

2011年霧島山（新燃岳）噴火によりテフラが堆積した高千穂峰南側斜面における土砂移動

SEDIMENT MOVEMENT PHENOMENA OBSERVED IN THE UPPER SLOPE OF THE SOUTHERN FLANK OF MOUNT TAKACHIHO, AFTER THE TEPHRA FALL BY THE 2011 ERUPTION OF SHINMOE-DAKE, KIRISHIMA VOLCANO

木佐 洋志¹・山越 隆雄²・石塚 忠範³

Hiroshi KISA, Takao YAMAKOSHI and Tadanori ISHIZUKA

¹独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

E-mail: kisa44@pwri.go.jp

²独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

E-mail: yamak226@pwri.go.jp

³独立行政法人土木研究所（〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6）

E-mail: t-ishiduka@pwri.go.jp

Key Words: the 2011 eruption of Shinmoe-dake, pumice, volcanic ash, debris flow

1. はじめに

霧島山(新燃岳)は、2011年1月26日に噴火活動が活発化し、大量の火山灰や軽石が、新燃岳の火口周辺および概ね東から南東の方向に堆積した(図-1)。火山噴火によりテフラが流域斜面に堆積すると、斜面の浸透能が著しく低下し、小規模な降雨でも土石流が発生する危険性が高まると言われている¹⁾。2012年4月時点で、テフラが堆積した溪流において、その後の降雨による土石流の被害は発生していないが、2011年6月の梅雨期には、一部の流域において、降雨時に土砂を多量に含む出水が確認されている²⁾。

国土交通省九州地方整備局は、降雨後の土砂流出等の発生有無を監視すること等を目的としたヘリ調査を、噴火以降、数度にわたり実施している。筆者らは、2011年2月18日のヘリ調査に同乗し、その後、ヘリ搭載ビデ

オカメラにより撮影された映像を注意深く観察し、高千穂峰(1573m)の南側斜面に位置する荒川内川流域の上流域斜面上にヘリ機上から肉眼で確認できなかった、“黒い筋”状の土砂移動の痕跡を確認した(写真-1)。



図-1 2011年1月噴火の火山灰と軽石の分布方向
(図中★:土砂移動の痕跡位置, ●:雨量計位置)

本稿では、土砂移動の痕跡が認められた高千穂峰南側斜面において現地調査を行い、テフラ堆積斜面の状況および土砂移動の特徴等について調査した結果を報告する。

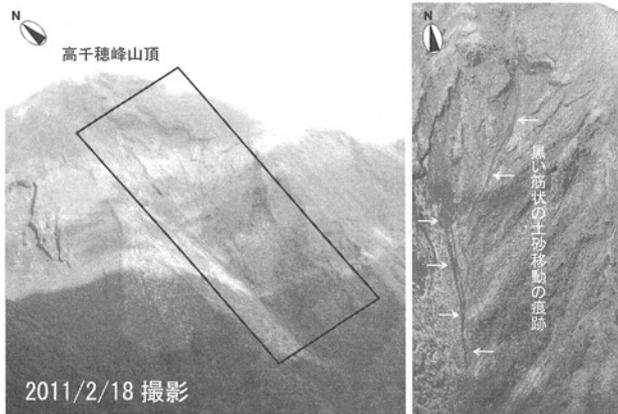


写真-1 高千穂峰南側斜面の土砂移動痕跡(右:ヘリ搭載ビデオカメラ撮影映像のキャプチャ画像)

2. 高千穂峰南麓の降雨状況

図-2 に荒川内(県)雨量計における 2011 年 1 月 26 日噴火以降から同年 7 月上旬までの時間雨量と累積雨量

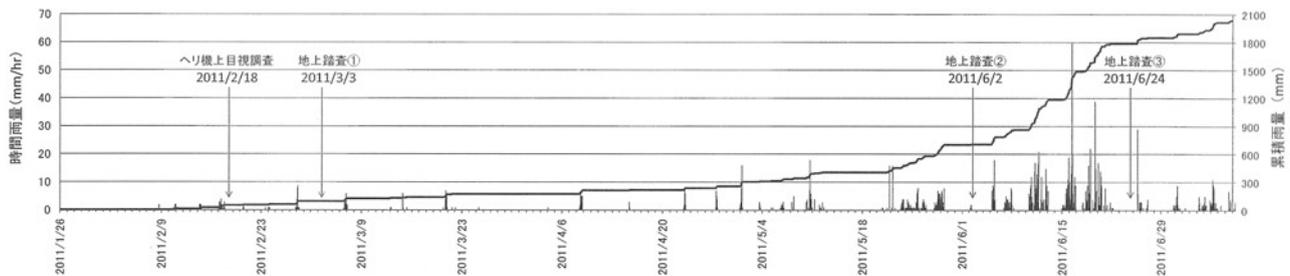


図-2 荒川内(県)雨量計の時間雨量と累積雨量(2011年1月26日~7月9日)

3. 土砂移動状況

(1) 2011年3月3日調査(地上踏査①)

a) テフラの堆積状況と土質特性

高千穂峰南側斜面において、土砂流出の痕跡を調査した地点を図-3 に示す。調査地点は、荒川内川流域の西側支川の上流部にあたる。この地点より上流の小流域の面積は、図上計測で約 0.2km²である。小流域境界部(尾根付近)や、山頂付近の斜面には、溶岩の露頭が認められ、崖地形を呈する。調査地点の右岸側斜面は裸地あるいは草地在り主体で、過去の噴出軽石や、今

年のグラフを示す。また、表-1 のとおり、噴火以降の雨量を調査実施日で区切った期間毎に整理した。

土砂移動の痕跡が認められた 2 月 18 日以前の雨量は、時間雨量が最大で 4mm/hr(2/17 7:00)、累加雨量(24 時間無降雨でリセット)26mm であった。比較的小規模な降雨で土砂移動が発生した可能性がある。その後、6/2の地上踏査②までに、時間雨量 18mm/hr(5/10 16:00)、累加雨量 65mm の降雨等が観測された。

2011/6/15~23 の梅雨前線の影響により、時間雨量が 60mm/hr(6/16 9:00)、累加雨量 605mm の非常に強い降雨が観測された。その後の 6/24 に地上踏査③を実施している。

表-1 期間毎の観測雨量(荒川内(県)雨量計)

調査日	調査方法 (調査内容)	期間中の経験雨量				
		期間	最大時間雨量 (mm/hr)	累加雨量※ の最大値(mm)	期間累積雨量 (mm)	噴火以降の 累積雨量(mm)
2011/2/18	ヘリ機上目視調査	1/26 - 2/17	4	26	49	49
3/3	土砂移動状況の 地上踏査①	2/18 - 3/2	9	34	44	93
6/2	土砂移動状況の 地上踏査②	3/3 - 6/1	18	176	606	699
6/24	土砂移動状況の 地上踏査③	6/2 - 6/23	60	605	1087	1786

※24時間無降雨でリセット

回の噴火によるテフラが安息角に近い勾配で堆積していた。左岸側斜面は、草地や低木林が主体である。

標高 1200m 地点付近の左岸側斜面では、軽石層とこれを覆う火山灰層が 10cm 以上の層厚で堆積している状況が確認された。落葉層が発達した林床も、ほとんど火山灰および軽石で覆われていた。テフラ堆積物は、大半が軽石で、粗砂~細礫程度の粒径のものであった。調査地点周辺の斜面では、総じて、まず旧表土上に軽石主体の層が厚く堆積し、表層部は 1cm 程度の火山灰主体の層で覆われているか、軽石層の表層の間隙が火

山灰で目詰まりした状態となっていた。また、下部の軽石主体の層は未固結でルーズであるが、上部の火山灰主体の層は粘着力があり、やや固結している状況が多くの地点で観察された(写真-2)。テフラ堆積斜面においては、布状侵食の痕跡や、リルの形成など表面流の発生の痕跡(写真-3)、土砂が流下した痕跡が多く確認された。

同地点(写真-2, 図-3 中の②の地点)において採取した軽石主体の層と、その表層を覆う火山灰主体の層の粒度分布を図-4 に示す。火山灰は、細粒分を多く含み、軽石は粗砂・細礫が主体であった。また、採取箇所は異なるが、高千穂峰北東側の高崎川流域で採取した火山灰主体の試料および高千穂峰南東側の横尾川流域で採取した軽石主体の試料(いずれも攪乱試料)を用いて、飽和透水試験(JIS A1218)を行った。透水円筒への試料の充填密度は、火山灰では $1.50\text{g}/\text{cm}^3$ 、軽石では現地で計測した堆積密度をもとに、 $0.85\text{g}/\text{cm}^3$ とした。火山灰の飽和透水係数は $4.13 \times 10^{-4}\text{cm}/\text{sec}$ 、軽石は $1.21 \times 10^{-2}\text{cm}/\text{sec}$ と、火山灰は軽石よりも2オーダー小さく、浸透能も相対的に火山灰で小さく、軽石で大きいものと推察された。

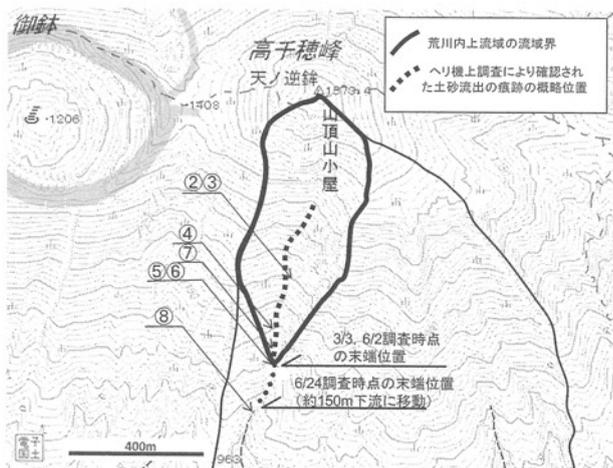


図-3 調査地点位置図 (○数字は写真番号と対応)

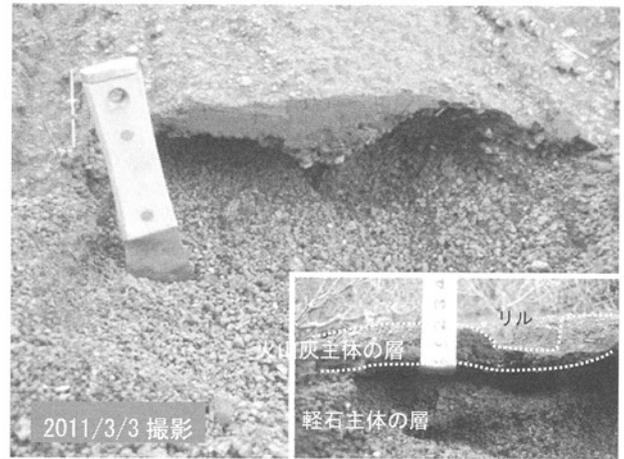


写真-2 テフラ堆積斜面の状況



写真-3 テフラ堆積斜面の表面侵食の例(リル)

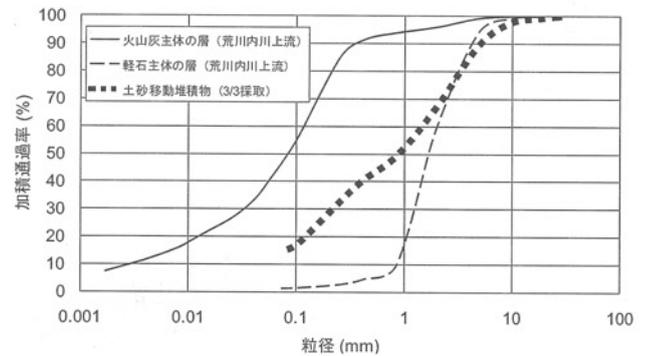


図-4 高千穂南側斜面(荒川内川上流域)で採取した火山灰および軽石の粒度分布, 土砂移動堆積物の粒度分布

b) 土砂移動の状況

2月18日のヘリ撮影映像で黒い筋状に見えた土砂移動の痕跡箇所において、上流斜面から流下してきたと思われる土砂の堆積が確認された(写真-4)。規模は小さく、土砂量等は不明であるが、堆積物の先端は、標高1050m付近に達し、過去の噴火による軽石や溶岩片

が堆積するガレ場で停止していた(写真-5)。堆積物は、主に粗砂、細礫の土砂で構成され、表面には軽石等が目立つものの、その下部については、特に目立った層構造は見えなかった(写真-6)。堆積土砂の粒径や色など、2011年1月噴火により噴出された火山灰および軽石と特徴が近似していることから、堆積物は2011年1月噴火で噴出されたテフラで構成されているものと推定される。3月3日に採取した堆積物の粒度分布を図-2に示す。

一方、堆積土砂先端部の形状は舌状を呈し、土砂が通過した両側に、堤防状の高まりが認められた。標高1100m付近では、この堆積物の流動幅は少なくとも2m以上、流動深は約60cmであった。ガレ場から下流では、両側に接続する斜面からの土砂流出の痕跡が認められはしたが、上流からの土砂が流下した痕跡は認められなかった。



写真-4 土砂移動堆積物 (標高約 1090m より撮影)



写真-5 土砂移動堆積物の先端部 (図中の破線：痕跡の高さを表す) ※写真中の巨礫はガレ場に元々あったもの

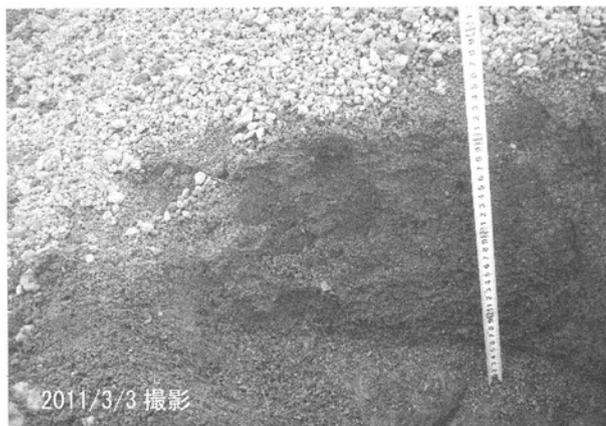


写真-6 土砂移動堆積物の断面の様子

(2) 2011年6月2日調査(地上踏査②)

6月2日の地上踏査では、土砂移動堆積物の停止位置に大きな前進は認められなかった。ただし、移動土砂の流下幅が約7m、堆積厚が約120cmと3月3日調査時より規模が大きくなっていったことから、3月3日以降の降雨により、上流域からさらに移動土砂が流下・堆積し、同地点で停止したものと考えられる。また、周辺斜面においては、リル侵食が認められる等、降雨時に表面流が発生していると考えられた。

(3) 2011年6月24日調査(地上踏査③)

2011年6月15日～23日に梅雨前線の影響により、荒川内(県)雨量計において最大60mm/hr(6/16 9:00)、累加雨量605mmの大きな降雨が観測された。

荒川内川上流域の移動土砂の堆積状況は、6月2日時点と比較すると、堆積土砂の先端部の位置が約150m下流へ前進していた。途中流下区間では、洗掘による河床低下が認められ、地山まで洗掘されている区間もあった(写真-7、写真-8)。一方、流下区間縁辺部の自然堤防地形はさらに顕著となっており、6月2日の規模を上回る土砂流出が発生したものと考えられた。



写真-7 土砂移動堆積物と溪床の洗掘（標高 1050m 付近）

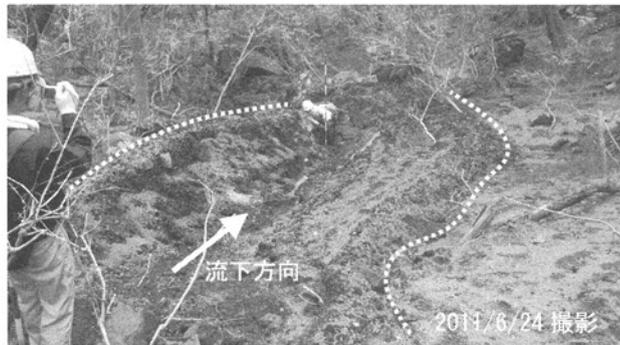


写真-8 堤防状の高まりが確認される下流端（標高 975m）

4. 考察

(1) 堆積土砂の形態

今回の一連の調査で認められた堆積土砂は、層構造が認められないこと、先端部の形状が舌状を呈していること、土砂が通過した両側に、いわゆる土石流堤防と呼ばれる堆積土砂の高まりが認められるなどの特徴が認められた。これらの特徴から、今回の土砂移動現象は、土石流に近いものであったと推察される。

(2) 土砂移動の流速

2011年3月3日の現地踏査①において、この土砂移

動堆積物の先端部では、ガレ場に散在する0.5~1m程度の岩塊(溶岩片)を迂回して土砂が流下・堆積した様子が確認された(写真-5)。そのため、この土砂移動は、同程度の河床勾配における一般的な土石流の流速と比較すると非常に緩慢な流速で流下し、停止した可能性がある。このような流動機構に類似した土砂流出について、土井(2003)らが、三宅島2000年噴火により火山灰が大量に堆積した立根沢(流域面積0.64km²)における事例を報告している³⁾。この事例は、噴火から約2年が経過した2002年7月に、総雨量14mmの弱い降雨イベントにおいて、ピークから4時間後に、全面スコリアが堆積している溪床上に表流水が出現し、堆積しているスコリアが、表流水とともにゆっくりと移動・停滞を繰り返しながら流動する様子が、現地調査時に目撃され、ビデオカメラ撮影および写真撮影された。報告によると、スコリア先端部が20m下流へ移動するのに要した時間は30分で、その平均移動速度は、約1cm/sと計算されている。荒川内川上流域における、3月3日の現地踏査①で確認された移動土砂の流下痕跡や堆積形態は、前述の三宅島の事例のように緩慢な速度で流動したものだとする説明が付きやすい。また、荒川内川上流域の事例と、前述の三宅島の事例は移動土砂の構成材料の比重が小さい点で共通しており、比重が小さいことがこのような流動形態をとる素因のひとつと推察される。

(3) 土砂移動の停止

今回の調査期間(2011年3月3日の現地踏査①から、6月24日の現地踏査③の間)において、荒川内で、最大で時間雨量60mm/hr、最大で累加雨量605mm、累積雨量1693mmの降雨を経験した。しかし、今回の土砂移動は、規模の大きい降雨を経験したにも関わらず、下流への移動距離が約150mと短く、長距離流下せずに停止したことが特徴的である。この点では、門村ら(1978)が、有珠山1977年噴火により、軽石状の火山灰が堆積した西山川上流域(流域面積0.53km²)において、

降雨に伴う軽石の集合運搬とみられる土砂移動堆積物について報告した事例⁴⁾とよく似ている。報告によると、現地調査がなされた1978年5月6日と同年7月19日の間に、約220mmの降雨があったが、軽石流の堆積物が数mあるいは数十mといった短距離を移動して停止していたことが現地観察から確認されている。また、池谷ら(1978)は、この西山川における土砂流出について、河道の浸透性の高い火山噴出物の堆積層が厚く存在しているため、水が失われることで、河道での掃流力の低下が生じ、下流域まで到達しない場合が多いとしている⁵⁾。前述の三宅島のスコリアの流出事例における、表流水とともにゆっくりとスコリアが移動と停滞を繰り返す様子も、水が失われると停滞する点では通ずる。

これらの土砂移動の停止の形態に関して、類似した土砂移動現象として、“Sieve Flow”が考えられる。“Sieve Flow”は、乾燥地域などの扇状地において、土石流が透水性の高い古い堆積物上を流下する際に、土石流中の水が地下に浸透して、流動性を失い停止し、舌状の堆積地形“Sieve Deposits”を残すものである^{例えは 6)}。また、浸透性の高い砂礫層上で土石流が水を失って停止する現象については、水路実験を用いた土石流実験により検証した奥村ら(1984)の報告があり、元河床の堆積物の浸透特性が、土砂移動の停止に影響を与えることが指摘されている⁷⁾。

以上の他火山の事例や研究事例から類推すると、高千穂峰南側斜面の荒川内川流域における土砂移動現象は、2011年霧島山(新燃岳)噴火により堆積した軽石を主体とするテフラが、比較的小規模な降雨により集合流動を開始したものの、透水性の高いガレ場において水が失われることで流動性を失い、堆積したものと推察される。

5. おわりに

霧島山(新燃岳)2011年1月噴火によるテフラが堆積した高千穂峰南側斜面において確認された土砂移動

現象は、堆積土砂の形態の特徴から、その流動形態は土石流に近いものであったと推察された。これと類似した流出事例は、他火山の過去の噴火事例で報告されており、それらと同様の土砂移動現象であった可能性がある。その土砂移動の特徴としては、移動の流速が緩慢であること、急勾配でも停止していることが挙げられ、その理由として、土砂構成材料が比重の小さい軽石であること、溪床の透水性が高い場所で土砂移動を停止したこと等が考えられた。

最後に、今回の土砂移動のメカニズム、降雨の規模と土砂移動の関係性については不明な点が多く、今後も引き続き調査を行う予定である。

謝辞：国土交通省九州地方整備局の関係者には、へり調査、現地踏査の際に便宜を図って頂いた。また、本稿に掲載した調査データの一部をご提供頂いた。また、本稿査読者からは、“Sieve Flow”に関する有意義な知見をご教示頂いた。ここに心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 田村圭司・山越隆雄・松岡暁・安養寺信夫:火山噴火後に土石流が発生した事例, 土木技術資料, Vol.52, No.3, 34-39, 2010.
- 2) 清水収・地頭菌隆・下川悦郎・山越隆雄・木佐洋志・瀧口茂隆・杉山光徳:霧島山新燃岳の2011年1月噴火による降灰とその後の土砂移動, 砂防学会誌, Vol.64, No.3, 46-56, 2011.
- 3) 土井康弘・山越隆雄・渡正昭:2002年7月16日の三宅島立根沢におけるスコリア流出, 砂防学会誌, Vol.56, No.2, 32-36, 2003.
- 4) 門村浩・山本博・鈴木利吉・鈴木啓助:1977年有珠山噴出テフラに覆われた斜面の侵食過程(1977年8月~1978年8月上旬), 「有珠山噴火と環境変動」北海道大学, 121-139, 1978.
- 5) 池谷浩・米沢谷誠悦:1977年有珠山噴火に伴う火山噴出物の分布とその影響, 土木技術資料, Vol.20, No.10, 40-45, 1978.
- 6) Roger LeB. Hooke:Processes on Arid-Region Alluvial Fans, The Journal of Geology, Vol.75, No.4, 438-460, 1967.
- 7) 奥村武信・辻健・植山素治:浸透性の高い砂礫層上での土石流の挙動, 鳥大演報, No.14, p.127-135, 1984.

(2012.5.9受付)