

各論

火山斜面災害の特徴とその対策

宮縁 育夫*

1 はじめに

わが国は110の活火山を有する世界有数の火山国であり、古来より数多くの火山災害が発生してきた。火山災害には噴火とは無関係に発生する災害もあり、大きな地震などによって大規模な崩壊が起こることがある。わが国においては1792年の直下型地震（M5程度）による雲仙火山眉山の山体崩壊⁶⁾、最近では1984年の長野西部地震による御嶽火山の崩壊⁷⁾などの事例がある。崩壊した山体斜面はほぐれながら、なだれのように高速で流下するため、その現象は岩屑なだれ（あるいは岩屑流）と呼ばれ、多大な被害をもたらす⁸⁾。しかしながら、こうした山体崩壊に伴う岩屑なだれは発生時期や規模の予測が極めて難しい現象である。

一方で、噴火現象とは直接関係しない、豪雨に伴って起こる斜面崩壊は発生頻度が高い現象であり、近年でも2012年7月の阿蘇火山や2013年10月の伊豆大島火山での災害は記憶に新しい。

筆者は、これらの火山において土砂災害発生直後から現地調査を行ってきたので、その結果から明らかになった火山斜面災害の特徴について報告する。

2

阿蘇火山における2001年6月の斜面災害

九州中央部に位置する阿蘇カルデラ周辺域においては、1953年6月や1990年7月、2001年6月、さらに2012年7

月に、豪雨に伴って激甚な土砂災害が発生している^{2), 3), 9)}が、本論では2001年6月29日に起こった斜面崩壊による災害について述べる^{10), 13)}。

2001年6月28日～29日にかけて西日本に停滞した前線によって、阿蘇カルデラ周辺域では多いところで総雨量240～280mmに達する降雨に見舞われた。この降雨は総雨量から見ると、数年に1回程度出現するものであったが、6月29日未明の3時間程度に集中しており、最大時間雨量は90mm以上に達する記録的な強雨であった。その降雨分布は阿蘇カルデラ北西部と中東部で多く、土砂災害発生地域の分布ともよく対応していた。

6月29日豪雨による斜面崩壊が多発した阿蘇カルデラ中東部の檜尾岳から根子岳の北斜面について、空中写真のオルソ画像を判読した結果、崩壊箇所数は711に達し、全崩壊面積は流域の2%程度を占めることがわかった。崩壊は阿蘇地域を代表する景観である草地斜面を中心に起こっていた（写真-1）が、森林斜面にも存在しており（写真-2）、1カ所当たりの平均崩壊面積は560m²程度であった¹³⁾。

2001年6月29日の崩壊は、溶岩・火砕岩を覆う阿蘇中央火口丘群起源の降下テフラが厚く堆積する斜面において発生していたが、崩壊深は1m程度の浅層崩壊が多く、崩壊はすべて降下テフラ累層内で起こっていた（写真-3）。滑落崖のテフラ層を詳しく観察すると、表層から続く黒ボク土層と直下の褐色シルト質火山灰層との境界（約3,600年前に降下した往生岳スコリアが混在^{8), 11)}付近（地表から約1m深）をすべり面として斜面崩壊が発生していることがわかった。



写真-1 2001年6月29日豪雨で発生した草地斜面の浅層崩壊（阿蘇火山中央火口丘群北東斜面）



写真-2 2001年6月29日豪雨による森林斜面の浅層崩壊（根子岳北斜面）

*MIYABUCHI Yasuo 熊本大学 教育学部 准教授，博士(理学) | 熊本市中央区黒髪2-40-1



写真-3 阿蘇火山における2001年6月29日崩壊の滑落崖とすべり面



写真-5 伊豆大島における2013年10月16日崩壊の滑落崖とすべり面
(写真上部スケール基底付近のY1テフラ直下にすべり面が形成されている)



写真-4 伊豆大島火山における2013年10月16日豪雨で発生した斜面崩壊 (大金沢上流部)

3

伊豆大島における2013年10月の斜面災害

2013年の台風26号によって伊豆大島では総雨量800mmを超える豪雨に見舞われ、10月16日未明に同島西側斜面で多数の斜面崩壊が発生した。その崩壊土砂はラハールとなって流下して元町地区などに氾濫堆積し、死者35名を出すなどの甚大な被害を及ぼした。筆者は災害発生直後から現地調査を実施し、斜面崩壊のテフラ層序学的特徴と崩壊発生の原因について検討した¹⁴⁾。

伊豆大島西部の元町において観測された2013年10月15日～16日の総雨量は824mmであり、その降雨は16日の午前1時～5時の4時間に集中し、ピークである午前2時～3時と3時～4時の時間雨量はそれぞれ118mmと118.5mmであった(気象庁データ)。伊豆大島では気象庁や東京都によって計7地点で降雨観測が行われており、台風26号による降雨量は同島西部の元町付近で最も多く、その分布は斜面崩壊発生地域とよく対応していた。

2013年10月16日に発生した斜面崩壊の大部分は、伊豆大島火山西側斜面の大金沢流域のほか、その北側の長沢流域および南側の八重沢流域に集中していた。最も被害の大きい大金沢流域の崩壊最上部は御神火スカイラインの標高450m付近であり、道路より上位斜面での崩壊幅

は10～40m程度であった。しかし、道路より下位の斜面では幅50～100mくらいに拡大し、さらにそれらが融合して幅250～300m程度(標高300～400m付近)の大きな崩壊となっていた(写真-4)。また、長沢流域では幅75m、高さ70m程度の大規模な崩壊が発生し、八重沢流域では谷沿いに細長いガリー状の崩壊が認められた。

台風26号に伴う豪雨が集中した伊豆大島西部の傾斜20°を越える森林斜面において多数の崩壊が発生したが、斜面崩壊の大部分は深さが1～2m程度の浅層崩壊であった。同島西側斜面には1338年に流出したY5溶岩が分布しており⁴⁾、当初はこの溶岩と上位のテフラ層との境界で崩壊が発生していると予想されたが、実際にはY5溶岩上位のテフラ累層内での崩壊であることが現地調査の結果判明した。

2013年10月16日の斜面崩壊のすべり面は、1777～1778年の噴火で堆積したY1テフラ(暗灰～黒色の粗粒火山灰とピンク色の細粒火山灰の互層^{6),15)})と1421年噴火に伴うY4テフラ(暗灰～黒色の粗粒火山灰とピンク～紫色の細粒火山灰の互層)のいずれも直下に生じていることが明らかとなった。こうしたすべり面の位置によって、斜面崩壊は3つのタイプに区分された。まずはY1テフラと直下の土壌層との境界にのみすべり面が生じているものであり、この場合は深さが1m以下で非常に浅い崩壊となっていた(写真-5)。次は崩壊上部ではY1テフラ直下に、下部ではY4テフラ直下にすべり面が形成されており、下部ほど深い崩壊となっているタイプである。また3番目のタイプとしてY4テフラと直下の土壌層との境界にのみすべり面が生じている深さ2m程度の崩壊が認められた。こうした比較的深い斜面崩壊では、Y4テフラ下部にパイピング・ホール(大部分は径10cm以下)が多数観察された(写真-6)。

4

斜面崩壊の原因となったテフラ層の性質

阿蘇火山における2001年6月29日豪雨による斜面崩壊では、表層から深さ約1mに位置する黒ボク土層と褐色



写真-6 伊豆大島の2013年10月16日斜面崩壊で見られるパイピング・ホール（写真中の矢印）

火山灰層との境界付近がすべり面となっており、これは同火山での1953年や1990年、さらに2012年災害とも共通した特徴であった^{9),10)}。また、2013年10月16日の伊豆大島災害においても、火山灰累層と直下の土壌層との境界付近（深さ1～2m程度）に崩壊のすべり面が観察された¹⁴⁾。

斜面崩壊に影響を与えたテフラ層の特徴を明らかにするため、伊豆大島火山の2013年斜面崩壊を対象にテフラや土壌層の粒度分析、山中式土壌硬度計¹⁹⁾による硬度測定、さらに未攪乱試料を採取して飽和透水係数の測定⁵⁾を行った。その結果、すべり面下位の土壌層が上位のテフラ層に比べて、シルトなどの細粒成分に富んで強く締まっていることがわかった。また、すべり面上位のテフラ層の飽和透水係数は $10^{-3} \sim 10^{-2} \text{cm/s}$ であるのに対し、下位の土壌のそれは $10^{-5} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ となっており、すべり面下位の土壌層は上位に比べて1/10～1/100程度透水性が低いことが明らかとなった¹⁴⁾。こうした透水性の違いは2012年7月の阿蘇火山の斜面崩壊でも確認されており¹⁷⁾、すべり面上下での粒度組成・硬度・透水性の差異が斜面崩壊の原因になったと考えられる。

5 崩壊土砂の流動化

2001年6月29日の阿蘇災害や2013年10月16日の伊豆大島災害では、斜面崩壊で生産された土砂は崩壊地直下に残存することなく、ラハールとして一気に流下して下流部の治山・砂防堰堤に堆積し、細粒土砂はさらに下流域へと運搬された。ラハール (lahar) とは、もともと火山泥流を意味するインドネシア語であり、本論では火山地域において発生する水を媒介とした火山砕屑物の流動現象を意味する用語として使用する。2013年の伊豆大島災害では35名の尊い人命を奪い、物的にも被害をもたらしたのは斜面崩壊そのものでなく、同時に発生したラハールであった（写真-7）。

2001年6月の阿蘇災害では、降雨ピークから10分以内にラハールが発生したことがワイヤセンサーの切断時刻などから判明しており¹⁰⁾、2013年10月の伊豆大島災害の場合も、地震計データや住民の聞き取り調査から、降雨ピークとほぼ同時に崩壊とラハールが発生して元町地区



写真-7 伊豆大島2013年10月16日に発生したラハールによる被害（大金沢左支川）



写真-8 伊豆大島2013年10月16日の斜面崩壊で生産・運搬された土砂と流木（長沢堆積工）

の集落を襲ったことがわかっている¹⁴⁾。つまり、崩壊した土砂や樹木が留まることなく、一気にラハールとなって高速で斜面を流下して人家などを襲ったことが重要な点である（写真-8）。こうした現象は、崩壊した物質が細粒な火山灰層であるということに起因しており、溶岩だけでなく火山灰などのテフラを多量に放出する阿蘇や伊豆大島のような玄武岩質安山岩の火山の急峻な地形に特徴的な災害であるといえる。

6 火山斜面災害の対策

以上述べたようなテフラ層の浅層崩壊とそれに伴うラハールは、今後も火山地域において多発するものと予想されるが、斜面崩壊の発生地点や規模の予測は極めて難しい。現実的には、下流域に治山・砂防堰堤を設置して居住地域への土砂氾濫を少しでも減少させることが、災害の軽減につながると思う。そこで問題になるのが施設の規模である。阿蘇火山における1953年6月と1990年7月災害時の比流出土砂量は、それぞれ $3.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$ （崩壊地総面積による）、 $3.1 \sim 3.9 \times 10^4 \text{m}^3/\text{km}^2$ （空中写真判読と河川縦断測量結果による）と概算されている^{1),2),3)}。また、治山堰堤の堆砂量から同火山の2001年6月災害の比流出土砂量は $3.0 \sim 4.1 \times 10^3 \text{m}^3/\text{km}^2$ と見積もられている¹³⁾。さらに、伊豆大島2013年10月災害時の

比流出土砂量は、砂防堰堤の堆砂量から $1.8\sim 4.1\times 10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$ と算出されている¹⁴⁾。これらのことから、火山地域のテフラ斜面の表層崩壊に伴うラハールによっては $10^3\sim 10^4\text{ m}^3/\text{km}^2$ オーダーの土砂流出が発生することがわかる。このことは、崩壊深を数mと仮定すると、豪雨に伴う斜面崩壊の総面積は最大でも流域面積の数パーセント以下であることを意味しており、今後の治山・砂防計画で対象とすべき土砂量を決定する際の重要な基礎資料になるであろう。

7

おわりに—2016年熊本地震による斜面災害をうけて—

本論では、2001年6月の阿蘇災害および2013年10月の伊豆大島災害の事例を取り上げて、豪雨に伴って発生する火山斜面災害の特徴について述べた。しかし、本論執筆中の2016年4月16日未明に熊本県でM7.3の地震が起こり、阿蘇カルデラ西部の南阿蘇村では震度6強の強い揺れに襲われ、多数の斜面崩壊が発生した。この地震に伴う崩壊は急斜面だけでなく、緩斜面でも認められる(写真-9)など、豪雨による崩壊とは異なった特徴を有している。阿蘇火山では弥生時代にも類似した災害が起こっていることが遺跡の発掘調査で判明しており¹²⁾、豪雨や地震による斜面災害は歴史時代を含めて数年～数100年に1回程度発生しているものと考えられ、発生頻度の比較的高い土砂移動現象である。今後もこうした土砂災害の発生が予測されるため、ハード対策に頼るだけでなく、気象・河川観測網の整備と住民の警戒避難対策の構築といったソフト対策の充実を図る必要がある。

参考文献

- 1) 平野宗夫, 橋本晴行: 古恵川において発生した土石流の特性, 文部省科学研究費突発災害調査「1990年7月九州中北部豪雨による災害の調査研究」(平野宗夫代表) 研究成果報告書, pp. 109~120, 1991.
- 2) 石川芳治, 草野慎一, 福澤誠: 熊本県一の宮町における泥流・流木の氾濫・堆積特性と家屋の被害, 土木技術資料, 34(6), pp. 40~45, 1992.
- 3) 川口武雄, 難波宣士: 昭和28年6月の九州水害に関する調査報告, 阿蘇地区編, 砂防関係(その1 一般対策), 林業試験場研究報告, 69, pp. 97~123, 1954.
- 4) 川辺禎久: 伊豆大島火山地質図(1:25,000), 火山地質図10, 地質調査所, p. 8, 1998.
- 5) Klute, A., Dirksen, C.: Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute, A. (ed.) Method of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods (2nd edition), Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 687~734, 1986.
- 6) 小山真人, 早川由紀夫: 伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史, 地学雑誌, 105, pp. 133~162, 1996.
- 7) 松田時彦, 有山智雄: 1984年長野県西部地震に伴う御岳山の



写真-9 阿蘇火山における2016年4月16日地震で発生した緩斜面の崩壊(南阿蘇村高野台地区)

- 8) Miyabuchi, Y.: A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. *Sedimentary Geology*, 220, pp. 169~189, 2009.
- 9) 宮縁育夫: 阿蘇カルデラにおいて2012年7月の九州北部豪雨によって発生した斜面崩壊, 地学雑誌, 121, pp. 1073~1080, 2012.
- 10) Miyabuchi, Y., Daimaru, H.: The June 2001 rainfall-induced landslides and associated lahars at Aso Volcano, southwestern Japan: implications for hazard assessment. *Acta Vulcanologica*, 16, pp. 21~36, 2004.
- 11) 宮縁育夫, 渡辺一徳: 埋没黒ボク土層の¹⁴C年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代, 火山, 42, pp. 403~408, 1997.
- 12) 宮縁育夫, 渡辺一徳, 岡本真也: 阿蘇中央火口丘群西側斜面で発見された岩屑堆積物とそれらの¹⁴C年代, 火山, 48, pp. 229~234, 2003.
- 13) 宮縁育夫, 大丸裕武, 小松陽一: 2001年6月29日豪雨によって阿蘇火山で発生した斜面崩壊とラハールの特徴, 地形, 25, pp. 23~43, 2004.
- 14) Miyabuchi, Y., Maeno, F., Nakada, S.: The October 16, 2013 rainfall-induced landslides and associated lahars at Izu Oshima Volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 302, pp. 242~256, 2015.
- 15) Nakamura, K.: Volcano-stratigraphic study of Oshima Volcano, Izu. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 42, pp. 649~728, 1964.
- 16) 太田一也: 眉山崩壊の研究—1—崩壊機構について, 九州大学理学部島原火山温泉研究所研究報告, 5, pp. 6~35, 1969.
- 17) Shimizu, O., Ono, M.: Relationship of tephra stratigraphy and hydraulic conductivity with slide depth in rainfall-induced shallow landslides in Aso Volcano, Japan. *Landslides*, in press, 2016. (DOI 10.1007/s10348-015-0666-2)
- 18) 宇井忠英: 火山体で発生する岩屑流の流動プロセス, 地形, 8, pp. 83~93, 1987.
- 19) 山中金次郎, 松尾憲一: 土壌硬度に関する研究(第1報)土壌硬度と含水量の関係, 日本土壌肥科学雑誌, 33, pp. 343~347, 1962.