

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

宮 縁 育 夫*

Landslides Triggered by the July 2012 Torrential Rain in Aso Caldera, Southwestern Japan

Yasuo MIYABUCHI*

Abstract

Intense rainfall on 11–12 July 2012 (maximum total 572 mm; maximum 4-hour rainfall 385 mm) triggered numerous landslides and associated lahars in Aso caldera, central Kyushu, southwestern Japan. Most of the landslides were concentrated in the eastern part of Asodani Valley, at the northern part of Aso caldera. The landslides were divided into three types: landslides occurring at steep caldera walls, landslides generated on the slopes of the post-caldera central cones of Aso Volcano and landslides occurring on steep slopes of Nekodake Volcano. Most of the landslides were shallow (about 1–2 m thick) soil slips in unconsolidated fallout tephra layers overlying lava and welded Aso pyroclastic-flow deposits, and mobilized completely into lahars. The lahars eroded talus slopes and/or channel side slopes and transported boulders, which damaged houses and caused fatalities at some sites. Similar landslide and associated lahar disasters occurred at Aso Volcano in June 1953, July 1990 and June 2001. The characteristics of landslides and lahars provide important information for preventing or mitigating future similar disasters in the Aso caldera region.

Key words : Aso caldera, July 2012 torrential rain, landslides, lahars, geological characteristics
キーワード : 阿蘇カルデラ, 九州北部豪雨, 斜面崩壊, ラハール, 地質学的特性

I. はじめに

2012 年 7 月 11 日から 14 日にかけての九州北部豪雨によって、福岡県・熊本県・大分県・佐賀県では斜面崩壊や河川氾濫などの甚大な災害が発生した。とくに 7 月 11 日から 12 日に記録的な豪雨に見舞われた阿蘇カルデラとその周辺域では斜面崩壊等によって死者 23 名、行方不明者 2 名(熊本県によるデータ)を出す大惨事となった。筆者は 7 月 12 日の災害発生後から阿蘇カルデラ

周辺域で発生した斜面崩壊やラハールについて現地調査を行ったので、その結果を報告する。また、同地域では過去においても同様の災害が起こっており(Miyabuchi and Daimaru, 2004), それらと共通した特徴についても述べる。

なお、本論では水を媒介とする火山碎屑物の流動現象について、インドネシア語で火山泥流を意味する用語であるラハール(lahar)を使用する。ラハールの発生過程は多様であり、必ずしも噴火現象に関連する必要はない(Vallance, 2000)ので、

* 熊本大学教育学部

* Faculty of Education, Kumamoto University, Kumamoto, 860–8555, Japan

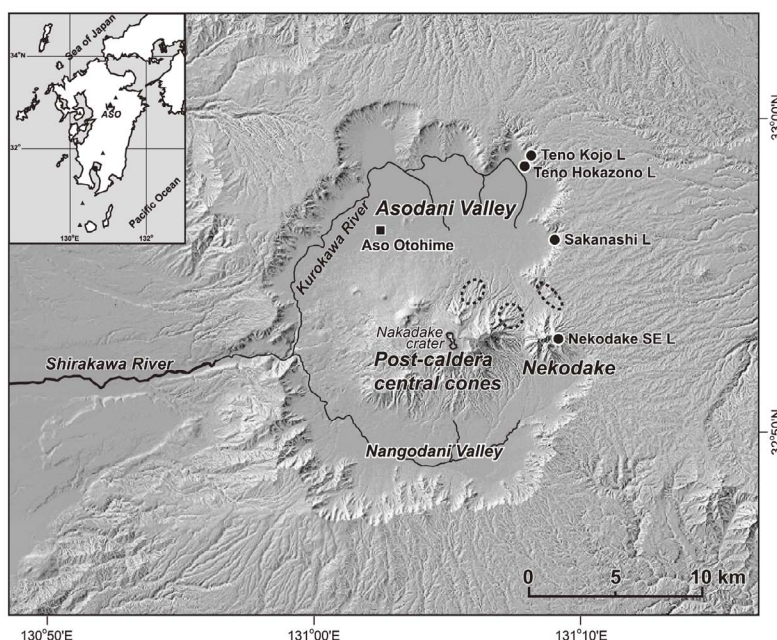


図 1 阿蘇カルデラの地形と 2012 年 7 月豪雨による斜面崩壊発生地点. 破線で囲まれた範囲は、中央火口丘群北東斜面と東側カルデラ壁において浅層崩壊が集中する地域を示す. レリーフマップは国土地理院 50 m メッシュ標高データを使用してカシミール 3D で作成した.

Fig. 1 Location of landslides triggered by July 2012 intense rainfall in Aso caldera, central Kyushu, SW Japan. Areas enclosed by dashed lines denote zones where shallow soil slips were concentrated on the northeastern slopes of post-caldera central cones and at the eastern caldera wall. The relief map was produced by Kashmir 3D using 50-m-mesh DEM data published by the Geographical Survey Institute (Japan).

本論で述べる豪雨に伴って発生する現象をラハールと呼ぶことに何ら問題はない。

II. 調査地域の地形地質概要

阿蘇カルデラ（南北 25 km，東西 18 km）は約 27 ～ 9 万年前にかけて起こった 4 回の巨大火砕流噴火によって形成され，それらの火砕流は下位より Aso-1（27 万年前），Aso-2（14 万年前），Aso-3（12 万年前），Aso-4（9 万年前）という 4 つのユニットに区分されている（小野ほか，1977；松本ほか，1991）。カルデラ内には約 9 万年前の Aso-4 噴火直後に活動を開始した中央火口丘群が存在しており（小野・渡辺，1985；Miyabuchi，2009），この中央火口丘群によって阿蘇カルデラは南北に分けられ，北半分は阿蘇谷，南半分は南郷谷と呼ばれている（図 1）。

カルデラ西端の立野火口瀬での溶岩流の堰き止

め（宮縁ほか，2004a）によって阿蘇谷，南郷谷ともに複数回湖沼化したことが明らかになっており（渡辺，2001），阿蘇谷では 8900 年前頃（ ^{14}C 年代の暦年較正結果）まで湖が存在し，その後も沼や湿地などの環境が続いたことがわかっている（長谷ほか，2003；宮縁ほか，2010）。厚い湖成堆積物によって阿蘇谷は標高 500 m 前後のほぼ平坦な地形となっており，谷の中央部から北部を黒川がほぼ西流している。阿蘇谷のカルデラ壁は，300 ～ 500 m 程度の高低差を有しており，先阿蘇火山岩類の溶岩・火砕岩とそれを覆う阿蘇火砕流堆積物からなっている（小野・渡辺，1985）。今回斜面崩壊が多発した北東～東側のカルデラ壁の大部分は上位より後カルデラ期の降下テフラ累層，Aso-2 および Aso-1 火砕流堆積物（大部分は溶結）で構成されており，その下位には崖錐堆積物が発達している。

阿蘇カルデラのほぼ中央部に存在する中央火口丘群は17座以上の火山の複合体であり、その地形や構造は多様で、岩石も玄武岩から流紋岩まで広い化学組成をもっている（小野・渡辺, 1985）。中央火口丘群の斜面は標高を増すごとに急傾斜となっており、高岳（標高1592 m）や中岳（1506 m）などの北側山腹では900 m付近から上部が20°以上の急斜面となっている。地質はこれらの火山の溶岩・火砕岩とそれらを覆う中央火口丘群起源の降下テフラ累層からなっている（小野・渡辺, 1985）が、急崖には岩石が露出し、山頂付近は岩峰も多数認められる。また、カルデラ東縁付近に位置し、深く開析が進んだ成層火山である根子岳（1433 m）は、かつて後カルデラ中央火口丘群の一員と考えられていたが、現在はAso-2とAso-3噴火の間の約15万年前に形成されたと解釈されている（小野・渡辺, 1985; 松本ほか, 1991）。

阿蘇谷のほぼ中央部に位置する気象庁阿蘇乙姫観測所（標高497 m; 図1）での1979～2000年の気象観測データ（平年値）によれば、年平均気温は12.7℃、最寒月（1月）と最暖月（8月）の平均気温はそれぞれ1.8℃と23.7℃、また年降水量は2861 mmと多雨であり、梅雨期の6月と7月にはそれぞれ600 mm程度の降雨がある。

III. 2012年7月九州北部豪雨の発生状況

2012年7月11日から14日にかけて、九州北部の福岡県・熊本県・大分県・佐賀県では記録的な豪雨に見舞われた。7月11日朝に朝鮮半島付近で停滞していた梅雨前線が12日朝には対馬海峡まで南下した。梅雨前線の南側にあたる九州北部地域では、東シナ海上から暖かく湿った空気が流入し、大気の状態が非常に不安定となった。発達した雨雲が線状に連なって次々と流れ込んだ熊本県熊本地方や阿蘇地方、大分県西部では、12日未明から朝にかけて猛烈な降雨が出現した。その後も、7月14日にかけて梅雨前線が朝鮮半島付近に停滞し、13日は佐賀県と福岡県を中心に、14日は福岡県や大分県を中心に大雨となった。

この4日間の総降水量は、福岡県筑後地方、熊

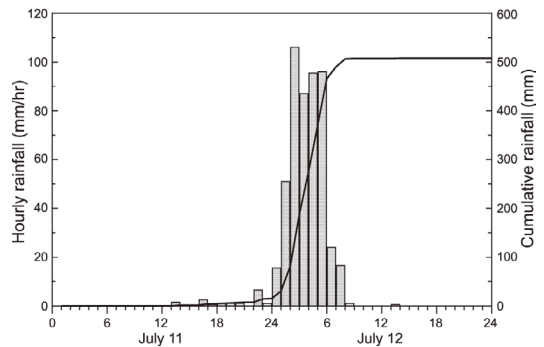


図2 気象庁阿蘇乙姫観測所における2012年7月11～12日の時間雨量と積算雨量。

Fig. 2 Temporal change in hourly rainfall on July 11–12, 2012 observed at the Aso Otohime meteorological station of the Japan Meteorological Agency.

本県阿蘇地方、大分県西部で500 mmを越えた観測所が5地点あり、これらの地域では、河川の氾濫や土石流が発生した。その他、道路損壊、農業被害、停電被害、交通障害なども起こった。7月11日から14日にかけて九州北部地方に甚大な被害をもたらしたこの大雨について、気象庁は「平成24年7月九州北部豪雨」と命名した（福岡管区气象台, 2012）。

阿蘇カルデラ周辺域における7月11日の降雨量は少ないものであったが、12日0時過ぎから徐々に激しい降雨となった。気象庁阿蘇乙姫気象観測所では2～3時に時間雨量106 mmを記録し、その後も6時まで時間雨量87～96 mmの強雨が継続した（図2）。気象庁と熊本県土木部土砂災害情報監視システムの観測データによる阿蘇カルデラ周辺域における降雨分布を図3に示す。7月11～12日の総雨量は阿蘇カルデラ南半分の南郷谷で300 mm以下と少なく、北側の阿蘇谷では400 mm以上と多かった。とくに、阿蘇谷の中西部では総雨量500 mmを越える地点があった。その降雨は12日2～6時の4時間に集中しており、4時間雨量は阿蘇谷全域で300 mm以上、中西部から中東部にかけての地域で350 mmを越えていた。6時以降、降雨は徐々に穏やかになり、9～10時頃までにはほぼ終了した。

このように、2012年7月11日から12日にか

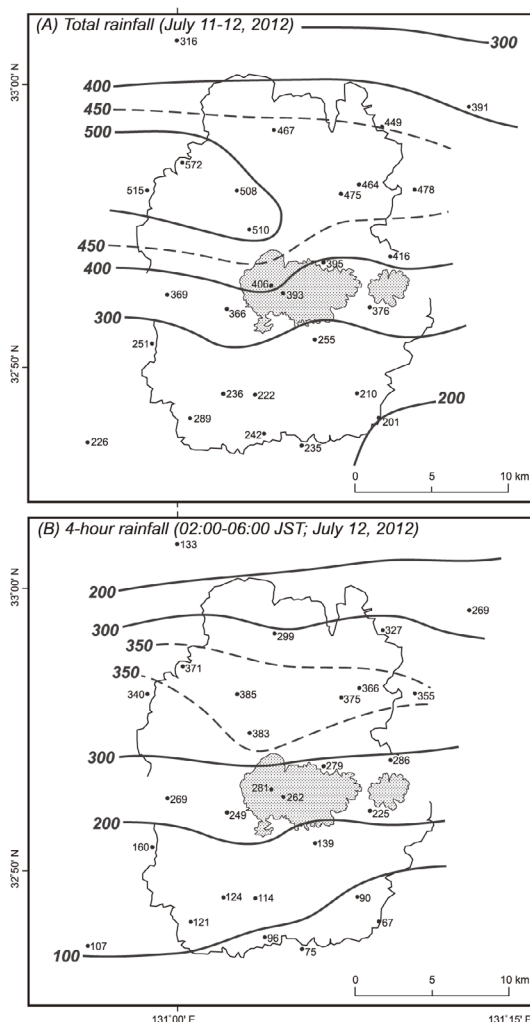


図3 ア蘇カルデラ周辺域における2012年7月11～12日の降雨の分布状況。気象庁および熊本県土木部による観測データを使用。

Fig. 3 Contour maps of rainfall (in millimeters) on July 11-12, 2012 in the Aso caldera region. Data are from the Japan Meteorological Agency and the Kumamoto Prefectural Government. Shaded areas are at elevations above 1000 m.

けてア蘇カルデラ周辺域，とくにア蘇谷において発生した豪雨は多いところで総雨量500 mm以上であったが，12日未明の4時間に集中するという記録的なもので，気象庁が表現する「これまで経験したことのない大雨」であったといえる。

IV. 斜面崩壊の発生状況

2012年7月の九州北部豪雨による斜面崩壊の発生地域は，降雨量の集中域とよく対応しており，ア蘇カルデラ北側のア蘇谷の東部にあたる東側カルデラ壁や根子岳・中央火口丘群東部の北斜面を中心としている。また，カルデラ北西部の兜岩周辺やカルデラ西端の立野付近でも人的被害をもたらす斜面崩壊が起きている。そうした斜面崩壊は，カルデラ壁斜面の崩壊（口絵1-図1），中央火口丘群斜面の崩壊（口絵1-図2），根子岳斜面の崩壊（口絵1-図8）の3つに大きく区分することができる。以下，それぞれの特徴について述べる。

1) カルデラ壁の崩壊

今回発生した災害のなかで最も被害が大きかった地点の一つとして，ア蘇市一の宮町坂梨の斜面崩壊があげられる。国道57号線滝室坂の南側のカルデラ壁で斜面崩壊が発生し，その崩壊土砂がラハールとなって流下して人家や農地を襲い，6名の尊い人命が奪われた。

災害発生地点（図1）付近のア蘇カルデラ壁の標高差は250～300 m程度であり，標高680～720 m付近にはア蘇火砕流堆積物からなる急崖が形成されている（図4）。ア蘇火砕流堆積物は，下部がAso-1火砕流堆積物，上部がAso-2火砕流堆積物からなり，両者の大部分は溶結している。両火砕流堆積物間には降下テフラやラハール堆積物が挟在している。崩壊した土砂は標高510～630 m付近に多量に堆積しており，直径5 mを越える溶結凝灰岩の巨礫が散在している（口絵1-図3）。

崩壊は，ア蘇火砕流堆積物を覆うア蘇中央火口丘群起源の降下テフラが堆積する傾斜33°程度のスギ人工林斜面において発生していた（口絵1-図4）。崩壊頂部は標高810 m付近に位置しており，滑落崖の幅は約5 mで高さは1.5 mであった。滑落崖を注意深く観察すると，表層から1 mは腐植が混じる黒色火山灰層からなり，その下位には厚さ0.6 mのバブルウォール型火山ガラスに富む褐色火山灰層があった（図5）。このバブルウォール型火山ガラスは約7300年前に降下した（奥野，2002）鬼界アカホヤ火山灰（略称 K-Ah;

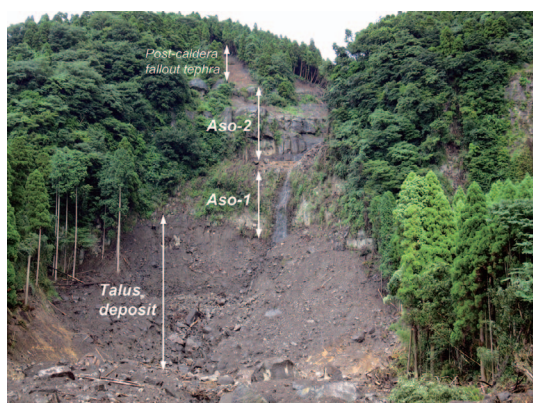


図 4 崩壊した東側カルデラ壁の地質構造（阿蘇市一の宮町坂梨）。

Fig. 4 Geological structure of the eastern wall of Aso caldera near Sakanashi, Ichinomiya, Aso city.

長友・庄子, 1977; 町田・新井, 1978, 2003) 起源のガラスと考えられるが、この褐色火山灰層は K-Ah の純層ではなく、それが急斜面で移動して再堆積したものである。さらに下位はやや固く締まった褐色火山灰層で、崩壊は K-Ah が多量に混入する火山灰層の基底付近をすべり面として発生していることがわかった。山中式土壌硬度計（山中・松尾, 1962）を用いて滑落崖断面の土壌硬度を測定すると、すべり面の上下で差違が認められ、すべり面下位の火山灰層は上位に比べて、固く締まっていることがわかった。このテフラ斜面における崩壊長は約 130 m（水平距離約 110 m）、幅は最大 40 m に達するが、崩壊深は 1 ～ 1.5 m 程度の浅層崩壊であった。

崩壊したテフラ斜面の下位に存在する Aso-2 溶結凝灰岩（厚さ約 25 m）と Aso-1 溶結凝灰岩（厚さ約 20 m）の表面はコケや草本類などの植物が認められることから、これらの岩盤はほとんど崩落していないことがわかった。一方、Aso-1 溶結凝灰岩からなる急崖の直下に堆積する崖錐斜面（多数の巨礫を含む）は高さ 40 m、幅 20 ～ 30 m 程度にわたって大きく侵食されていることが観察された。こうしたことから、最初にカルデラ壁斜面最上部のテフラ層で起こった浅層崩壊の土砂と多量の水が溶結凝灰岩からなる急崖を落下し、直

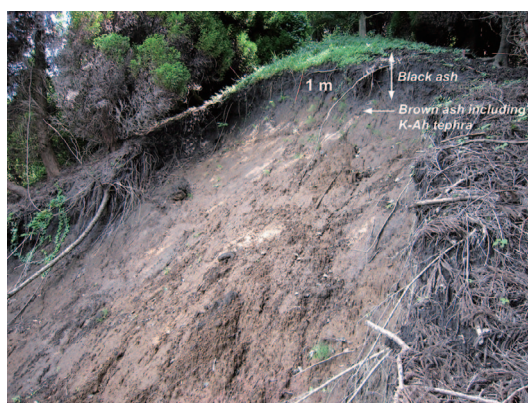


図 5 カルデラ壁のテフラ斜面に発生した崩壊頂部の状況（阿蘇市一の宮町坂梨の斜面崩壊）。滑落崖の高さは約 1.5 m で、鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah）の火山ガラスが多量に混入する褐色火山灰層の直下をすべり面として崩壊が発生している。

Fig. 5 Head scarp of the Sakanashi landslide on a forested tephra slope. Height of the scarp is about 1.5 m. Rupture surface of the landslide was formed just below brown ash layer including extensive bubble-wall type glass of Kikai Akahoya tephra (K-Ah).

下の崖錐斜面を侵食した際に巨礫を運搬し、標高 555 ～ 570 m 付近にあった民家などを襲ったものと考えられる（図 6）。

このように、阿蘇市一の宮町坂梨における土砂災害は溶結した阿蘇火砕流堆積物（溶結凝灰岩）上位の後カルデラ期テフラ層の浅層崩壊が原因となっているが、カルデラ壁斜面の崩壊には溶結凝灰岩下位の崖錐堆積物のみが崩壊している地点（一の宮町手野外園など）も多数認められた（図 7）。

2) 中央火口丘群斜面の崩壊

人的被害を与えなかったもので、ほとんど報道されていないが、阿蘇中央火口丘群の北側斜面、とくに楢尾岳（標高 1331 m）・中岳・高岳の山麓にあたる草地斜面において多数の斜面崩壊が発生した（口絵 1-図 2）。崩壊箇所数は 100 箇所を越えていると考えられるが、詳細については現在のところ不明である。

滑落崖の位置は斜面頂部であったり、下部であったりと多様であるが、崩壊深は 1 ～ 2 m 程度のものが多く、大部分は降下テフラ累層内で発



図 6 民家を襲った流木と巨礫(阿蘇市一の宮町坂梨).

Fig. 6 Woody debris and boulder damaged a house at Sakanashi, Ichinomiya, Aso city.

生している浅層崩壊であり、下位の溶岩や火砕岩にまで達するような崩壊は少ない。崩壊が多発している中岳北斜面の泉川流域において現地調査を行ったところ、滑落崖を構成するテフラ層は厚さ 1 m 程度の黒色火山灰層（上部は砂質火山灰層、下部は埋没黒ボク土層）であり、その黒色火山灰層直下の褐色火山灰層付近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(口絵 1-図 6)。こうした事実を反映して、上部と側面の滑落崖は黒色を、すべり面の下位である斜面中～下部は褐色を呈していることが多い。すべり面付近の層準には約 3600 年前に降下堆積した往生岳スコリア(宮縁・渡辺, 1997; Miyabuchi, 2009)が存在することから、最近約 3600 年間に堆積した火山灰や土壌層が崩壊しているということになる。

3) 根子岳火山の斜面崩壊

阿蘇カルデラの東縁付近に位置する根子岳火山では、いくつかの斜面崩壊が発生している。そのなかで、国道 265 号線に被害を及ぼした南東斜面の谷筋に発生した崩壊とラハール(図 1, 口絵 1-図 7)について現地調査を行ったので、その結果を述べる。

この崩壊は傾斜約 35°の凹型斜面で起こったもので、その頂部は標高 1250 ~ 1300 m 付近の尾根に達しており、崩壊幅は 30 m 程度である(口絵 1-図 8)。崩壊壁には溶岩などの岩盤が露出し

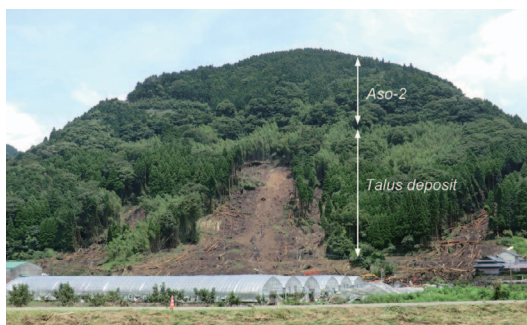


図 7 北東カルデラ壁の崖錐斜面で発生した斜面崩壊(阿蘇市一の宮町手野外園).

Fig. 7 Landslide on a talus slope below the welded Aso pyroclastic-flow deposit at the northeastern wall of Aso caldera (near Teno Hokazono, Ichinomiya, Aso city).

ているが、それらの岩盤は大きく崩壊しておらず、厚さ数 m 以内の表層土が植生とともに崩落したものと考えられる。崩壊土砂はラハールとなって急斜面を流下するとともに、標高 1030 m 付近より下流では幅 10 ~ 15 m 程度、深さ 10 m 以内の侵食が発生しており、巨礫も運搬したとみられる。運搬された土石は途中 2 箇所の治山ダム(標高 840 m 付近)を破壊し、とくに下流側のダムは堤体のすべてが流失した(約 150 m 流下)。そうしたラハールは国道 265 号線付近に多量に堆積し、道路を通行止めにするなどの被害を及ぼした(口絵 1-図 7)。

このように根子岳火山での崩壊は尾根に達する急斜面で発生しており、崩壊土砂は大きな標高差をラハールとして流下し、流路沿いの堆積物を侵食して巨礫を運搬し、下流域の道路などに多量に堆積したことが特徴である。

V. 阿蘇カルデラ周辺域での斜面崩壊の特徴 —過去の災害との比較—

以上述べたように、阿蘇カルデラ周辺域で 2012 年 7 月の九州北部豪雨によって発生した斜面崩壊は 3 つのタイプがあり、崩壊した斜面の部位などが異なるが、いずれのタイプも岩盤が大きく崩壊したものではなく、表層付近のテフラ層などが滑落する浅層崩壊が多かった。その崩壊土

砂は細粒物質を主体とするために、崩壊地直下に残存することなく、ラハールとなって下流域へと運搬された。今回は阿蘇カルデラにおいて4時間に350 mmを越える降雨があった地点があり、流出した水の量も相当なものであったと考えられる。多量の水が崩壊地直下の崖錐斜面を侵食して巨礫を運搬し、それらの土石が付近の民家を襲ったことも特徴である。

阿蘇カルデラにおいては、1953年6月と1990年7月、さらに2001年6月にも激甚な土砂災害が発生している(川口・難波, 1954; 熊本営林署・林業土木コンサルタンツ, 1991; 宮縁ほか, 2004b)。降雨量や降雨強度の多寡により崩壊箇所数や面積、崩壊土砂量などが異なるが、ある共通した特徴が認められる。宮縁ほか(2004b)は、阿蘇カルデラ周辺における土砂災害はテフラが堆積する斜面での浅層崩壊による土砂が一気にラハールとして流動化することを特徴としてあげており、そうしたプロセスによって起こるラハールをテフラ層崩壊発生型ラハール(tephra-slip-induced lahar)と呼んでいる。過去の災害時における流域からの流出土砂量は $10^3 \sim 10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ オーダーとされており(宮縁ほか, 2004b)、2012年7月災害の規模も同程度と推定されるが、詳細は今後の課題である。

VI. まとめ

2012年7月の九州北部豪雨によって阿蘇カルデラ周辺域で発生した土砂災害について、現地調査や降雨データの分析結果から、以下のことが明らかとなった。

災害をもたらした7月11日から12日にかけての降雨は多いところで総雨量500 mm程度であったが、12日未明に時間雨量87～106 mmが4時間継続するという記録的な豪雨であった。その降雨分布は阿蘇カルデラ北側の阿蘇谷の中西部～中東部にかけて多く、斜面崩壊発生地域の分布とおおむね一致していた。

今回の豪雨によって発生した斜面崩壊は、カルデラ壁の崩壊、中央火口丘群斜面の崩壊、根子岳火山の崩壊の3つに大きく区分することができる。カルデラ壁の崩壊は急崖を形成する阿蘇溶結

凝灰岩上位のテフラ層で最初の浅層崩壊が起こり、その崩壊土砂が大量の流水とともに流下し、カルデラ壁下部斜面の崖錐堆積物を侵食して巨礫などを運搬して民家を襲い、人的被害をもたらした。また、中央火口丘群北側斜面の崩壊はテフラ累層内で起こった浅層崩壊であり、その崩壊土砂はラハールとして溪流を流下したが、人的被害は発生していない。さらに、根子岳火山での崩壊は尾根に達する急斜面で発生し、崩壊土砂は大きな標高差をラハールとして流下し、下流域の道路などに多量に堆積したことが特徴である。

こうした斜面崩壊は1990年7月や2001年6月に発生した崩壊と形態が類似しており、阿蘇カルデラ周辺域で認められる共通した土砂災害の特徴と考えられる。

謝 辞

熊本県土木部砂防課による土砂災害情報監視システムのデータは、降雨分布を把握する上で重要であった。そのデータ提供においては同課の中村寿宏氏のご協力を得た。また、現地調査の一部は宮崎大学農学部の清水収氏と行った。最後に、九州北部豪雨によって被災された方々に心よりお見舞い申し上げます。

文 献

- 福岡管区気象台(2012): 災害時気象速報 平成24年7月九州北部豪雨。災害時自然現象報告書 2012年第1号, 36p. [Fukuoka District Meteorological Observatory (2012): Preliminary report on the 2012 July torrential rain. *Report of Natural Phenomena during Disaster*, 2012(1), 36p. (in Japanese)*]
- 長谷義隆・打越山詩子・岩内明子・宮崎敬士(2003): 熊本県阿蘇カルデラ阿蘇谷の最終氷期後期以降の水環境変遷。熊本大学理学部紀要(地球科学), **17**(2), 15-26. [Hase, Y., Uchikoshiyama, U., Iwauchi, A. and Miyazaki, T. (2003): Changes in aquatic environment since the Last Glacial Age in the Aso valley of Aso caldera, Kumamoto Prefecture, Japan. *Kumamoto Journal of Science (Earth Science)*, **17**(2), 15-26. (in Japanese with English abstract)]
- 川口武雄・難波宣士(1954): 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**, 97-123. [Kawaguchi, T. and Namba, S. (1954): A study of the June flood (1953) in Kyushu: Erosion control (1. general), Aso district. *Bulletin of Government Forest Experimental Station*, **69**, 97-123. (in Japanese with English abstract)]
- 熊本営林署・林業土木コンサルタンツ(1991): 阿蘇地区

- 民有林直轄治山事業山地保全計画調査報告書. 249p. [Kumamoto District Forest Office and Japan Forest Engineering Consultants (1991): *Report of Forest Conservation Project in the Aso Region*. 249p. (in Japanese)*]
- 町田 洋・新井房夫 (1978): 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰. 第四紀研究, **17**, 143-163. [Machida, H. and Arai, F. (1978): Akahoya ash: A Holocene widespread tephra erupted from the Kikai caldera, south Kyushu, Japan. *The Quaternary Research (Daiyonki Kenkyu)*, **17**, 143-163. (in Japanese with English abstract)]
- 町田 洋・新井房夫 (2003): 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 276p. [Machida, H. and Arai, F. (2003): *Atlas of Tephra in and around Japan (revised edition)*. University of Tokyo Press, 276p. (in Japanese)]
- 松本哲一・宇都浩三・小野晃司・渡辺一徳 (1991): 阿蘇火山岩類の K-Ar 年代測定—火山層序との整合性と火砕流試料への適応—. 日本火山学会 1991 年度秋季大会講演予稿集, 73. [Matsumoto, A., Uto, K., Ono, K. and Watanabe, K. (1991): K-Ar age determinations for Aso volcanic rocks: concordance with volcanostratigraphy and application to pyroclastic flows. *Programme and Abstracts of the Volcanological Society of Japan, 1991 (2)*, 73. (in Japanese)]
- Miyabuchi, Y. (2009): A 90,000-year tephrostratigraphic framework of Aso Volcano, Japan. *Sedimentary Geology*, **220**, 169-189.
- Miyabuchi, Y. and Daimaru, H. (2004): The June 2001 rainfall-induced landslides and associated lahars at Aso Volcano, southwestern Japan: Implications for hazard assessment. *Acta Vulcanologica*, **16**, 21-36.
- 宮縁育夫・渡辺一徳 (1997): 埋没黒ボク土層の ^{14}C 年代からみた完新世阿蘇火山テフラの噴出年代. 火山, **42**, 403-408. [Miyabuchi, Y. and Watanabe, K. (1997): Eruption ages of Holocene tephra from Aso volcano, southwestern Japan, inferred from ^{14}C ages of buried Andisols. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **42**, 403-408. (in Japanese with English abstract)]
- 宮縁育夫・増田直朗・渡辺一徳 (2004a): 溶岩流とテフラとの層序関係からみた阿蘇火山中央火口丘群西部地域の発達史. 火山, **49**, 267-282. [Miyabuchi, Y., Masuda, N. and Watanabe, K. (2004a): Geologic history of the western part of post-caldera central cones of Aso Volcano, southwestern Japan, based on stratigraphic relationships between lava flows and airfall tephra layers. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*, **49**, 267-282. (in Japanese with English abstract)]
- 宮縁育夫・大丸裕武・小松陽一 (2004b): 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**, 23-43. [Miyabuchi, Y., Daimaru, H. and Komatsu, Y. (2004b): Landslides and lahars triggered by the rainstorm of June 29, 2001, at Aso Volcano, southwestern Japan. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **25**, 23-43. (in Japanese with English abstract)]
- 宮縁育夫・杉山真二・佐々木尚子 (2010): 阿蘇カルデラ北部, 阿蘇谷千町無田ボーリングコアの植物珪酸体および微粒炭分析. 地学雑誌, **119**, 17-32. [Miyabuchi, Y., Sugiyama, S. and Sasaki, N. (2010): Phytolith and macroscopic charcoal analyses of the Senchomuta drilling core in Asodani Valley, northern part of Aso caldera, Japan. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **119**, 17-32. (in Japanese with English abstract)]
- 長友由隆・庄子貞雄 (1977): アカホヤ, イモゴ, オンジの対比ならびに噴出源について—アカホヤの土壤肥料学的研究 (第 2 報). 日本土壤肥料学雑誌, **48**, 1-7. [Nagatomo, Y. and Shoji, S. (1977): Correlation and origin of Akahoya, Imogo and Onji volcanic ash layers: Studies on "Akahoya" (glassy volcanic ash) (II). *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **48**, 1-7. (in Japanese with English abstract)]
- 奥野 充 (2002): 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究, **41**, 225-236. [Okuno, M. (2002): Chronology of tephra layers in southern Kyushu, SW Japan, for the last 30,000 years. *The Quaternary Research (Daiyonki Kenkyu)*, **41**, 225-236. (in Japanese with English abstract)]
- 小野晃司・渡辺一徳 (1985): 阿蘇火山地質図 (5 万分の 1). 火山地質図 4, 地質調査所. [Ono, K. and Watanabe, K. (1985): *Geological Map of Aso Volcano (1:50,000)*. Geological Map of Volcanoes 4. Geological Survey of Japan. (in Japanese with English abstract)]
- 小野晃司・松本徹夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977): 竹田地域の地質. 地域地質研究報告, 5 万分の 1 図幅, 地質調査所, 145p. [Ono, K., Matsumoto, Y., Miyahisa, M., Teraoka, Y. and Kambe, N. (1977): *Geology of the Taketa District*. Geological Survey of Japan, 145p. (in Japanese with English abstract)]
- Vallance, J.W. (2000): Lahars. in *Encyclopedia of Volcanoes* edited by Sigurdsson, H., Academic Press, 601-616.
- 渡辺一徳 (2001): 阿蘇火山の生い立ち—地質が語る大地の鼓動—. 一の宮町史編纂委員会編: 一の宮町史 自然と文化阿蘇選書 7. 熊本県一の宮町, 238p. [Watanabe, K. (2001): *Geology of Aso Volcano. Ichinomiya Choshi (History of Ichinomiya Town, Kumamoto Prefecture, Japan)*, 7. 238p. (in Japanese)*]
- 山中金次郎・松尾憲一 (1962): 土壌硬度に関する研究 (第 1 報) 土壌硬度と含水量の関係. 日本土壤肥料学雑誌, **33**, 343-347. [Yamanaka, K. and Matsuo, K. (1962): Studies on soil hardness (part 1) on the soil hardness tester. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **33**, 343-347. (in Japanese)]

* Title etc. translated by Y.M.

(2012 年 10 月 9 日受付, 2012 年 10 月 31 日受理)