

◆ 特集：土砂災害 ◆

噴火から2年が経過した三宅島における降雨流出・土砂流出の実態

山越隆雄* 土井康弘** 小山内信智***

1. はじめに

火山噴火時には、噴火活動の推移に応じて、降灰範囲や厚さなどが変化するため、泥流の発生危険度や規模は経時的に大きく変化すると考えられる。火山が噴火する前には、泥流はおろか水もほとんど流れなかった溪流において、噴火後には雨の度に泥流、土石流が発生するようになることがある。また、そのように泥流等が頻発していた溪流であっても、噴火活動が終息して数年が経過すると、大抵の場合泥流等の土砂流出は沈静化する。そのため、火山噴火後の流域の降雨流出・土砂流出特性の変化を経時的に評価し、その評価結果を泥流発生危険度および規模の評価に反映させる手法の開発が必要とされている。

これまで、国内外で火山が噴火するたびに、火山噴火活動がもたらす流域の諸特性の変化と、その後の降雨によって発生する泥流等の土砂流出現象との因果関係を解明しようとする研究が行われてきた¹⁾。これらの研究はそれぞれに貴重な成果を挙げているが、火山噴火から泥流等の土砂流出現象の発生に到るまでのメカニズムが複雑であり、また、火山噴火に伴って生じる現象の種類、その火山を取り巻く気候条件、地形、そして植生の生育状況等も個々に異なるため、この因果関係

が十分に明らかにされているわけではない。そこで、独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チームでは、火山噴火に伴って生じる現象の中でも発生する頻度の高い降灰現象を対象とし、それに伴う流域の諸特性の変化とその後の泥流等の土砂流出との因果関係を解明し、降灰の影響を考慮した泥流発生危険度および泥流規模の評価手法を開発することを目的に平成13年度より重点的に研究を行っている。

本研究チームでは、2000年の7月から8月にかけて大量の火山灰噴出を伴う噴火をし、その後、土砂流出が続いて大きな被害をもたらしている三宅島において、2002年から現地観測および現地調査を行っている。ここでの観測・調査は、先に述べた泥流発生危険度及び規模の評価手法を開発するための基礎となるデータや知見を得るために行っている。本報では、2002年に行った現地観測・調査結果にもとづき、噴火から2年が経過した三宅島における降雨流出、土砂流出特性の実態について報告する。

2. 三宅島2000年噴火とその後の土砂流出の概要

三宅島雄山は、伊豆諸島の三宅島にある富士火山帯に属する活火山であり、側火口を数多く有する成層火山の形状を呈している。近年は、1940年、

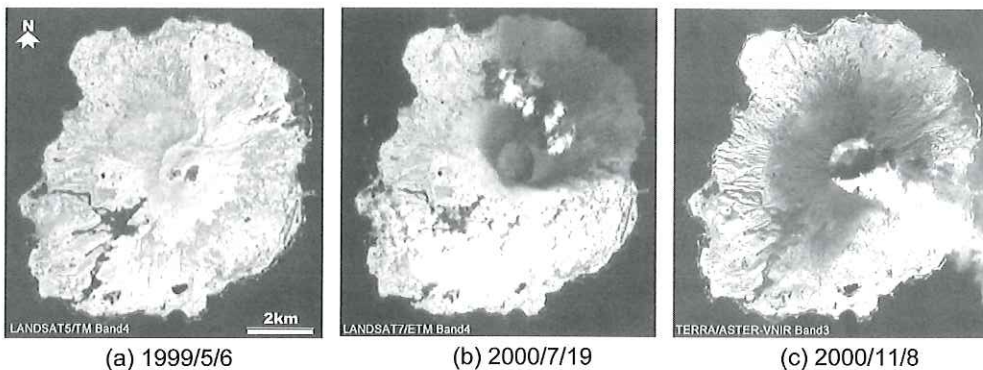


図-1 三宅島の衛星画像、(a)噴火前、(b)噴火開始11日後、(c)主要な一連の噴火後

Characteristics of Rainfall-runoff and Sediment Discharge at Miyakejima Volcano-A Portrait of the Miyakejima's 2nd year after the 2000 Eruption

1962年、1983年と、ほぼ20年おきに噴火を繰り返してきた。

2000年の噴火活動は、6月26日の海底噴火によって始まり、7月8日には山頂噴火が起こった。東京大学地震研究所がとりまとめたところによると、この噴火から同年8月末までの間、火山灰噴出を伴う主要な噴火は7回発生し、その一連の噴火によって三宅島島内に堆積した火山灰の総量は、3,300万トンであった²⁾。図-1に、(a) 噴火前、(b) 噴火開始直後、(c) 主要な一連の噴火後、の3時期の衛星画像を示す。衛星およびセンサー名は画像左下に示すとおりである。また、これらの画像は、植生の活性度と強い相関がある近赤外線バンドのデータを画像化したものである。そのため、画像中で暗く見える部分が、火山灰が堆積し、植生の破壊された部分であると考えられる。7月の噴火によって、当初、島の北東部を中心に火山灰が堆積していたが、8月以降の噴火によって火山灰堆積域が島内全域に拡大したことがわかる。

2000年7月26日に降った、総雨量48mm、最大時間雨量26mm(雨量観測点：三宅村役場、7/26 6:00～14:00)の雨によって、それ以前の噴火ですでに火山灰が堆積していた雄山の北東および東斜面を流域にもつ溪流で、顕著に土砂が流出した。流出した土砂の多くは海に流入していたため、その流出量は不明である³⁾。全方位の斜面に火山灰が堆積した後に降った9月初旬の総雨量178mm、最大時間雨量31mm(雨量観測点：三宅支庁)の雨によって、島内のほぼ全ての主要な溪流で土砂が流出した。

その後も多くの溪流で土砂流出が続いたと考えられるが、全島避難により、2000年9月以降は誰も三宅島島内に常駐していない状態が2001年5月まで続いたため、土砂が流出してもその発生日時や規模を特定することは困難な状況となった。したがって、2000年9月以降、災害対策本部が三宅島に設置されるようになった2001年5月までの間の土砂流出状況の詳細については今のところ不明である。2001年5月～2002年の土砂流出状況については、現在取りまとめ中であり別報で紹介することとしたい。

3. 現地観測・調査の概要

火山灰堆積斜面上に降った雨水は、その斜面を侵食しつつ流下し、河道に流入する。河道に集まった雨水は、さらに渓床や溪岸を侵食しながら流下して最終的に溪流出口に泥流等として現れる。以下では、三宅島における降雨流出、土砂流出特性の実態を、火山灰堆積斜面とその斜面を流域にもつ溪流の河道に分けて報告する。

3.1 火山灰堆積斜面における降雨流出観測

三宅島島内に広く分布する火山灰堆積斜面に、降雨に伴う降雨流出を計測するための観測施設を設置した。図-2に、三宅島島内における現地観測斜面の位置を示す。観測は、噴火から約2年が経過した、2002年3月から開始した。観測は、降灰堆積状況の違いによる流出特性の違いを明らかにするために、火口縁からの距離が約500m～2.5kmまでの間に、火山灰堆積厚の異なる約80～480m²程度の広さの観測斜面を合計5箇所(SU, SLM, SL, TU, TL, 図-2参照)選定して行った。そこに、雨量計、量水堰と水位計を設置するとともに、流出土砂を捕捉するための沈砂池を設置した。

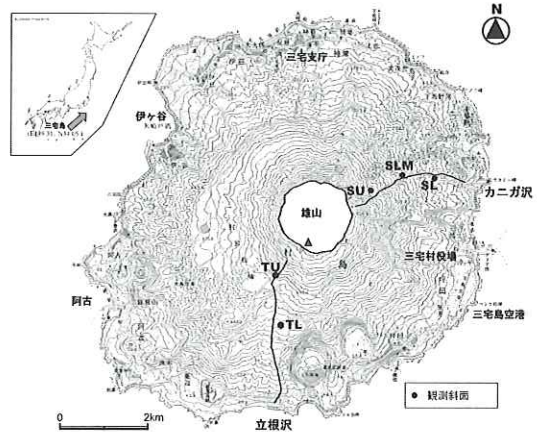


図-2 観測箇所図(2002年3月)

表-1 観測斜面の諸元

観測プロット	集水面積 (m ²)	平均傾斜角 (°)	火山灰堆積厚 (cm)
SU	81.5	27.9	60
SLM	475.2	13.8	26
SL	137.9	18.6	11
TU	203.6	20.2	15
TL	455.3	9.7	5

表-2 観測斜面の植生被害状況

樹木の生存率	下層植生の有無	落葉層
SU 1/37	無	無
SLM 8/23	無	有(乾燥重量 0.46kg/m ²)
SL 33/38	無	有(乾燥重量 1.7kg/m ²)
TU 7/46	無	無
TL 19/63	有	有(乾燥重量 1.2kg/m ²)

表-1に、各観測斜面の集水面積、平均傾斜角(流出観測点と最上流点の間の傾斜角)、各斜面における平均火山灰堆積厚(3箇所穴を掘り、2000年噴火の際に堆積した火山灰の厚さを計測した値の平均値)、表-2に植生被害状況を示す。最も火口に近いSU地点では、火山灰が60cm程度堆積し、植生はほぼ完全に死滅しているが、最も遠いSL地点では、火山灰堆積厚が11cm程度と比較的薄く、樹木の生存率も高い。

3.2 溪流の河道における降雨流出、土砂流出に関する観測および調査の概要

火山灰の堆積が顕著な溪流(カニガ沢)とそれほどではない溪流(立根沢)の中流部と溪流出口に、流出観測カメラを設置し、2002年5月から降雨流出および土砂流出状況の観測を開始した。

降雨流出は、撮影された映像から水位を読み取り、その水位から通水断面積・流速を求め、これらを乗じて流量を算出した。通水断面積は、あらかじめ流下断面を測量し、水位と通水断面積の関係を求めておき換算した。流速は、マンギング式により計算した。マンギングの粗度係数は、実際の流出を現地で観測し、流速・水深を測定して逆算して求めておいた。観測結果は、ハイエト・ハイドログラフとして整理し、降雨流出の定量的把握を試みた。

土砂流出については、撮影されたビデオテープの映像、現地で流出に遭遇したときの観測データにより、その流出状況を把握した。特に観測期間中、土砂流出が顕著であった立根沢については、溪流出口において流出した土砂量を測定するとともに、溪床の定点写真撮影を行い、その変動を解析した。また、2002年には三宅島が大規模な雨を経験するたびに、溪流からの土砂流出状況を調査した。調査は、土砂流出の痕跡に着目し、溪流内を踏査することにより、発生・流下・堆積域を特定した。

4. 観測・調査結果

4.1 火山灰堆積斜面の降雨流出

観測は、SU地点において2002年3月から開始し、その後、5月までに全5斜面で開始した。しかし、計測機器のトラブルや、大量の土砂流出のため、欠測となることがしばしばあった。

(1) 火山灰堆積斜面の降雨流出

図-3に、観測の結果得られた各観測斜面におけるハイエト-ハイドログラフの一例を示す。TLを除くどの斜面においても、流出は降雨に即応して発生し、降雨終了とともに速やかに流出が終了していることが分かる。また、流出量という面では、SU、SLM、TUでは多く、SLでは少ない。

そして、TLでは流出が観測されなかった。

図-3に示した9月7日の事例に加えて、2002年9月27日、9月30日の事例について、10分間強度の降雨と流出の関係を求めた(図-4)。具体的には、この図は、これら3つの一連の降雨期間中について10分間毎の降雨量と流出高(流出量を集水面積で除して単位をmmとした値)をプロットして作成した。図中の破線は、降雨強度と流出高が等しい場合の線である。雨水が斜面を流

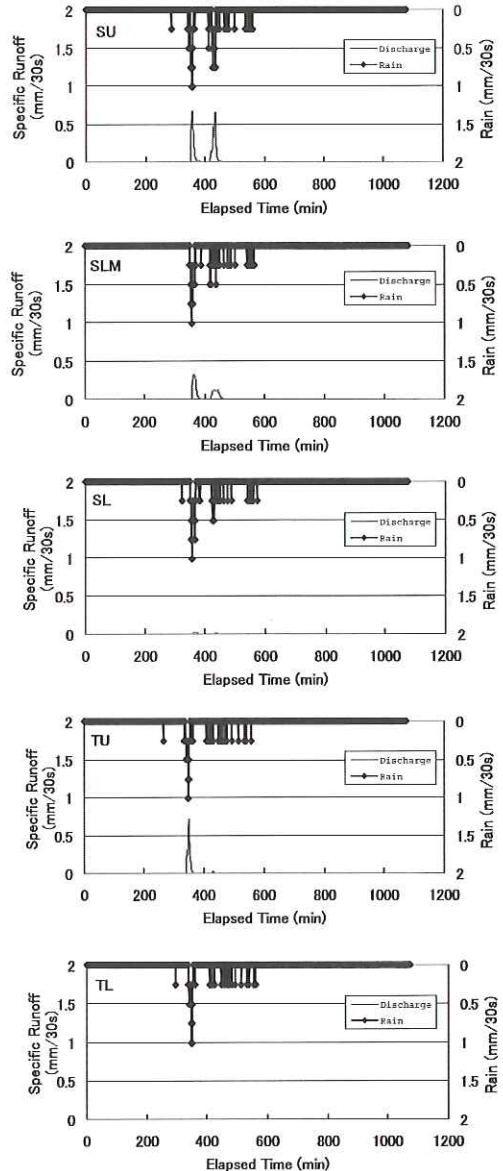


図-3 2002年9月7日の流出観測斜面におけるハイエト-ハイドログラフ
(時間軸は9月7日0:00からの経過時間を表す)

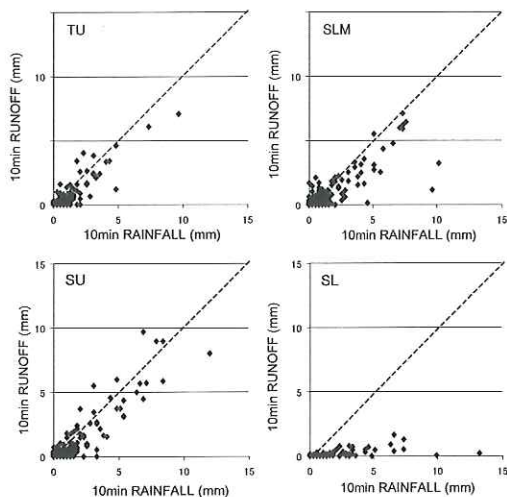


図-4 2002年9月7日、27日、30日の降雨流出事例に対する10分間降雨強度と10分間流出強度の関係

下するのに要する時間を無視すれば、降雨が全て流出する場合、全てのプロットがこの破線上にのる。また、斜面の一部のみが流出に寄与する場合には、流出寄与域の占める割合は、プロットの分布の傾きに反映され、流出寄与域での浸透損失は、プロットの傾向線の x 切片として表されると考えられる。このような視点で、図-4の4つのグラフを見ると、SU、SLM、TUの3つの斜面では、浸透損失は小さく、10分間雨量が2mm以上の比較的強い雨に対して流出寄与域の占める割合は100%に近いことが分かる。一方、SLではプロットの分布の傾向は、他の3斜面における傾向とは大きく異なり、比較的強い雨に対しても流出寄与域の占める割合は10%程度しかない。

各観測斜面に設置した沈砂池には、観測開始(2002年5月)から2003年3月までに、場所によっては1トン以上の土砂が堆積した。沈砂池に堆積した土砂量を各斜面の集水面積で除した値を図-5に示す。土砂は、地表面を薄く広く覆うようにして流れる水流によって面状に侵食されたり、リルと呼ばれる細溝が発達することにより局所的に溝状に侵食されたりすることによって流出したものと考えられる。TUの雨量データによれば、この期間(2002年5月20日~2003年3月末)の総雨量は3,080mmであった。

(2) 火山灰堆積斜面における降雨流出の違いについて

観測斜面は全て火山灰で覆われていたが、降雨流出には大きな違いが生じた。降雨流出量は、SU、SLM、TUで多く、SLでは少なく、そしてTLでは全く観測されなかった。したがって、降雨流出量は、火山灰が15cm以上堆積した斜面で多いが、

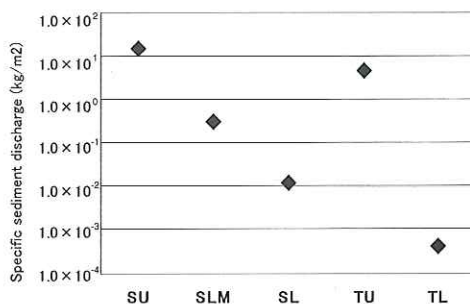


図-5 観測斜面沈砂池の堆積土砂量(2002年5月-2003年3月)

それ以下の斜面では少ないといえる。火山灰堆積厚と降雨流出量の因果関係については現時点では不明であるが、火山灰が厚く堆積している斜面ほど、植生被害の程度が大きい(表-1, 2参照)ことから、植生の被害状況の違いが流出の差となって現れている可能性もある。また、そのような斜面では、沈砂池への堆積量も多いことから、斜面の侵食も活発であるものと推測される。

今後は、斜面からの土砂流出と、地被状態および地形の関係についても検討を進めて行く予定である。

4.2 溪流の河道における降雨流出、土砂流出

カニガ沢と立根沢の溪流出口に泥流観測カメラを設置することによって、これらの溪流における降雨流出・土砂流出状況を撮影するとともに、顕著な降雨の度に現地調査を実施した。

(1) 河道における降雨流出

観測カメラの画像から水位、流速を読み取ることによって推定したハイドログラフの事例を、図-6に示す。

カニガ沢と立根沢では、流出の降雨に対する応答が大きく異なる。カニガ沢では、これまで観測されたケースでは降雨のピークから約20分遅れて流出のピークが現れるが、立根沢では、降雨のピークから数時間遅れて流出が始まる。また、観測されたケースでは、立根沢の流出量はカニガ沢と比べてわずかであり、比流出高がカニガ沢の数百分の1以下である(図-6参照)。

4.1に示したとおり、上流域斜面(例えばSUとTUなど)における降雨流出の形態は、カニガ沢も立根沢もほぼ同様であるが、溪流出口の流出形態が大きく異なっている。これは、流下過程で流出に差異が生じていることを意味していると考えられる。カニガ沢では、上流から下流にかけて溶岩が露出しているのに対し、立根沢では、中流から下流部にかけてスコリアが溪床に厚く堆積している(写真-1及び写真-2参照)。このような

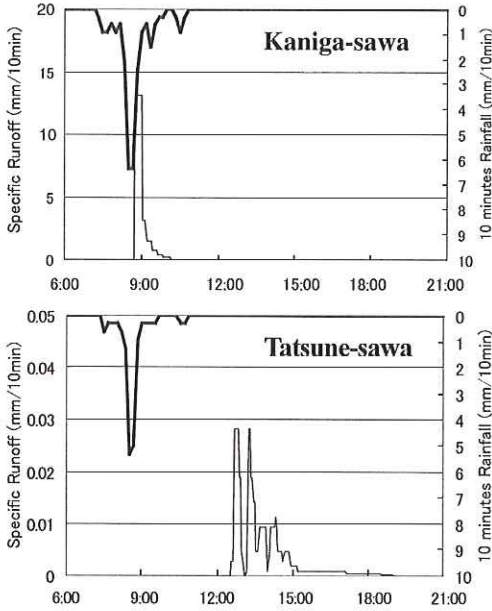


図-6 カニガ沢・立根沢出口での流出比較 (2002年7月16日)



写真-1 カニガ沢溪床の溶岩露出状況

違いが流出過程に影響しているのかの検証が、今後の重要な検討課題である。

(2) 河道からの土砂流出

現地で流出を目撃し、流出観測カメラで流出状況を観察した限りでは、観測期間中のカニガ沢の流出にはほとんど土砂が含まれていなかったように見えた。2002年3月以降の主な出水後に現地踏査を行った際にも、顕著な土砂流出の痕跡は一度も確認されなかった。

一方、立根沢では、降雨後スコリアが溪流出口の床固め工事現場に徐々に流出し工事の障害となっている。以下、立根沢におけるスコリア流出についてこれまでの調査結果を示す。

(3) スコリア流出

2002年7月1日から2003年1月31日までの日

雨量 (TU) と立根沢出口の床固め工事現場に流出したスコリア量の関係を、図-7に示した。この7ヶ月間に立根沢出口にスコリアが流出したのは5回である。図中には流出発生日と流出量を示した。7月10日の流出量は不明である。また8月19日と1月23日の流出量は、工事従事者の証言に基づく推定量であるため、図-7中では()内に記入した。日雨量と流出量の間には正の相関が見られるようだが、流出の発生した雨量より大きな日雨量が記録されたにも拘わらず、流出が発生しなかった事例も多い。

7ヶ月の観測期間中、溪流出口における流出は5回であったが、流出がなかった期間においても流域内での土砂移動は顕著であった。写真-2は出口から300m上流地点で、上流から下流に向かって2002年9月19日、10月24日、11月20日、11月26日に撮影したものである。9月19日から10月24日の間に溪床は約3m上昇、11月20日に1.4m低下、26日には1.4m上昇していた。この期間の雨量はそれぞれ445mm(9月19日～10月24日)、149mm(10月24日～11月20日)、121mm(11月20日～26日)であった。出口でスコリアの流出は認められなくても、立根沢では降雨の度にこのような河床変動が繰り返されている。また、新規の溪岸侵食の進行、崩壊の発生もあり、新たなスコリアがさらに溪床に供給されている。

図-6に示したハイドログラフが得られた際に、現場でスコリアの流動状況を肉眼で観察する機会があった。その観察によると、表流水がスコリアを侵食して流路を形成し、流路が深く掘れたところでスコリアが内側に崩壊して表流水を堰止め、それがまた侵食される、という過程を繰り返しながら移動した。その結果、スコリア先頭部が20m下流へ移動するのに30分を要した。堆積と侵食を繰り返しながらではあるが、その平均移動速度は約1cm/sと計算できる。移動区間の溪床勾配(スコリア流出後)は10°であった。一般的に知られている土石流は、土砂と水が渾然一体となって流下し、その流下速度は大きい⁴⁾。しかし、こ

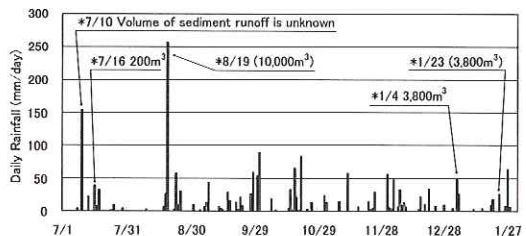


図-7 日雨量とスコリア流出 (2002年7月1日～2003年1月31日)



2002年9月19日

10月24日(3m上昇)

11月20日(1.4m低下)

11月26日(1.4m上昇)

写真-2 立根出口から上流 300m 地点での溪床変動状況 (上流から下流に向かって撮影)

の時流出したスコリアは、堆積・侵食を繰り返し、ゆっくり移動するという形態で、土石流の流出形態とは異なっていた。

5. まとめと今後の課題

本検討の結果、噴火から2年が経過した三宅島における降雨流出、土砂流出の実態として以下のことが明らかになった。

①火山灰堆積斜面の降雨流出

火山灰堆積厚が大きく(15cm以上)、植生被害の著しい斜面では強い降雨に対して100%近い流出が発生しており、それ以外の斜面では、たとえ火山灰が残留していても降雨流出は少なかった。

②溪流の河道における降雨流出、土砂流出

厚い火山灰堆積物が流域の多くの部分を占め、溪床に溶岩が露岩したカニガ沢では、降雨に即応して大量の降雨流出が発生するが、大量の土砂流出が生じた痕跡は見当たらなかった。一方、厚く火山灰に覆われた範囲が比較的狭く、溪床にスコリアが堆積した立根沢では、降雨流出はタイミングが数時間以上遅れ、表面流として現れる降雨流出量は少ないが、土砂流出としてスコリアの流出が継続している状態にある。

2002年は、火山ガスに伴う計測機器の不調等のため、観測データの欠測が多かった。今後は、現地観測等を継続しデータを蓄積するとともに、得られたデータに基づく泥流発生危険度および規模の予測モデルの検討に取り組んで行く予定である。

現地観測および調査を行うにあたり、東京都三宅支庁には、資料を提供していただくとともに、現地観測を行う上で諸々の便宜を提供いただいた。また、三宅村には、現地観測用地を貸与していただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば, Collins, B. D. and Dunne, T. (1986) : Erosion of tephra from the 1980 eruption of Mount St. Helens : Geol. Soc. Am. Bul., 97, pp.896-905.
- 2) 東京大学地震研究所 (2001) : 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.
- 3) 仲野公章, 山田孝, 山越隆雄, 土井康弘 (2000) : 三宅島火山噴火に伴う土砂災害速報, 土木技術資料, Vol.42, No.11, pp.2-3.
- 4) 池谷浩 (1978) : 土石流の分類, 土木技術資料, Vol.20, No.3, pp.150-155.

山越隆雄*



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ火山・土石流チーム研究員
Takao YAMAKOSHI

土井康弘**



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ火山・土石流チーム専門研究員
Yasuhiro DOI

小山内信智***



独立行政法人土木研究所
土砂管理研究グループ火山・土石流チーム首席研究員, 農博
Dr. Nobutomo OSANAI