

火山灰散布を行った桜島荒廃斜面における雨水・土砂流出

寺本 行芳¹⁾・下川 悦郎¹⁾・地頭蘭 隆¹⁾・山内 信宏¹⁾・宇都 敬太¹⁾

1) 鹿児島大学農学部生物環境学科

Rainwater and sediment discharge from a slope on a devastated hillside of Sakurajima volcano sprinkled with volcanic ash

TERAMOTO Yuki-yoshi, SHIMOKAWA Etsuro, JITOUSONO Takashi, YAMAUCHI Nobuhiro and UTO Keita

1) Department of Environmental Sciences and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto, Kagoshima 890-0065

(平成15年11月25日 受 理)

Summary

We investigated the effects of volcanic ash on rainwater runoff, sediment discharge and the runoff process on Sakurajima volcano, based on field experiments. The results are as follows:

- (1) Though surface runoff, sediment discharge, sediment concentration and grain size of sediment discharge were larger on the slope sprinkled with volcanic ash than on the bare land slope, the differences in the values for both types of slope tend to become smaller with time.
- (2) The runoff process of surface runoff was examined with a runoff model. It became clear that rainfall loss and Manning's coefficient of roughness were smaller on the slope sprinkled with volcanic ash than on the bare land slope, and the calculated area contributing to the occurrence of Horton's overland flow on the slope sprinkled with volcanic ash was larger than that on the bare land slope. Furthermore, the difference in parameters found by runoff analysis between the slope sprinkled with volcanic ash and the bare land slope became smaller with time.
- (3) It became clear, based on field experiments, and runoff analysis, that the area contributing to the occurrence of Horton's overland flow has become larger with increased rainfall.

Key words: Sakurajima volcano, volcanic activity, volcanic ash, runoff of rainwater and sediment discharge

キーワード: 桜島, 火山活動, 火山灰, 雨水・土砂流出

はじめに

1955年以降噴火活動を続けている桜島の山腹では、噴火活動に伴う火山灰の被覆によって土壌の浸透能は低下し、少雨でもホートン型地表流（表面流）が発生している（地頭蘭・下川, 1987, 1989, 1998）。その結果、斜面では表面侵食やリル・ガリー侵食によって多量の土砂が生産され、溪流では土石流によって多量の土砂が流出している（Shimokawa and Taniguchi, 1983; Shimokawa et al., 1989; Jitousono and Shimokawa, 1989; 下川・地頭蘭, 1987a, 1987b, 1987c; 地頭蘭・下川, 1991; 地頭蘭ら, 1997）。

桜島における表面侵食やリル・ガリー侵食による土砂生産および土石流による土砂流出は、火山灰の被覆に伴う水

文・侵食環境の急激な変化に大きく関係している。

本論では、桜島の噴火活動による火山灰の被覆が斜面の雨水・土砂流出および流出過程に及ぼす影響について、現地実験の結果に基づき検討する。細粒火山灰の被覆が斜面の雨水・土砂流出特性に及ぼす影響に関しては、雲仙普賢岳（小川ら, 2003など）、有珠火山（門村ら, 1978など）、セントヘレンズ火山（Collins and Dunne, 1986など）等における詳細な調査研究例がある。

方 法

調査地は引ノ平川流域内の支谷の八谷沢上流域であり（図-1）、地質は表層から順に、1914年大正噴火以降から

今日までの噴火活動による降下火山灰の堆積層、土壌層、大正噴火による降下軽石層からなる。

桜島の噴火活動によって放出された火山灰の被覆が、斜面の雨水・土砂流出および流出過程に及ぼす影響を明らかにするため、八谷沢上流域に試験地を設けた(図-1)。試験地は人工的に火山灰散布を行った斜面(以下、火山灰

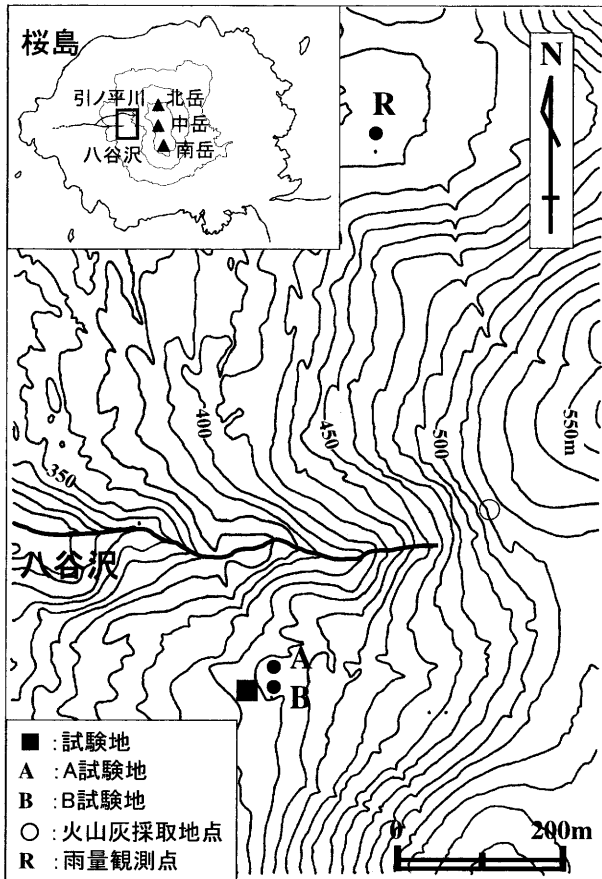


図-1 調査地の位置と地形

Fig.1 Location and topography of the study area on Sakurajima volcano.

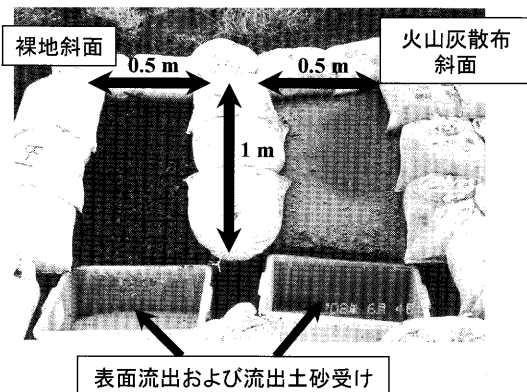


写真-1 観測地点の状況(2003年6月4日撮影)
Photo 1 Condition of the experimental area (taken on June 4, 2003).

散布斜面という)と、対照区としての裸地斜面(以下、裸地斜面という)であり、2斜面は隣接している(写真-1)。試験地の斜面は仕切られており、斜面方向の水平長は1m、幅は0.5m、斜面傾斜は19度である(写真-1)。散布した火山灰は八谷沢上流域の標高510m付近で採取した(図-1)。採取した火山灰を天日乾燥した後ゴミを取り除き、裸地斜面の上部から下部にかけて厚さが均一になるように火山灰の散布を行った。散布した火山灰の厚さは約0.5cmである。火山灰の散布は2003年6月4日に行った。図-2に、散布火山灰および裸地斜面表層火山灰層の粒度分布を示す。散布火山灰および裸地斜面表層火山灰層の均等係数はそれぞれ6.4, 32.9であり、裸地斜面表層火山灰層の粒度分布は散布火山灰に比べ広がっている。散布火山灰および裸地斜面表層火山灰層の中央粒径はそれぞれ0.15mm, 0.28mmである。

火山灰散布斜面および裸地斜面の下端に表面流と表面侵食による流出土砂を捕捉するためのプラスチック容器(長さ64cm×幅45cm×深さ23cm)を2003年6月4日に設置し、一雨ごとの表面流出量および流出土砂量の測定を開始した(写真-1)。測定した土砂は採取して持ち帰り粒度試験を行った。表面流出量および流出土砂量の測定と併せて雨量の観測を実施した(図-1)。

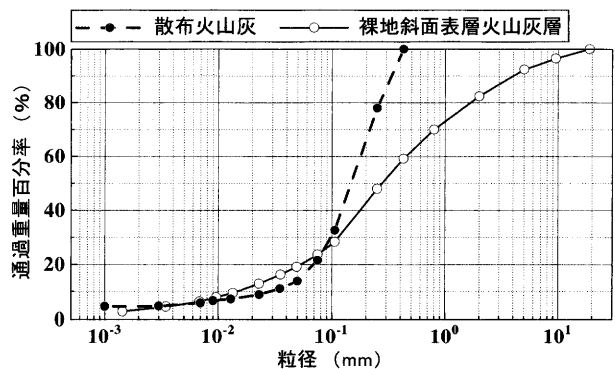
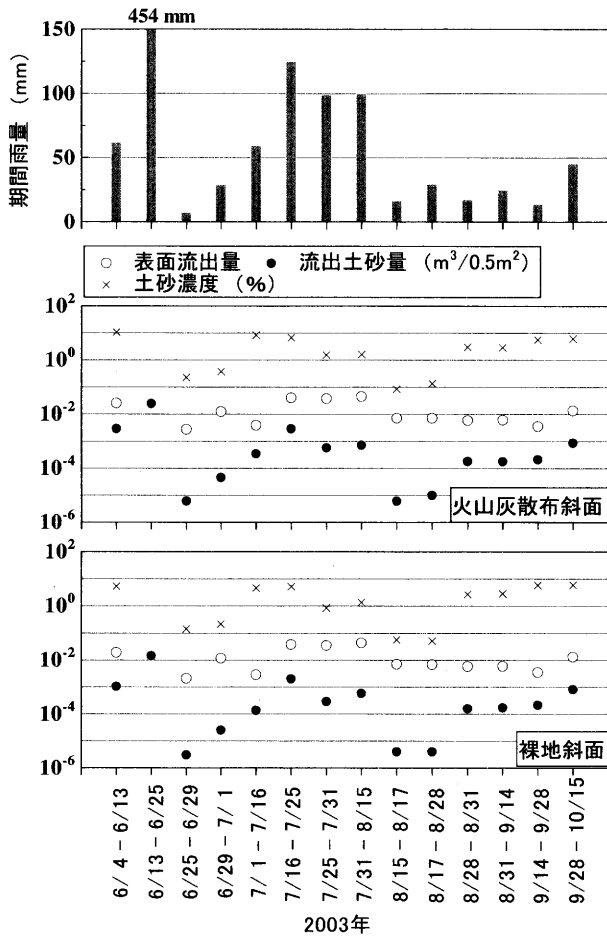


図-2 散布火山灰および裸地斜面表層火山灰層の粒度分布
Fig.2 Grain size distributions of the sprinkled volcanic ash and the surface layer volcanic ash on the bare land slope.

火山灰散布斜面と裸地斜面における雨水・土砂流出

図-3は、火山灰散布斜面および裸地斜面で観測期間に得られた表面流出量、表面侵食による流出土砂量および土砂濃度を、期間雨量と併せて時系列に示したものである。ここでいう土砂濃度とは、流出土砂量を表面流出量と流出土砂量の合計量で割った値を表している。なお、6月13日から6月25日の期間における表面流出量は、プラスチック容器をオーバーフローしたため測定できなかった。図によると、火山灰散布斜面の表面流出量、流出土砂量および土



* 6/13-6/25の表面流出量はオーバーフローしたため測定できなかった。

図-3 観測期間に得られた表面流出量，流出土砂量および土砂濃度
Fig.3 Surface runoff, sediment discharge and sediment concentration in the observed period.

砂濃度は裸地斜面のそれらよりも大きな値を示すが，時間の経過とともに2斜面のそれらの差は小さくなっていく傾向にある。

図-4は，火山灰散布斜面および裸地斜面で観測期間に得られた流出土砂の30%，50%および70%粒径を，期間雨量と併せて時系列に示したものである。細粒分を多く含む流出土砂の30%および50%粒径に限ってみると，火山灰散布斜面の方が裸地斜面よりも粒径が大きくなっているが，2斜面の粒径の差は時間の経過とともに小さくなっていく傾向にある。また，流出土砂の70%粒径は，7月31日以降8月17日と8月31日以降9月28日までは粗粒化が起きている。

流出過程の検討

2003年6月から同年10月までの観測期間に得られた表面

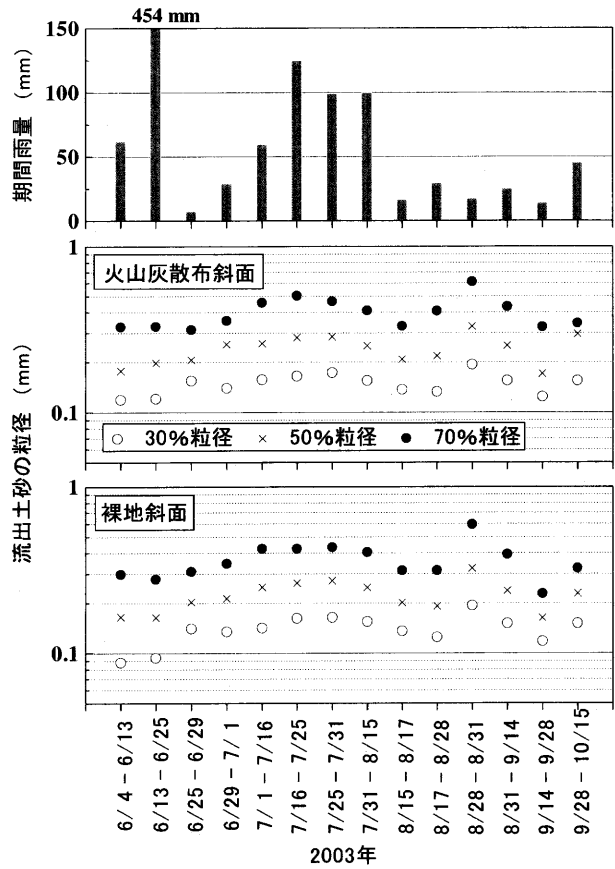


図-4 観測期間に得られた流出土砂の粒度分布
Fig.4 Grain size distributions of sediment discharge in the observed period.

流出量のデータを用いて流出過程を検討する。

雨水の流出過程を次のようにモデル化した。斜面に降った雨のうち，初期損失雨量と浸透能値を超えた部分が Horton型地表流（表面流）を発生させる。表面流は火山灰層表面を削り取り土砂を下流に運搬する。流出モデルとして kinematic wave 法を用いる。このモデルでは，雨水の流出過程を損失雨量，マンニングの粗度係数および Horton型地表流の発生に寄与する区域（以下，流出発生域面積という）の3パラメータで表し，表面流出量の計算を行う。

有効雨量は次式で表す。

$$\Sigma R < R_L \text{ の場合 } R_{e(i)} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\Sigma R > R_L \text{ の場合 } R_{e(i)} = R_{(i)} - I, \dots\dots\dots (2)$$

ここに， $R_{e(i)}$ ： i 時における有効雨量（mm）， ΣR ：雨量の開始から i 時までの連続雨量（mm）， R_L ：初期損失雨量（mm）， $R_{(i)}$ ： i 時における雨量（mm）， I ：浸透能（mm/hr）である。連続雨量は6時間の中断をもって算出する。

斜面の表面流が Manning則に従うとすると，斜面流の連続式および運動式はそれぞれ次式で表せる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = Re \dots\dots\dots (3)$$

$$A = n^{3/5} I^{-3/10} q^{3/5} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 A ：単位幅あたりの流水断面積、 t ：時間、 q ：単位幅あたりの流量、 x ：上流端を原点とした場合の斜距離、 n ：マンニングの粗度係数、 I ：斜面の平均勾配、 Re ：有効雨量強度である。なお、表面流の継続時間は連続雨量のそれと同じと仮定した。計算条件を表-1に示す。河道横断面は幅広矩形断面で近似する。損失雨量は、連続雨量から実測の表面流出量を差し引いた値とする。マンニングの粗度係数 n と流出発生域面積の2パラメータについては現実に取りうる範囲(表-1)で変化させ、(5)式で定義される相対2乗偏差 E が最小となるものを最適値とした。

$$E = \frac{(Q_o - Q_c)^2}{Q_o^2} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Q_o ：実測表面流出量、 Q_c ：計算表面流出量である。

図-5は、火山灰散布斜面および裸地斜面における損失雨量、マンニングの粗度係数および流出発生域面積の3パラメータの最適値を時系列に示したものである。流出発生域面積は、区画の集水面積で割って流出発生域面積率(計算値)として表した。火山灰散布斜面の損失雨量およびマンニングの粗度係数は裸地斜面のそれらに比べ小さくなっているが、時間の経過とともに2斜面のそれらの差は小さくなる傾向にある。火山灰散布斜面の流出発生域面積率(計算値)は逆に、裸地斜面のそれに比べ大きくなっているが、時間の経過とともに2斜面のその差は小さくなっている。3パラメータ値の時系列変化は、火山灰散布斜面では散布された火山灰が表面侵食によって流出することにより地表の粗粒化が進み、浸透能が回復して表面流の発生機能がより低下し、時間の経過とともに裸地斜面の状態に近くなることを示唆している。

小川ら(2003)は、噴火終息後の雲仙普賢岳の火砕流堆積物斜面において細粒火山灰を地表に被覆する現地実験を行い、細粒火山灰の流出に伴い地表が粗粒化することによ

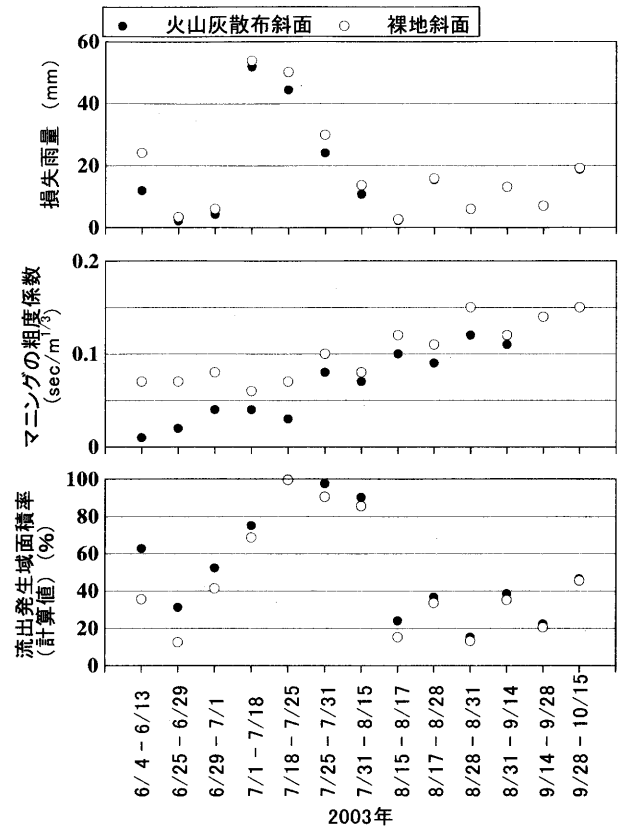


図-5 パラメータの最適値
Fig.5 Optimum parameters by runoff analysis.

て表面流が発生しにくくなっていくことを示した。小川ら(2003)の結果は、流出解析で得られたパラメータ値の時系列変化と同様の傾向を示している。

図-6は、期間雨量と流出発生域面積率(計算値)の関係を示したものである。この図は、期間雨量の増加に伴い流出発生域、すなわち Horton型地表流の発生に寄与する区域が拡大することを表現している。火山灰散布斜面および裸地斜面における流出発生域面積率(計算値)は、期間雨量に強く支配されて増加しているが、同じ期間雨量に対する流出発生域面積率(計算値)は火山灰散布斜面の方が大きい。とくに、図中に日付を記した火山灰を散布して間

表-1 計算条件
Table 1 Condition of analysis.

	火山灰散布斜面	裸地斜面
斜面の平均勾配 I	0.33	0.33
河道幅 B (m)	0.5	0.5
損失雨量 (mm)	実測値	
マンニングの粗度係数 n (sec/m ^{1/3})	0.01~1	
流出発生域面積 (m ²)	最大で区画の集水面積 (0.5m ²) まで変化	

注：「マンニングの粗度係数」および「流出発生域面積」は最適化している。

もない時期のデータでは、同じ期間雨量に対する2斜面の流出発生域面積率(計算値)の差が大きくなっている。この理由として、この時期の火山灰散布斜面には多くの散布した火山灰が残存しているため、損失雨量および斜面の粗度がより小さな状態にあることが関係していると考えられる。

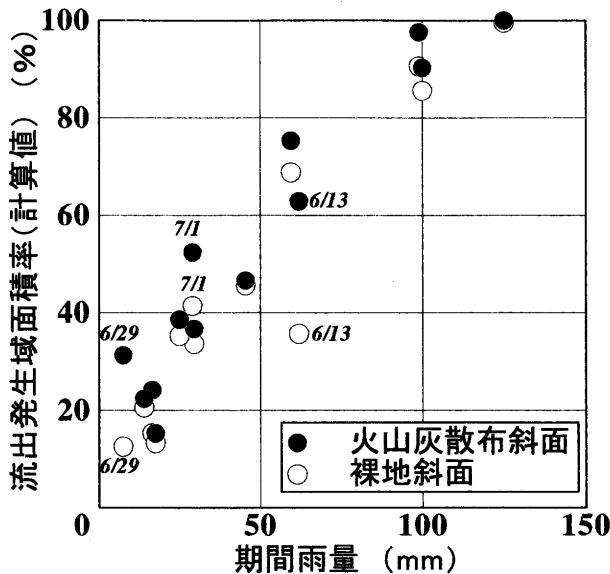


図-6 期間雨量と流出発生域面積率(計算値)の関係
Fig.6 Relationship between periodical rainfall and the estimated area contributing to the occurrence of Horton's overland flow in the experimental area.

次に、斜面のどのような区域がホートン型地表流の発生に寄与しているのかを確認するために、八谷沢上流域の裸地斜面に2箇所の微小集水試験地(以下、A試験地およびB試験地という)を設けた(図-1)。2試験地の地形、試験地内における表層火山灰層の中央粒径の分布および試験地の概要を、図-7および表-2に示す。尾根部に近くなるほど粒径が細かく、凹部になるほど粗粒化が進み粒径が大きくなっている。

調査は次のような方法で行った。試験地全体が白色で覆われるようにスプレー式の白ペンキを散布した。雨の後白ペンキが流された部分、すなわちホートン型地表流の発生に寄与する区域(流出発生域)を、現地測量および試験地全体を撮影した写真測定の結果に基づいてスケッチし、試験地における流出発生域(実測値)の分布図を作成した。さらに、この分布図から流出発生域面積(実測値)を求めた。

図-8は、試験地における流出発生域(実測値)の分布図を時系列に示したものである。期間雨量が大きくなるほど流出発生域(実測値)も大きくなっている。凹部だけでなく、

粒径の細かい斜面上部や尾根部近くもホートン型地表流の発生に寄与した区域となっている。

図-9は、期間雨量と流出発生域面積率(実測値)の関係を試験地ごとに示したものである。流出発生域面積率(実測値)は、流出発生域面積(実測値)を集水面積で割った値である。図によると、期間雨量の増加に伴い流出発生域、すなわちホートン型地表流の発生に寄与する区域が拡大している。流出発生域面積率(実測値)と同(計算値)(図-6)は同じ場所で得られた結果ではないが、その傾向はよく調和している。

謝 辞

末筆ではあるが、現地調査の際には鹿児島大学農学部砂防・水文学研究室の福納直樹君にご協力頂いた。ここに記して心から謝意を表す。

引用文献

- Collins, B. D. and Dunne, T. (1986) : Erosion of tephra from the 1980 eruption of Mount St. Helens. Geol. Soc. Amer. Bull. No.97, p.896-905
- 地頭蘭隆・下川悦郎(1987) : 桜島山腹斜面における表面流出特性. 鹿大農演報. 15, p.51-61
- Jitousono, T. and Shimokawa, E. (1989) : Debris flows in northern flank of Sakurajima volcano, Proc. Int. Symp. on Erosion and Volcanic Debris Flow Technology, Indonesia, V24, p.1-20
- 地頭蘭隆・下川悦郎(1989) : 火山灰に覆われた桜島山腹斜面における表面流出. 砂防学会誌(新砂防), Vol.42 No.3, p.18-23
- 地頭蘭隆・下川悦郎(1991) : 桜島における火山活動が土石流・泥流の発生や流出に及ぼす影響. 砂防学会誌(新砂防), Vol.43 No.6, p.9-15
- 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳(1997) : 桜島における土石流河川の流出特性. 鹿大農演研, 25, p.9-20
- 地頭蘭隆・下川悦郎・永田 治・寺本行芳(1998) : 桜島における表面流の観測. 鹿大農演研, 26, p.1-8
- 小川泰浩・清水 晃・清水貴範・宮縁育夫(2003) : 細粒火山灰被覆を行った斜面の降雨流出に関する実験的研究. 砂防学会誌, Vol.55 No.5, p.22-30
- 門村 浩・山本 博・鈴木利吉・鈴木啓助(1978) : 1977年有珠山噴火テフラに覆われた斜面の侵食過程. 「有珠山噴火と環境変動」, 北海道大学, p.121~139
- Shimokawa E. and Taniguchi Y. (1983) : Sediment yield from hillside slope of active volcanoes. Proc. Symp. on Erosion Control in Volcanic Areas, Seattle, July 1982: Public Works

Research Institute, p.155-181

下川悦郎・地頭菌隆 (1987a)：桜島における表面侵食による土砂生産. 砂防学会誌 (新砂防), Vol.39 No.6, p.11-17

下川悦郎・地頭菌隆 (1987b)：桜島におけるリル・ガリー侵食による土砂生産. 砂防学会誌 (新砂防), Vol.40 No.1, p.19-24

下川悦郎・地頭菌隆 (1987c)：火山灰の被覆が火山体の侵

食速度に及ぼす影響-桜島火山を中心にして-. 地形, Vol.8 No.4, p.269-286

Shimokawa, E., Jitousono, T., Yazawa, A. and Kawagoe, R. (1989)：An effect of tephra cover on erosion processes of hillslopes in around Sakurajima volcano, Proc. Int. Symp. on Erosion and Volcanic Debris Flow Technology, Indonesia, V32, p.1-35

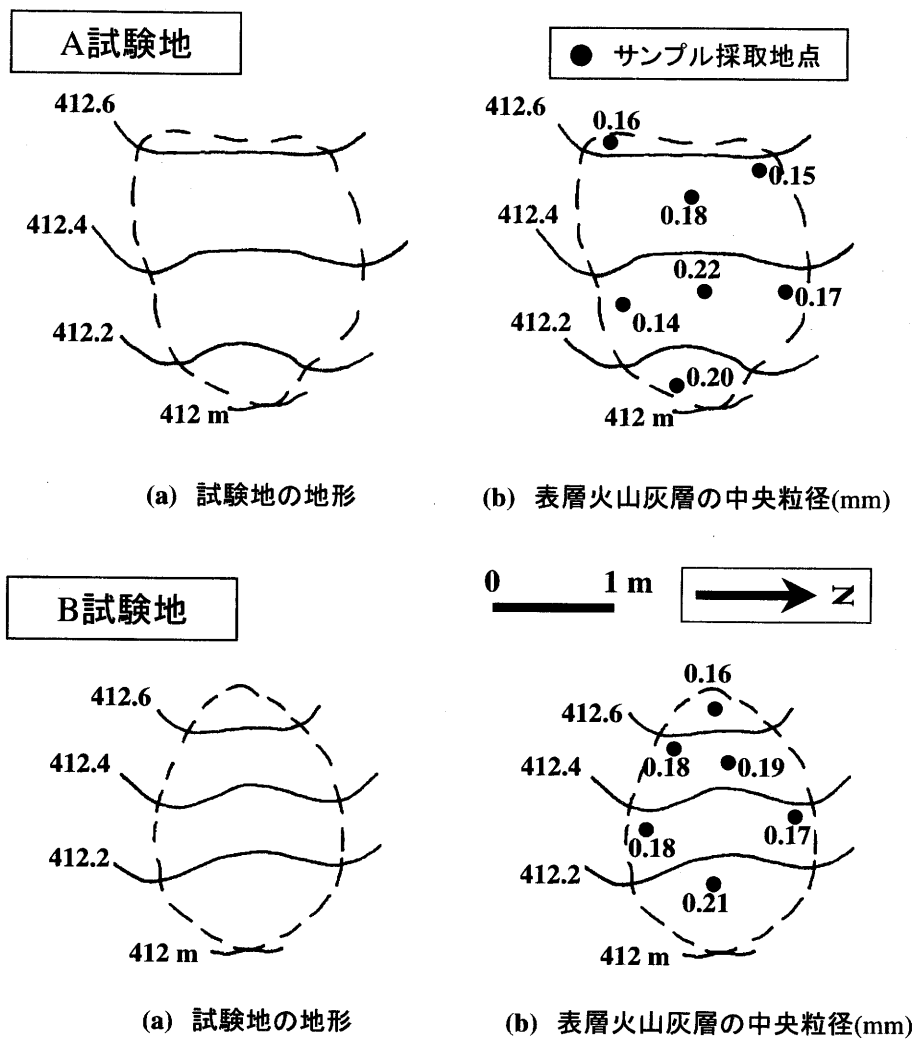


図-7 試験地の地形および表層火山灰層の粒度分布

Fig.7 Topography of the experimental area and grain size distributions of the surface layer volcanic ash.

表-2 試験地の概要

Table 2 Outline of the experimental area.

	A試験地	B試験地
標高 (m)	412	412
集水面積 (m ²)	3.1	2.3
斜面長 (m)	2.2	2.1
斜面の平均勾配 (°)	21.0	22.0

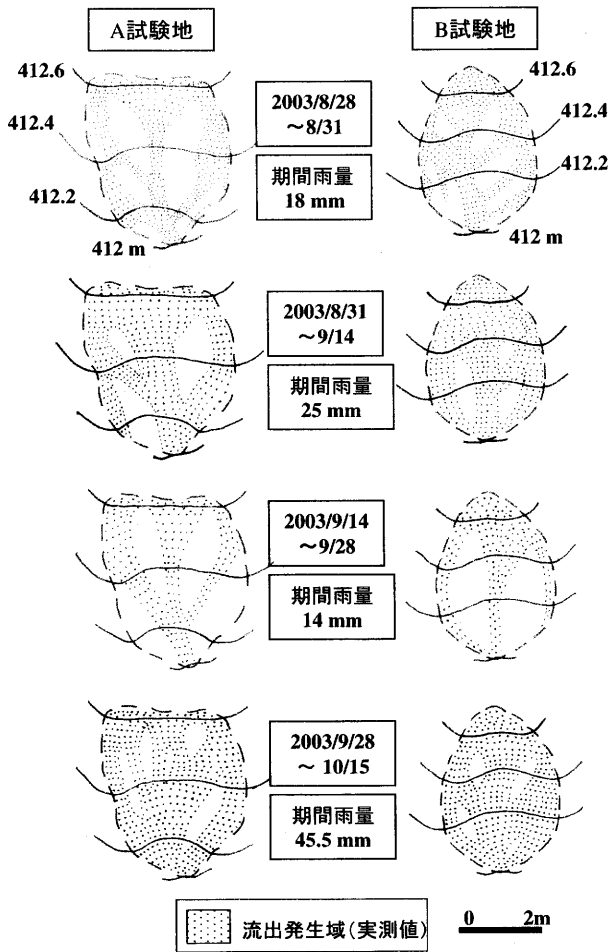


図-8 試験地における流出発生域 (実測値)
Fig.8 The observed area contributing to the occurrence of Horton's overland flow in the experimental area.

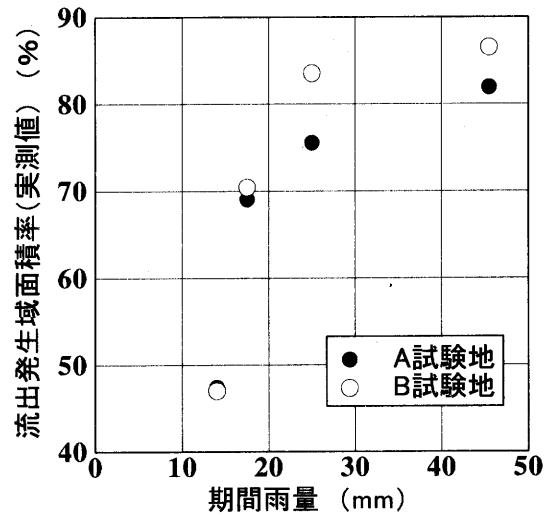


図-9 期間雨量と流出発生域面積率 (実測値) の関係
Fig.9 Relationship between periodical rainfall and the observed area contributing to the occurrence of Horton's overland flow in the experimental area.

抄 録

桜島の噴火活動による火山灰の被覆が斜面の雨水・土砂流出および流出過程に及ぼす影響について、現地実験の結果に基づき検討した。得られた結果は次の通りである。

- (1) 火山灰散布斜面における表面流出量，流出土砂量，土砂濃度および流出土砂の粒径は，裸地斜面のそれらよりも大きな値を示すが，時間の経過とともに2斜面のそれらの差は小さくなる傾向にある。
- (2) 観測データを用いて表面流の流出解析を行い，モデル中のパラメータ値の変化を通じて火山灰散布斜面および裸地斜面における流出過程の検討を行った。その結果，火山灰散布斜面の方が損失雨量とマンニングの粗度係数は小さく流出発生域面積は大きい，時間の経過とともに2斜面のパラメータ値の差は小さくなっている。
- (3) 現地調査および流出解析の結果によると，ホートン型地表流の発生に寄与する区域は雨量の増加とともに大きくなっている。