)層の上部に対比される。

第5層 (Layer 5): 粗粒~細粒火山灰中に、直径数cm

の垂角～垂円レキが点在する淘汰の悪い層である。第5層内には炭化した木片が散在する。露頭Bでは、基底部に直径5cmに達する炭化木が直立した状態で産するが、層内には表面のみが焦げた木片も含まれる。2つの露頭とも、中に含まれるレキは逆級化構造を示す。露頭Aでは、第5層の層厚は18～23cmであるのに対し、露頭Bでは第5層の層厚は約80cmに達し、層厚が変化する。露頭Aでは、堆積物中に含まれるレキの直径が平均2cm、最大5cmである。一方露頭Bでは、中に含まれるレキの直径は平均8cm、最大40cmに達するほか、レキ径が大きくなるほどその円磨度が増す傾向にある。

第5層は、現在の地表面を構成する黒色土壤に覆われる。垂木森林公園では、第5層を覆う黒色土壤は露頭A、Bとも12～15cmで、層厚に大きな変化は認められない。

3. 垂木台地上に認められる火砕堆積物の形成日時の推定

ここでは2つの露頭で認められる5つの層が、1990-1995年噴火のいつの時期のものかを、これまでに報告された噴火推移や、堆積物の産状から議論する。なお、本論では特に断りのない限り、火砕流の発生時刻は、気象庁(2002)に基づく。

第1層は、黒色土壤を直接覆う事や、層全体が旧地表面の起伏をマントルベッディングしていることから、噴火開始してから間もない時期に降下した降下火山灰堆積物と判断できる。

1990年11月17日に地獄跡・^{つくもじま}九十九島両火山口において発生した水蒸気噴火に伴う火山灰は、火山口の北東方向に降下堆積した(渡辺・他, 1992)。その後、1991年2月12日および4月9日には、水蒸気噴火やマグマ水蒸気噴火が相次いで発生した(気象庁, 2002; 渡辺・他, 1992)。これらの噴火に伴う火山灰は垂木台地にも降下した可能性が高いものの、1991年3月から4月頃は、垂木台地上にはほとんど火山灰は認められなかった(尾関信幸氏私信)。これに対し、溶岩ドームの出現が確認された1991年5月20日以降は、火砕流の流下に伴って舞い上がった灰かぐらから大量の火山灰が頻繁に降下するようになった。垂木台地に大量の降灰をもたらした可能性の高いイベントは、少なくとも1991年5月28日の火砕流に伴う灰かぐら(三宅・他, 1992)、同年6月8日の火砕流に伴う灰かぐら(大学合同観測班地質班, 1992; 宮原・他, 1992; 寺井, 1993)などがある。これらに加えて、上昇高度が1000m以上に達する灰かぐらを伴う火砕流が9月初旬まで断続して発生しており、風向きによってはこれらの灰かぐらからの火山灰が垂木台地上に降下堆積した可能性が高い。よって第1層の大部分は、主に1991

年5月20日から1991年9月初旬までに、溶岩ドームの崩落に伴って生じた火砕流の灰かぐらから降下した火山灰の累積によるものと判断される。しかし、複数の降灰イベントが確認されているにもかかわらず、第1層には成層構造が認められない。これは風による火山灰の再移動(小林, 1986)、もしくは植生による火山灰のトラップ(井村, 1991)によるものと推定される。

第2層は、直径1.5cmに達する垂角レキを含むこと、旧地表面の起伏を埋めるように堆積していること、細粒粒子を欠き、正級化構造を示すことから、地表を流下してきた乱流状態の流れによって形成された可能性が高い。

1990-1995年噴火では、1991年8月末から第3ロープが北東側に成長し(大学合同観測班地質班, 1992)、それに伴って普賢岳北東側のおしが谷方向に頻繁に火砕流が流下するようになった。特に同年9月15日には、16時44分から4回にわたって規模の大きな崩落が相次ぎ、火砕流や火砕サージがおしが谷の中を繰り返し流下した(大学合同観測班地質班, 1992; 気象庁, 2002; Nakada and Fujii, 1993)。このイベントによって、垂木台地上で森林火災も発生した。このことから、第2層は、長井・他(2007)が示したように、1991年9月15日に発生した規模の大きな火砕流に伴う火砕サージ堆積物と判断される。なお、長井・他(2007)は、1991年9月15日16時44分から生じた4回の規模の大きなロープの崩落(16時44分、17時59分、18時42分および54分)全てに対応する火砕堆積物層を見出しているが、本論では2つのユニットしか識別できなかった。9月15日に起きた4回の規模の大きなロープの崩落のうち、3回目と4回目に相当する18時42分および18時54分から始まった崩落が、火砕流の流下に起因する地面の振動を感知した地震計の振り切れる継続時間が相対的に長く、より崩落の規模が大きかった(大学合同観測班地質班, 1992; 気象庁, 2002)こと、また長井・他(2007)が1回目および2回目の崩落に伴って生じた火砕堆積物層より、3回目および4回目の崩落によって生じた火砕堆積物層の方が粗粒粒子を含むと記載していることから判断すると、本論で見出した2つのユニットは、それぞれ18時42分および18時54分から始まった溶岩ロープの崩落に伴う火砕サージに対応するものと思われる。露頭Aにおいて第2層の最上部に認められた黒色植物片は、この火砕サージによって延焼した植物が風などによって再堆積したものかもしれない。

第3層は、第2層と同様の極粗粒火山灰を含み、かつその粗粒火砕物層の層厚が側方に変化することから、側方に移動する強い流れによって形成された可能性があ

る。これに対し、粗粒火砕物層を覆う細粒火山灰層は層厚が変化しないことから、降下火山灰堆積物と考えられる。

1992年1~3月には、潜在溶岩ドームの突き上げによって上方に成長した第5ロープから、おしが谷方向への溶岩の崩落が相次いだ(Nakada, 1992)。よって、第3層に認められる粗粒火砕物層は、長井・他(2007)の指摘通り、この時期に北東斜面にて発生した複数の火砕流に伴う火砕サージによって形成されたと考えられる。また、この粗粒火砕物層を覆う細粒火山灰層は、流下する火砕流から舞い上がった火山灰が降下堆積したものであろう。なお、第3層が特徴的に赤褐色を呈するのは、火砕流の供給源となった第5ロープが崩落まで数ヶ月以上山頂に残存しており、ロープ自体の高温酸化が進行していたためと推定される。

細粒砂とシルトサイズの火山灰の互層からなる第4層は、層を構成するユニットの層厚変化に乏しいことや、軽微な不整合が認められることから、火砕サージ、降下火山灰およびそれらの再堆積物の累積によって生じたものと考えられる。

1991年12月頃には、北東方向に成長と崩落を繰り返す第5ロープの活動と並行して、第6ロープが南東方向に成長を始め、これに伴って南東方向への火砕流が頻発するようになった(気象庁, 2002; Nakada, 1992)。第5ロープの活動は間もなく小康状態となったものの、その後第6ロープの近傍に相次いで第7~9ロープが生じた。これらの溶岩ロープの崩落に伴い、主に南東斜面への火砕流の流下が1993年2月過ぎまで継続した(気象庁, 2002; 中田, 1993)。その後、1993年2月から3月にかけて第10・11溶岩ロープが相次いで成長(気象庁, 2002)し、火砕流が全方位に流下するようになった。特に、1993年4月から6月にかけては、第11ロープの崩落に伴っておしが谷や垂木台地方向にも火砕流が流下するようになり、それに伴って垂木台地上にも火砕サージの流下や降灰があったとみられる。第4層が1992年1月~3月の間に生じた第3層を覆う事、および層内の不整合の存在から判断すると、第4層は、1992年3月から1993年6月中旬までの期間に発生した火砕サージ、火砕流の灰かぐらから降下堆積した火山灰およびそれらの再堆積によって生じたと判断できる。がまだすドーム(雲仙岳災害記念館)に現存する剥ぎ取り標本によれば、本論の第4層に相当する層は層厚がおよそ30cmに達し、層内に顕著な不整合面も認められない。これに対し、今回観察した露頭においては、第4層は長井・他(2007)の記載結果に比べて層厚が全体的に薄い(7~12cm; Fig. 3)ことや、軽微な不整合面を有する。これは、堆積後に層の

一部が流水によって削剥されたことを示唆する。

第5層は、亜角~亜円の火山レキと、主に粗~中粒火山灰を主体とし細粒火山灰を欠く淘汰の悪いユニットであること、ユニット中に炭化木片が散在することから、火砕流堆積物もしくは火砕サージ堆積物と判断できる。

1990~1995年噴火では、1993年4月末から垂木台地上に火砕流本体が流れ下るようになった。特に6月23日2時52分、11時14分、および24日5時25分に発生した3回の大きな火砕流は、火砕物に埋没したおしが谷を乗り越え、千本木地区に流下した(遠藤・他, 1996a, b; 気象庁, 2002)。これらの火砕流および火砕サージの分布図(遠藤・他, 1996b)をみると、最初に発生した6月23日2時52分の火砕流は本体部が垂木台地上を覆っているのに対し、他の2回の火砕流は中尾川の源流に当たる谷の中を主に流下しており、垂木台地上に顕著な堆積物を残していない。この分布から、第5層は6月23日2時52分の火砕流に伴う堆積物と結論付けることができる。なお、長井・他(2007)は、本論の第5層に相当する層を「火砕流堆積物の主流部で認められるような岩塊が少ないものの、火砕サージ堆積物ほど淘汰がよくない」という特徴や、表面のみが炭化している木片を含む、という観察事実から、垂木台地上に認められる流れ堆積物は典型的な火砕流堆積物ではなく、火砕流と火砕サージの両方の特徴を兼ね備えているとして、「火砕流・火砕サージ」と記載した。今回の調査において、ユニット内に表面のみが炭化した木片が認められるなど、長井・他(2007)と同様の特徴を見出したことから、本論でも第5層を「火砕流・火砕サージ」と表現することとする。

長井・他(2007)は、第5層のさらに上位に、本論以外の火砕堆積物層を記載しているが、本稿の露頭AおよびBでは第5層の上位には火砕流・火砕サージ堆積物層は認められなかった(Fig. 3, 4)。本論で紹介した露頭は、火砕流や火砕サージの流下範囲の縁辺部に当たり、Fujii and Nakada (1999)や長井・他(2007)が指摘したように、堆積物の層厚や岩相が狭い範囲で大きく変化する可能性がある。火砕流および火砕サージ堆積物の層厚や粒径分布の側方変化と地形との関係、および地形変化がもたらす火砕流や火砕サージの流動メカニズムへの影響については、今後の研究が待たれる。

4. 垂木台地の露頭の活用と保全

今回報告した2つの露頭では、1990~1995年噴火に伴って生じた降下火砕物と火砕流・火砕サージなどの流れ堆積物が同時に観察できる。よってこれらの露頭は、2地点間の露頭の対比に加えて、堆積物の層厚の側方変化や火砕堆積物の淘汰度の特徴から、降下堆積物、火砕

サージ、および火砕流を判別 (Wright *et al.*, 1980) する実習、および堆積物中に産する炭化木片の存在から、露頭に産する流れ堆積物が低温か高温かを判断する等、火山地質学の基礎を学習するための実習地として活用できる。さらにこれらの露頭からは、火砕堆積物をもたらした実際の噴火現象と火砕堆積物の特徴との関係が紹介できるため、学校の授業で地層のでき方を学ぶ小中学生や地域住民に、平成噴火で起きた噴火現象とその災害を、噴火推移と併せて系統的に示すこともできる。

このように、火山学および火山地質学の基礎を学ぶ優れた教材として活用可能なこれらの露頭は、一般市民がその地域の自然環境を学び、楽しむため場所として整備された垂木台地森林公園内にあり、露頭が長期にわたって保全される環境が整っている。したがって、これらの貴重な露頭を持続可能な方法で活用していくためには、露頭を利用する学術関係者や一般市民が、露頭保全の必要性を認識し、露頭の過度の削りこみや大量の試料採取を控えるなど、露頭そのものの持続可能な活用のあり方について意識の統一を図る必要があるだろう。

5. まとめと今後の課題

平成新山の北東約 2.5 km に位置する垂木台地森林公園内には、雲仙普賢岳で発生した 1990-1995 年噴火に伴う火砕堆積物が観察できる 2 つの露頭がある。本論では、これらの露頭に産する火砕堆積物の層序とその形成日時との対応関係を議論した。垂木台地上で認められる 1990-1995 年噴火に由来する火砕堆積物は、岩相から 5 つの層に分けることができる。最下部に位置する第 1 層は、主に溶岩ドームが出現した 1991 年 5 月 20 日から 9 月初旬までの期間に断続的に降下堆積した火山灰層の累層である。第 2 層は、1991 年 9 月 15 日 18 時 42 分および 18 時 54 分に発生した規模の大きな火砕流に伴う火砕サージ堆積物である。第 3 層は、1992 年 1~3 月に北東斜面で発生した火砕流に伴う火砕サージおよびそれらから降下した火山灰の累積によって生じた層である。第 4 層は、1992 年 3 月~1993 年 6 月中旬にもたらされた火砕サージ、降下火山灰およびそれらの再堆積物からなる層である。第 5 層は、1993 年 6 月 23 日 2 時 52 分に垂木台地上を流下した火砕流および火砕サージ堆積物である。長井・他 (2007) が指摘したように、垂木台地は火砕流や火砕サージ堆積物の側方変化が追跡できる貴重な場所であり、火砕流や火砕サージの岩相変化や、地形が火砕流や火砕サージの挙動にどのような影響を与えたのかを検討することができる。その詳細については、今後の研究の進展を待ちたい。火山地質学の基礎を学ぶ場としても最適なこれらの露頭を持続可能な方法で活用してい

くためには、主たる露頭利用者が露頭保全の重要性を認識する必要がある。

ゲートは設置されているものの、垂木台地森林公園は誰もがアクセスできる。これらの露頭に加え、千本木地区に保存されている露頭もあわせて見学すれば、露頭利用者の 1990-1995 年噴火に対する理解はさらに深まるであろう。ただし、本論で紹介した露頭での試料採取については、事前に環境省雲仙自然保護官事務所の許可を得た上で、必要最小限度にとどめてほしい。

謝 辞

がまだすドーム (雲仙岳災害記念館) の長井大輔氏には、1993 年 6 月に千本木地区に流下した火砕流や火砕サージ堆積物の分布について、有益な情報を提供していただいた。松島 健氏には、垂木台地および千本木地区に分布する 1990-1995 年噴火に由来する火砕堆積物についての文献をご教示いただいた。奥野 充氏ならびに小林哲夫氏には、本論を発表する機会を与えていただいたほか、編集作業でも大変お世話になった。査読者の廣瀬亘氏、田島靖久氏、宝田晋治氏、尾関信幸氏、ならびに他 3 名の匿名の査読者から頂いた数多くの有益な示唆や貴重な助言により、本論の論旨および内容は飛躍的に改善された。これらの皆様に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 大学合同観測班地質班 (1992) 雲仙火山 1991 年噴火、地質観察記録 (その 1)。火山, **37**, 47-53.
- 遠藤邦彦・宮地直道・千葉達朗・隅田まり・坂爪一哉 (1984) 1983 年三宅島噴火の火山灰層位学的研究。火山, **29**, S184-S207.
- 遠藤邦彦・千葉達朗・谷口英嗣・隅田まり・太刀川茂樹・宮原智哉・宇野リベカ・宮地直道 (1988) テフロクロノロジーの手法に基づく 1986~1987 年伊豆大島噴火の経緯と噴出物の特徴。火山, **33**, S32-S51.
- 遠藤邦彦・磯 望・宮原智哉・陶野郁雄・大野希一 (1993) 雲仙岳噴火に伴う降下火山灰。土質工学会編「雲仙岳の火山災害—その土質工学的課題をさぐる」, 45-58.
- 遠藤邦彦・菅香世子・磯 望・千葉達朗・酒井宗寿・山田スミコ・上野龍之 (1996a) 千本木地区を襲った雲仙岳 1993 年 6 月 23-24 日火砕流・火砕サージの特徴と災害。日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **36**, 115-121.
- 遠藤邦彦・上野龍之・橋川貴史・長井大輔 (1996b) 雲仙普賢岳噴火 1993 年の噴出物と災害。平成 7・8 年度科学研究費補助金 (一般研究 B) 研究成果報告書「火砕流の破壊力—雲仙普賢岳の例—」(研究代表者: 荒牧重雄), 43-68.
- Fujii, T., and Nakada, S. (1999) The 15 September 1991 pyroclastic flows at Unzen Volcano (Japan): a flow model for associated ash-cloud surges. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **89**, 159-172.

- 早川由紀夫 (1995) 浅間火山の地質見学案内. 地学雑, **104**, 561-571.
- 廣瀬 亘・他 10 名 (2002) 有珠山 2000 年噴火の経緯—特に降灰調査, 噴煙遠望観測, 地形変化, 火口分布および亀裂について. 北海道立地質研究所報告, **73**, 1-50.
- 井村隆介 (1991) 諏訪之瀬島火山の最近 200 年間の噴火堆積物—火山砂層による噴火活動の消長の評価—. 地質雑, **97**, 865-868.
- 気象庁 (2002) 平成 3 年 (1991 年) 雲仙岳噴火調査報告. 気象庁技術報告, **123**, 372p.
- 国方まり・大野希一・本松史年 (2003) 有珠山 2000 年 3 月 31 日噴火の推移. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **38**, 167-180.
- 小林哲夫 (1986) 桜島火山の断続噴火によって形成された火山灰層. 鹿児島大学南科研資料センター報告特別号, No. 1, 1-12.
- 宮原智哉・遠藤邦彦・陶野郁雄・千葉達朗・磯 望・撰田克哉・新川和範・安井真也・小森次郎・大野希一 (1992) 1991 年雲仙普賢岳噴火とその噴出物—第 1 報—. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **27**, 71-80.
- 宮地直道 (2006) 宝永噴火の噴出物の分布の特徴. 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門委員会編, 中央防災会議災害教訓の継承に関する専門委員会報告書, 57-61.
- Miyaji, N., Endo, K., Togashi, S. and Uesugi, Y. (1992) Tephrochronological History of Mt. Fuji. In 29th IGC Field Trip Guide Book “*Volcanoes and Geothermal Fields of Japan*” (edited by Kato, H. and Noro, H.), **4**, 75-109.
- 三宅康幸・藤井統邦・Al Jailani Ashraf Saiyed (1992) 雲仙岳 1991 年 5 月 28 日の火砕流に伴って降下した火山豆石の分布について. 島根大学地質学研究報告, **10**, 25-29.
- 長井大輔・宝田晋治・松島 健・宮縁育夫・杉本 健・星住英夫 (2007) 雲仙普賢岳垂木台地における 1990-1995 年噴火噴出物のトレンチ調査. 日本地球惑星科学連合大会予稿集, V156-P021.
- Nakada, S. (1992) Lava domes and pyroclastic flows of the 1991-1992 eruption at Unzen Volcano. In *Unzen Volcano the 1990-1992 eruption* (Edited by Yanagi, T., Okada, H. and Ohta, K.), The Nishinippon & Kyushu University Press, 56-66.
- 中田節也 (1993) 雲仙普賢岳噴火の経緯と溶岩ドームの成長. 土質工学会編「雲仙岳の火山災害—その土質工学的課題をさぐる」, 15-27.
- Nakada, S. and Fujii, T. (1993) Preliminary report on the activity at Unzen Volcano (Japan), November 1990 – November 1991: Dacite lava domes and pyroclastic flows. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **54**, 319-333.
- Nakada, S., Shimizu, H. and Ohta, K. (1999) Overview of the 1990-95 eruption at Unzen Volcano. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **89**, 1-22.
- 中田節也・長井雅史・安田 敦・嶋野岳人・下司信夫・大野希一・秋政貴子・金子隆之・藤井敏嗣 (2001) 三宅島 2000 年噴火の経緯—山頂陥没口と噴出物の特徴—. 地学雑, **110**, 168-180.
- 大野希一・国方まり・鈴木正章・西村裕一・長井大輔・遠藤邦彦・千葉達朗・諸星真帆 (2002) 有珠山 2000 年噴火でもたらされた火砕物の層序. 火山, **47**, 619-643.
- 太田一也 (1993) 1990-1992 年雲仙岳噴火活動. 地質雑, **99**, 835-854.
- 尾関信幸・奥野 充・小林哲夫 (2005) 雲仙火山, 眉山の形成過程. 火山, **50**, 441-473.
- 高橋寛徳・大野希一・遠藤邦彦 (2004) 有珠山 2000 年 3 月 31 日噴火における火砕物の形態的特徴から導かれる噴火プロセス. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **39**, 247-257.
- 宝田晋治・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・宮縁育夫・三浦大助・川辺禎久 (2002) 有珠山 2000 年噴火の火口近傍堆積物. 火山, **47**, 645-661.
- 寺井邦久 (1993) 1990 年～1993 年雲仙噴火の記録. 島高紀要, **6**, 130-161.
- 雲仙岳災害記念館 (2010) 改訂版・雲仙普賢岳平成大噴火. 雲仙岳災害記念館, 91p.
- 渡辺一徳・星住英夫・池辺伸一郎 (1992) 雲仙普賢岳 1990 年 11 月～1991 年 5 月の噴火活動—噴火開始から溶岩出現まで—. 熊本大学教育学部紀要 (自然科学), **41**, 47-60.
- 渡辺一徳・星住英夫 (1995) 火山地質図 8 「雲仙火山」. 地質調査所.
- Wright, J. V., Smith, A. L. and Self, S. (1980) A working terminology of pyroclastic deposits. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 315-336.
- 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.
- 吉田真理夫 (1995) 有珠山 1977-1978 年噴火による火砕物の火口付近での層序と岩相. 火山, **40**, 249-262.
- 吉本充宏・他 17 名 (2005) 浅間山 2004 年噴火の噴出物の特徴と降灰量の見積り. 火山, **50**, 519-533.

(編集担当 奥野 充・小林哲夫)