

# 火山噴火後に土石流が発生した事例

田村圭司\*山越隆雄\*\*松岡 暁\*\*\*安養寺信夫\*\*\*\*

## 1. はじめに

火山噴火によって火山灰や火砕流堆積物に覆われた山地斜面を流域とする溪流では、噴火前には土石流を発生させなかったような小さな降雨によっても土石流が発生するようになることが知られている。(独)産業技術総合研究所の活火山データベース<sup>1)</sup>によると過去100年間で、VEI(火山爆発指数)が2以上の火山噴火は全国で20事例あった。VEIとは火山噴火の規模を示す指標であり、ある噴火で噴出した火山砕屑物の総量によって決められる値である。VEIが2以上とは、総噴出量が100万m<sup>3</sup>以上のものがほぼ該当する。このデータベースには、阿蘇山、雲仙岳、桜島の3火山が含まれていないため、これらの火山における近年のVEIが2以上の噴火事例を独自に追加したところ<sup>2)</sup>など、合計で24事例となった。この24事例の内、その後の降雨によって土石流の発生記録が残っているのは、11事例であった。しかし、多様な形態をもつ噴火活動の全てが、その後の降雨に伴う土石流の発生を促すとは限らない。溶岩流の場合、侵食を抑制する効果が期待されるが、土石流を発生しやすくした、という報告はこれまでに知られていない。

そこで、総噴出量の多くが溶岩流出による場合を除外すると、先述の過去100年の火山噴火事例は15事例となる。このように考えると、概ね7割の事例において、噴火後に土石流が発生していることが分かる。もちろん、土石流の発

生を議論するのであれば、その発生場となる流域側の視点での考察が必要となる。同じ噴出量であってもその分布や流域との重なり具合は個々に異なる。今後、実際に大量の降灰を伴う噴火が生じ、その後の降雨で土石流への緊急対応を考える場合を想定すると、降灰分布情報が土石流発生の危険性が高い溪流を抽出するための重要な根拠となる。本報告は、噴火後の土石流への緊急的な対応方針決定に資することを目的として、火山噴火後の雨で土石流が発生するようになり、火山灰等の堆積分布が明らかな事例を可能な限り収集して、参考とすべき前例を集約的に提示するものである。

## 2. 火山噴火後に土石流が発生した事例

過去、噴火後に土石流が発生したと報告されている7事例を集め、以下に整理した。

### 2.1 1707年富士山宝永噴火<sup>3)</sup>

富士山宝永噴火は1707年11月23日から12月9日までの16日間継続し、大量の降下火砕物(宝永



図-1 富士山宝永噴火の降下火砕物分布と土砂災害。降下火砕物分布は下鶴(1981)<sup>5)</sup>による。この図の作成にあたっては、国土地理院発行の20万分の1地勢図(甲府、静岡、東京、横須賀)を使用した。

スコリア)が富士山の東麓から江戸まで堆積した<sup>4)</sup>。富士山東麓地域では田畑・山地に厚く堆積し、住民の生活基盤を破壊した。そして降下火砕物はその後の降雨時に土石流や泥流となって流出し、酒匂川等の河床上昇を引き起こし、氾濫により下流地域に多大な損害を与えた(図-1)。

土砂災害の事例については、郷土史料の整理や郷土史家への聞き込み等から調査しており、降下火砕物の堆積深と土砂災害の関係について次のとおり、考察している。

降下火砕物が30~60cm堆積した丹沢山地の急斜面では堆積した降下火砕物によって、森林が破壊され、保水能力が低下し土砂が流出しやすくなった。このため、降雨とともに土砂が河川に流出して、河床上昇と河道閉塞を引き起こし、主に酒匂川流域に小規模な天然ダムを形成したとされる。

## 2.2 1914年桜島大正噴火と近年の噴火

桜島は、1914年1月12日に大規模な噴火を起こした。噴出物総量 $2.1\text{km}^3$ (溶岩流出量 $1.56 \times 10^9\text{m}^3$ 、降下軽石および火山灰 $0.62 \times 10^9\text{m}^3$ )である。この噴火により、主に東南東に火砕物が降下し、軽石や細粒の火山灰が堆積した。その大部分が軽石であった。この噴火によって火砕物が大量に堆積した肝属川では、約3年間にわたって上流部では土石流、下流部では洪水被害が頻発した(図-2)。

降下した火砕物の内、細粒の火山灰の粒径(D50)は、火口からの距離によって異なるが、 $0.03 \sim 0.08\text{mm}$ 程度であった。また、火山灰の透水係数の計測事例もあり、 $4.83 \times 10^{-4}\text{cm/sec}$ であったことが報告されている<sup>6)</sup>。

土石流堆積物の痕跡調査によって求めた土石流発生溪流の位置と、火山灰・軽石堆積物の分布を比較すると、概ね堆積厚30cm以上の範囲におい

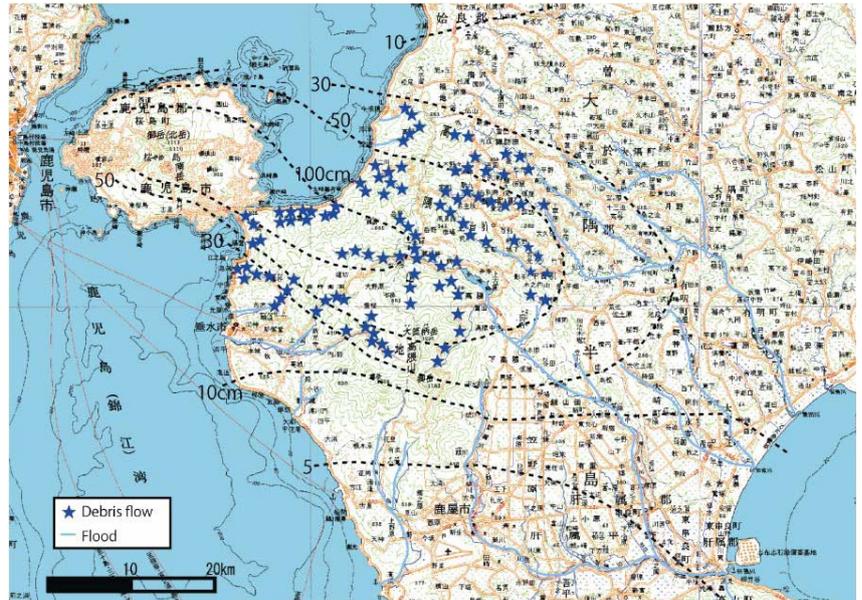


図-2 桜島大正噴火当時の降下軽石・火山灰の分布と土石流・洪水発生河川(等層厚線の単位はcm)。降下軽石・火山灰の分布は金井(1920)<sup>6)</sup>に、土石流・洪水発生河川は下川・地頭菌(1991)<sup>7)</sup>による。この図の作成にあたっては、国土地理院発行の20万分の1地勢図(鹿児島)を使用した。

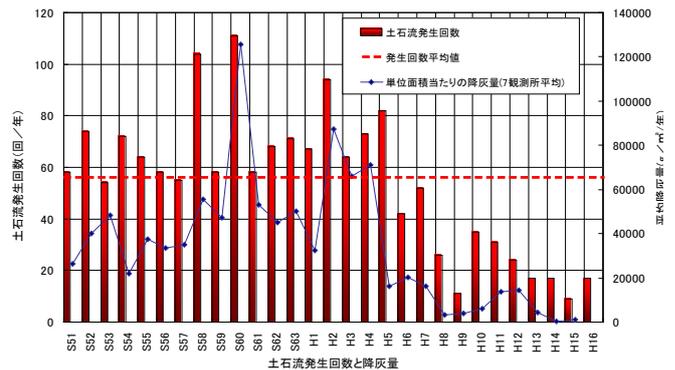


図-3 桜島における年間降水量と土石流発生数の推移<sup>8)</sup>

て土石流が頻発している傾向が認められた<sup>7)</sup>。

桜島では1955年の南岳爆発以来、50年以上にわたって、活動の時期的な消長はあるものの爆発を繰り返している。その結果、南岳を中心に山腹斜面には厚く火山灰が堆積し、周辺溪流では、土石流が頻繁に発生する状態が続いている。土石流の発生は年間100回を超えたこともある。桜島における土石流の発生頻度は、降灰量と関係があることはすでに指摘されており、降灰量が増えると土石流の発生回数も増加する。他の事例と比較して噴火頻度、土石流発生頻度が桁違いに多いため、ここの噴火と土石流発生との因果関係はまだ明らかになっていないが、桜島の周縁部における年間降灰量が $20 \sim 130\text{kg/m}^2$ (堆積厚換算で約 $2 \sim 13\text{cm}$ )と降灰が多い時期(S51~H4)に土石流

の発生頻度が多くなるということが経験的に指摘されている<sup>8)</sup>(図-3)。

### 2.3 1977-1978年有珠山噴火

有珠山の1977-78年噴火によって、大量の火山灰・軽石が噴出して有珠山斜面と主に東側の広域に堆積した。1977年8月7日の最初の噴火から10日後の8月16日に有珠山南西斜面の泉地区、入江一の沢と床丹川において土石流が発生したのをきっかけに、1981年9月4日までの4年間で合計31回土石流が発生した<sup>9)</sup>。特に1978年10月24日には、洞爺湖温泉に注ぐ西山川と小有珠川などで規模の大きな土石流が発生して、3名の死者・行方不明者を出した。

1977年8月7日から9日にかけて噴煙柱高度10,000m以上に達する4回の大きな噴火が発生したが(第1期)、その後も小規模な水蒸気爆発を繰り返して、1978年10月の小噴火を最後に火砕物噴火は終了した。1977年8月の噴火に伴う降下火山灰分布を図-4に示す。山頂外輪山付近には軽石が1m以上堆積したが、山腹ではおおむね20~50cmの範囲であった。

土砂流は有珠山山体の溪流以外ではほとんど発生しておらず、土砂流が発生した溪流の火砕物堆積厚は概ね20cmが下限となる<sup>11)</sup>。ただし、有珠山斜面に堆積した火砕物は軽石と火山灰であり、4回の大規模噴火と水蒸気爆発の繰り返しによる、粒径の異なった火砕物の互層という点に注意する必要がある。

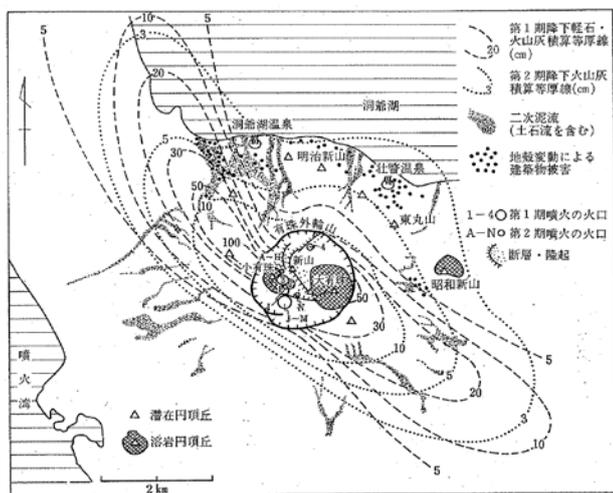


図-4 有珠山の降灰分布と土砂流が発生した溪流の位置<sup>10)</sup>

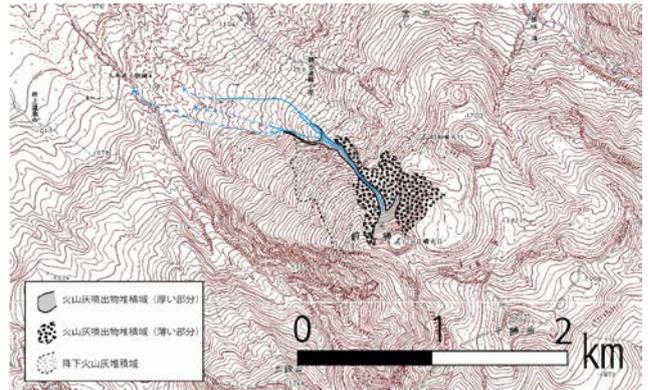


図-5 十勝岳の1988~1989年火山噴出物の分布と土石流発生溪流。火山噴出物の分布は北海道開発局旭川開発建設部(1991)<sup>12)</sup>に、土石流発生溪流は山岸ほか(1991)<sup>13)</sup>による。この図の作成にあたっては、国土地理院発行の2万5千分の1地形図(白金温泉)を使用した。

### 2.4 1988-89年十勝岳噴火

1988年12月16日の水蒸気爆発に始まった噴火活動は、小規模な泥流、火砕サージ、火砕流をもたらした。一連の噴火活動による降灰分布と翌年8月に土石流が発生した溪流の位置を図-5に示す。堆積物の粒径・厚さなどから、火山噴出物の厚い堆積域は火砕流・泥流の流下区域と判断され、噴出物の薄い堆積域は主に火砕サージの堆積域と推測されている。

1989年8月22日から23日にかけてやや強い雨が記録されており、とくに23日の11時から12時までの1時間17mm、13時まで1時間11mmの降雨が記録された。この降雨により、土石流が発生したと考えられている<sup>13)</sup>。

### 2.5 1990-1995年雲仙普賢岳噴火

雲仙普賢岳は1990年11月17日に最初の噴火が発生した後、1991年3月29日の噴火によって周辺に火山灰を堆積させた。最初の土石流は同年5月15日に水無川において発生した。その後同月19、20、21日にも小規模ながら連続して発生した。5月20日になって山頂に溶岩ドームが出現し、その成長にともなって一部が崩落し、5月24日から火砕流が発生するようになった。同年6月3日、8日には山麓部に達する火砕流が発生し、溶岩ドームの成長方向の変化に合わせて火砕流流下方向も変わり、水無川、赤松谷川、おしが谷、千本木、湯江川に火砕流堆積物が広く分布した。その結果、火砕流堆積斜面を生産源とする土石流が頻発し、

\*土木用語解説：火砕サージ

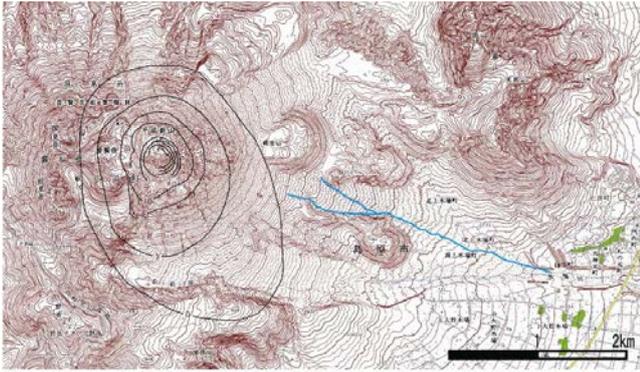


図-6 雲仙普賢岳の降灰分布(1991年4月)と土石流発生溪流(等層厚線の単位はcm)。降灰分布は長崎県島原振興局河港課(1991)<sup>14)</sup>による。この図の作成にあたっては、国土地理院発行の2万5千分の1地形図(島原、雲仙)を使用した。

噴火が沈静化した1995年以降も継続して1999年9月までに水無川だけでも44回繰り返し発生した。

1991年6月以降に発生した土石流は、火砕流堆積物の侵食によるものであるもので、それ以前の5月の土石流が火山灰の影響によって発生したとみなすことができる。図-6に1991年4月の降灰分布図と土石流発生溪流を示す。降灰分布は水無川本川と赤松谷川上流で9割を占め、土石流発生溪流と一致している。マグマの上昇による山体の膨張・変形で表層斜面にゆるみが生じていたことを考慮しても、火山灰堆積厚が5~10cm程度で土石流が発生したことになる<sup>11)</sup>。

## 2.6 1996年北海道駒ヶ岳噴火

1996年3月5日、北海道渡島駒ヶ岳は噴火し、主に南東方向に火山灰を降下させた。1cm以上の降灰のあった範囲における火山灰堆積量は37,000m<sup>3</sup>と推定されている。

噴火から4ヶ月が経過した同年7月~8月にかけて、この地域に比較的強い降雨があり、南東山麓を集水域とする鹿部押出沢、留の沢等の溪流で土石流が発生した(図-7)。特に、8月15日の降雨は、噴火前18年間に於いて第2位の1時間雨量を記録し、降灰の影響を受けなかった北側の溪流においても土石流が発生している。

火口となった亀裂の近傍で採取された火山灰の粒径(D50)は、0.25mmであり、二重管式浸透計(内管の直径29.8cm)による計測値として、火山灰堆積厚が数cm以上の斜面では浸透能が約10mm/hrという数値が得られている<sup>15)</sup>。

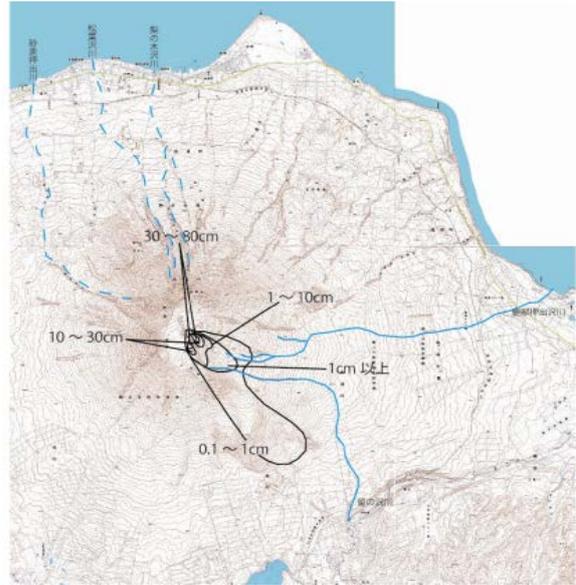


図-7 北海道駒ヶ岳を流れる諸溪流の位置と1996年3月の噴火に伴う降灰分布。降灰分布は清水(1998)<sup>15)</sup>による。この図の作成にあたっては、国土地理院発行の2万5千分の1地形図(砂原、駒ヶ岳)を使用した。

その他、噴火後の土砂移動現象が活発化する過程で、噴火口が埋積され、鹿部押出沢、留の沢等、その後土砂流出が活発化する溪流の谷頭侵食の進行が加わり、新たな集水域として接続する、という事象が発生している。

## 2.7 2000年三宅島噴火

2000年7月8日、三宅島の御山が山頂噴火した。その後、火山灰の噴出を伴う活発な噴火活動は2ヶ月程度継続した。噴火開始から2週間程度が経過した7月26日の降雨により、それまでに降灰のあった北東部の溪流を中心に土石流が発生した(図-8)。その後、降灰範囲が全島一円に拡大すると、土石流の発生もほぼ全島で見られるようになった。この噴火で堆積した火山灰の粒径(D50)は約0.1mm程度であり、様々な既往調査事例において、飽和透水係数は10<sup>-3</sup>~10<sup>-5</sup>cm/secの計測値が報告されている<sup>17)</sup>。

島内の溪流流域と火山灰等層厚線図を重ねると、噴火後の土砂移動には火山灰堆積深が大きく関与しており、泥流が発生しやすくなる限界値は、火山灰堆積深64~128mmの間にあることが確認された<sup>18)</sup>。

なお、1983年の噴火では、溶岩流の流出主体としていたが、島の南部の火口周辺には、スコリ

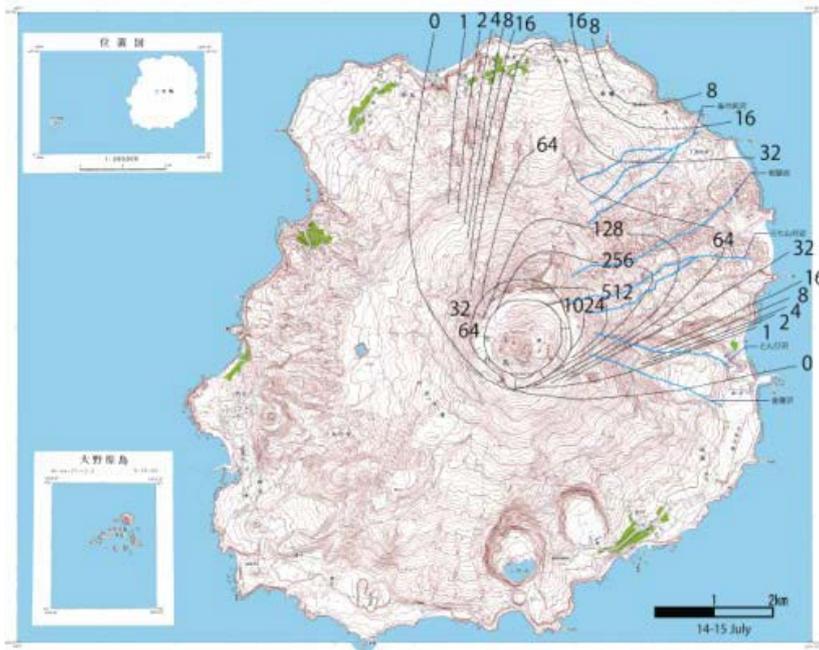


図-8 三宅島の降灰分布（2000年7月下旬時点、等層厚線の単位はmm）。降灰分布は東京大学地震研究所（2001）<sup>16)</sup>による。この図の作成にあたっては、国土地理院発行の2万5千分の1地形図（三宅島）を使用した。

アを含む火山灰が降下した。しかし、その後、土石流等の発生は確認されなかった。それは、この噴火で噴出・堆積した火山灰等は、砂礫分70%以上と粗粒であり、降雨に伴って表面流が発生するような低い浸透能を有していなかったためであると考えられている。また、山腹に火口が生じ、その周辺に堆積したことから、地形的にも土砂流出が比較的発生しにくい状況にあったことが指摘されている<sup>19)</sup>。

### 3. まとめ

表-1に、ここまで述べた事例について取りまとめた。火山灰が堆積すると、堆積した斜面の浸透能が著しく減少し、少しの雨でも表面流が発生して、谷筋に集まって活発なガリー侵食を引き起こし、土石流が発生するようになると考えられている（例えば19）。この説によると、火山灰等の堆積は斜面の浸透能を低下させることを通じて土石流の発生に寄与することになる。第2章で紹介した報告では、火山灰等の堆積物の分布と土石流発生溪流の位置関係から、土石流が発生するようになる限界的な堆積厚（閾値）が示されている。ただし、火山灰の堆積厚と浸透能の関

係については、不明な点が多い。鉛直一次元の浸透過程を考慮すると、ほんの少しでも火山灰が堆積するだけで浸透能は火山灰が持つ浸透能まで低下する。すなわち、火山灰が堆積してさえいれば、浸透能は厚さに関係ない<sup>20)</sup>。しかし、面的に斜面全体として見ると、火山灰の堆積状況や鉛直方向の水みちが不均一に分布していること等のために、ある一定値以下の堆積厚では斜面全体を覆うことができずに火山灰の持つ浸透能まで低下しないこ

表-1 噴火後に土石流が発生した事例

火山	噴火年月日	噴火形態	VEI <sup>※</sup>	総噴出量(m <sup>3</sup> )	土砂流出が多くなる閾値的な火山灰の厚さ	土砂流出が発生した溪流	備考
富士山	1707.11	降灰	4	700,000,000	10cm <sup>3)</sup>	酒匂川流域等	総噴出量は岩石換算の値
桜島	1914.1	降灰・軽石／溶岩流	5	2,100,000,000	30cm <sup>7)</sup>	肝属川流域の溪流	軽石と細粒火山灰。軽石が主。
	1955～	降灰	-	-	20kg/m <sup>2</sup> 以上 <sup>8)</sup> (2cm以上)	桜島島内の溪流	括弧内は火山灰密度1g/cm <sup>3</sup> と仮定した場合の厚さ
有珠山	1977.8～	降灰	4	100,000,000	20cm※ <sup>11)</sup>	泉地区、入江1の沢、床丹川ほか	細粒火山灰と軽石の互層
十勝岳	1988.12～	火砕流・降灰	1	630,000	?	富良野川支流	
雲仙岳	1990.11～	降灰	1		5～10cm <sup>11)</sup>	水無川	
	1991.5～	火砕流	4	150,000,000	?	水無川、中尾川、湯江川	
北海道駒ヶ岳	1996.3	降灰	1	100,000	1cm <sup>15)</sup>	鹿部押出沢、留の沢	火口が流域に接続、過去17年間で第2位の豪雨にもよる
三宅島	2000.7～	降灰	3	16,000,000	64～128mm <sup>18)</sup>	三宅島島内の溪流	

※本表のVEIは、活火山データベース（産総研HP）の分類方法と同様に、見かけの噴出量をもとにした。また、総噴出量は活火山データベースあるいは気象庁データより引用。

とがあると考えられている<sup>21)</sup>。この場合、閾値となる火山灰の堆積厚は、斜面の地被状態等によって個々に異なると考えられ、表-1に示す閾値が1cm～30cmと幅広く異なっていることの一つの理由とも考えられる。ただし、噴出する火山灰等の堆積物の物性が噴火事例毎に異なること、土石流を発生させた雨の強度が異なること、そして、閾値の決め方が報告者によって異なること等から、これ以上単純に比較することが難しい。

冒頭で述べたとおり、溶岩流を除く噴出量が100万m<sup>3</sup>を超える噴火では、7割の事例で土石流が発生している。これは、残り3割の事例では十分な量の降灰があったにも係らず土石流が発生していないことを意味しており、今後の検討課題である。

#### 参考文献

- 1) 工藤 崇、星住英夫：活火山データベース—1万年噴火イベントデータ集、産総研地質調査総合センター、2006  
(<http://riodb.ibase.aist.go.jp/db099/eruption/index.html>)
- 2) 気象庁編：日本活火山総覧（第3版）、635p、2005
- 3) 南 哲行、花岡正明、中村一郎、安養寺信夫、井上公夫、角谷ひとみ：富士山宝永噴火（1707）後の土砂災害、平成14年度砂防学会研究発表会概要集、pp.20-21、2002
- 4) 小山真人：史料に基づく宝永噴火の前兆と推移、1707富士山宝永噴火報告書、中央防災会議災害教訓の継承に関する専門調査会、pp.29-56、2006
- 5) 下鶴大輔：富士山の活動史、Disaster Map と災害評価、噴火災害の特質とHazard Map の作成およびそれによる噴火災害の予測の研究（文部省科研費自然災害特別研究成果報告書、No.A-56-1、研究代表者：下鶴大輔）、pp.88-97、1981
- 6) 金井眞澄：大正参年度に於ける櫻島火山の噴火状況並に噴出物及作物に関する調査試験報文、櫻島火山の大正三年における噴火状況並噴出物に関する調査報文、鹿児島高等農林学校編、pp.1-109、

1920

- 7) 下川悦郎、地頭菌隆：大正3年桜島大噴火が火山周辺域の侵食災害に及ぼした影響、自然災害西部地区部会報・論文集、第12号、pp.73-80、1991
- 8) 国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所：桜島火山砂防調査研究成果集、110p、2007
- 9) 北海道室蘭土木現業所：昭和新山、有珠山の噴火と災害対策、北海道、27、1995
- 10) 勝井義雄：有珠山の噴火とその災害、月刊地球、第2巻、第6号、pp.414-420、1980
- 11) 独立行政法人土木研究所：火山灰堆積調査法に関する共同研究報告書、共同研究報告書、第391号、2009
- 12) 北海道開発局旭川開発建設部：十勝岳災害関連緊急事業の記録、1991
- 13) 山岸宏光、宮本邦明、岡村俊邦、秋田藤夫、岡崎紀俊：十勝岳西側斜面で1989年8月に発生した土石流、新砂防、第44巻、第4号、pp.30-35、1991
- 14) 長崎県島原振興局河港課：水無川災害関連緊急砂防基本計画設計業務委託報告書、1991
- 15) 清水収：1996年北海道駒ヶ岳噴火後の侵食と土砂移動、火山防災学研究会報告書、pp.126-131、1998
- 16) 東京大学地震研究所：2000年の主要な噴火の噴出量、第90回火山噴火予知連絡会資料、資料番号30、2001
- 17) 田方 智、武澤永純、山越隆雄、栗原淳一：主要な火山における火山灰の透水性の実態とその決定要因の考察、土木技術資料、第49巻、第8号、pp.58-63、2007
- 18) 平川泰之、安養寺信夫、鈴木 崇、今野雄悟：三宅島の噴火後の二次泥流発生条件、平成14年度砂防学会研究発表会概要集、pp.16-17、2002
- 19) 池谷 浩、水山高久：昭和58年三宅島噴火後の土砂流出予測調査、新砂防、第36巻、第4号、pp.29-33、1984
- 20) Hendrayanto、小橋澄治、水山高久、小杉賢一朗：HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS OF NEW VOLCANIC ASH DEPOSIT、水文・水資源学会誌、第8巻、第5号、p.484-491、1995
- 21) Yamakoshi, T., Doi, Y. and Osanai, N.: Post-eruption hydrology and sediment discharge at the Miyakejima volcano, Japan, Zeit. Geomorphologie N.F., Suppl.-Vol.140, pp.55-72、2005

田村圭司\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管  
理研究グループ火山・土  
石流チーム 上席研究員  
Keiji TAMURA

山越隆雄\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管  
理研究グループ火山・土  
石流チーム 主任研究  
員、農博  
Dr. Takao YAMAKOSHI

松岡 暁\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
つくば中央研究所土砂管  
理研究グループ火山・土  
石流チーム 交流研究員  
Akira MATSUOKA

安養寺信夫\*\*\*\*



財団法人砂防・地すべり  
技術センター総合防災部  
部長、農博  
Dr. Nobuo ANYOJI