

桜島の噴火活動の盛衰に伴う雨水・土砂流出量の変化

寺本 行芳¹⁾・下川 悦郎¹⁾・地頭菌 隆¹⁾

1) 鹿児島大学農学部生物環境学科

Temporal change in the amount of rainwater and sediment discharge caused by ebb and flow of volcanic activity on Mt. Sakurajima

TERAMOTO Yukiyoshi¹⁾, SHIMOKAWA Etsuro¹⁾ and JITOUSONO Takashi¹⁾

1) 鹿児島大学農学部生物環境学科

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

平成17年10月11日 受理, Accepted Oct 11, 2004

Summary

We investigated the temporal changes in rainwater and sediment discharge caused by ebb and flow of volcanic activity on Mt. Sakurajima, based on field experiments. The results were as follows:

(1) According to the field rainfall experiment, sediment discharge by sheet erosion and by surface runoff become larger with increased periodical rainfall. In cases where periodical rainfall was of the same degree, sediment discharge by sheet erosion and by surface runoff were greater on the slope sprinkled with an amount of volcanic ash in keeping with a hypothetical period of volcanic activity than on the slope before volcanic ash was sprinkled. SD/SR were greater on the slope sprinkled with volcanic ash than on the slope before volcanic ash was sprinkled.

(2) Ebb and flow of volcanic activity was examined with changed parameters in a runoff model. Rainfall loss and the Manning's coefficient of roughness were less on the slope sprinkled with volcanic ash than on the slope before volcanic ash was sprinkled. The changes in the Manning's coefficient of roughness were in harmony with the differences in grain size of the surface layer volcanic ash. Moreover, the calculated area contributing to the occurrence of Hortonian overland flow becomes larger with increased periodical rainfall. In cases where periodical rainfall was of the same degree, the calculated area contributing to the occurrence of Hortonian overland flow was larger on the slope sprinkled with volcanic ash than on the slope before volcanic ash was sprinkled.

Key words: Sakurajima volcano, volcanic activity, volcanic ash, runoff analysis

キーワード：桜島，噴火活動，火山灰，流出解析

はじめに

1955年以降の桜島における噴火活動の短期的な盛衰に伴って、表面流と土石流の発生降雨条件および流出特性が変化することが確認されている（地頭菌・下川，1989，1991）。これらの変化には、噴火活動の盛衰に伴う火山灰の地表面被覆量および粒径の違いが大きく関与していると考えられる（地頭菌・下川，1989，1991）。火山灰の地表面被覆は流域の水文・侵食環境を大きく変化させ、斜面の浸透能および粗度の減少、ホートン型地表流（表面流）発

生場の拡大、さらには雨水・土砂流出量の増大をもたらす（地頭菌・下川，1987，1989；下川・地頭菌，1987a，1987b；寺本ら，2003a，2003b；寺本ら，2004など）。

本論では、桜島の噴火活動が活発な時期を想定して行った火山灰の地表面散布に伴う雨水・土砂流出量の測定結果と現在のような活動が穏やかな時期を想定した散布なしの測定結果を比較することで、噴火活動の盛衰に伴う雨水・土砂流出量の変化について検討する。

調査地と方法

1 調査地の概要

調査地は引ノ平川流域内の支谷の八谷沢上流域である(図-1)。噴火活動の盛衰に伴う雨水・土砂流出量の変化を明らかにするため、八谷沢上流域の裸地斜面に微小集水試験地を1箇所設けた(図-1■印, 写真-1)。試験地の地形および概要をそれぞれ図-2(a), 表-1に示す。

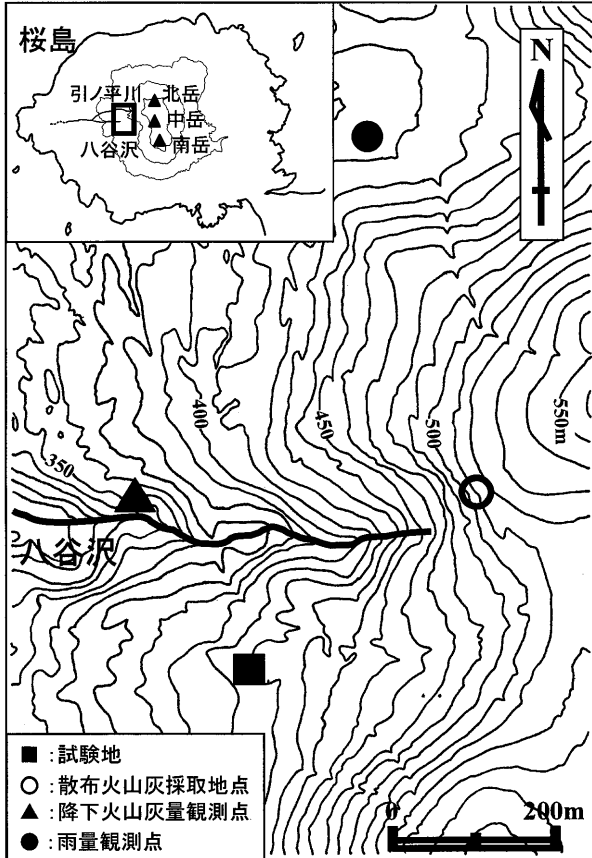


図-1 調査地の位置と地形
Fig.1 Location and topography of the study area.

また図-2(b)は、試験地内における表層火山灰層の粒度分析結果を示したものである。試料は表層から5mm程度の厚さで採取した。

調査地の地質は、表層から順に降下火山灰の堆積層、土壌層、大正噴火時の降下軽石層から成る。

2 測定方法

試験地の最下端に表面侵食による流出土砂と表面流出を捕捉するためのプラスチック容器(長さ1m×幅0.6m×深さ0.4m)を設置した(写真-1)。2004年4月17日から同年6月30日までは、自然状態で流出土砂量と表面流出量の測定を一雨ごとに行った。6月30日に、噴火活動が活発な時期を想定した火山灰の地表面被覆に伴う流出土砂量と表面流出量を測定するため、試験地全体に火山灰を散布した。火山灰は八谷沢上流域の標高510m付近で採取し(図-1○印)、これを天日乾燥した後、ふるいを用いて試験地斜面の上流部から下流部にかけて厚さが均一になるよう散布した。火山灰の厚さは約5mmである。図-3に散布火山灰の粒度分布を示す。中央粒径は0.15mm, 均等係数は6.4である。6月30日の火山灰散布以降、一雨ごとの流出土砂量と表面流出量の測定のために試験地全体に火山灰散布を行い、測定を実施した。なお、一雨ごとの火山灰散布は火山灰が流出した部分のみに対して行っている。流出土砂量と表面流出量の測定と同時に降下火山灰量および雨量の観測も実施している(図-1▲印および●印)。

噴火活動の盛衰に伴う雨水・土砂流出量の変化

図-4は、各測定期間の総雨量(以下、期間雨量という)と表面侵食による流出土砂量(a)および表面流出量(b)の関係を、火山灰散布前後に区分してそれぞれ示したものである。なお、流出土砂量および表面流出量は集水面積で割った値である。図によると、流出土砂量および表面流出



写真-1 試験地の状況(2004年6月30日撮影)
Photo 1 Condition of the experimental area (a photograph taken on June 30, 2004).

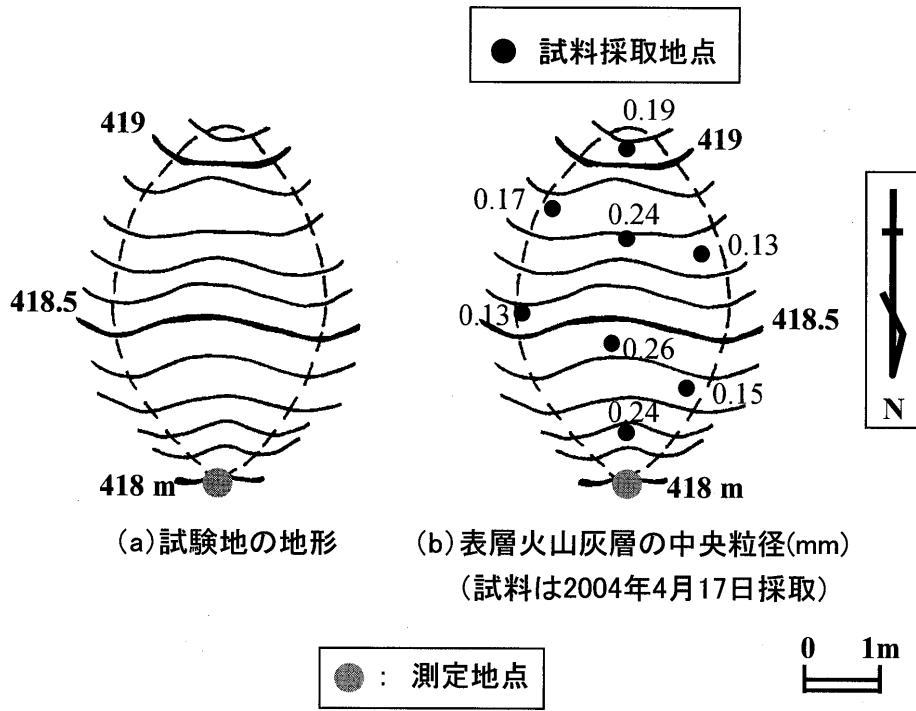


図-2 試験地の地形および表層火山灰層の粒度分布

Fig.2 Topography of the experimental area and grain size distribution of the surface layer of volcanic ash.

表-1 試験地の概要
Table 1 Outline of the experimental area.

標高 (m)	418
集水面積 (m ²)	11.0
斜面長 (m)	5.0
斜面の平均勾配 (°)	21.0

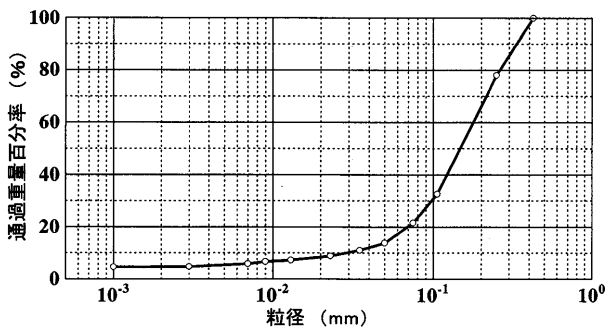


図-3 散布火山灰の粒度分布

Fig.3 Grain size distribution of the sprinkled volcanic ash.

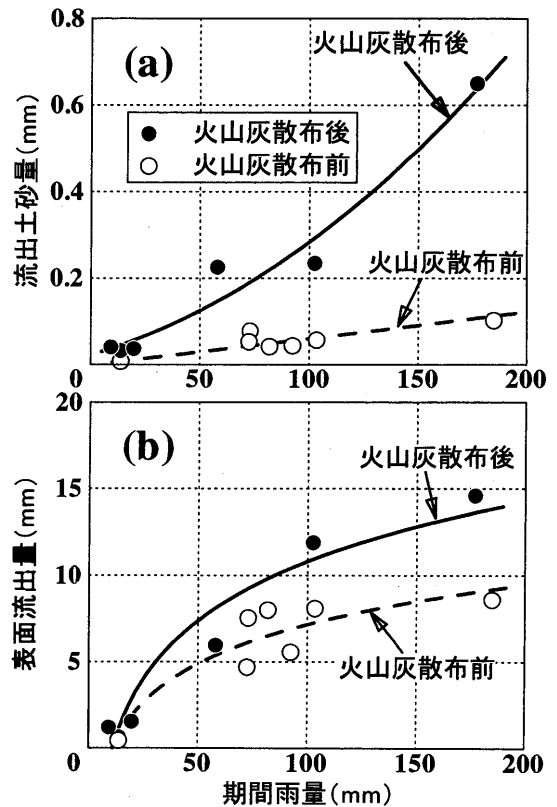


図-4 期間雨量と流出土砂量 (a), および表面流出量 (b) の関係

Fig.4 Relationship between the total amount of rainfall during each period and the factors of sediment discharge by sheet erosion (a) and surface runoff (b).

量は期間雨量が大きくなるほど大きくなる傾向にあるが、同程度の期間雨量に対する流出土砂量および表面流出量は火山灰散布後の方が大きい。

図-5は、各測定期間に得られた表面流出量当たりの流出土砂量の値（以下、SD/SRという）を、期間雨量と併せて示したものである。火山灰散布前のSD/SRは0.005~0.016の範囲（平均0.010）であるが、火山灰散布に伴って増加し0.020~0.050の範囲（平均0.035）となっている。また、火山灰散布前後で同程度の期間雨量に対するSD/SRの値を比較すると、散布後の方が大きくなっている。

ところで、測定期間の2004年4月17日から同年9月3日までの噴火活動は非常に穏やかであり、この期間に得られた降下火山灰量から降灰の堆積深を求めると0.02mmとなる。

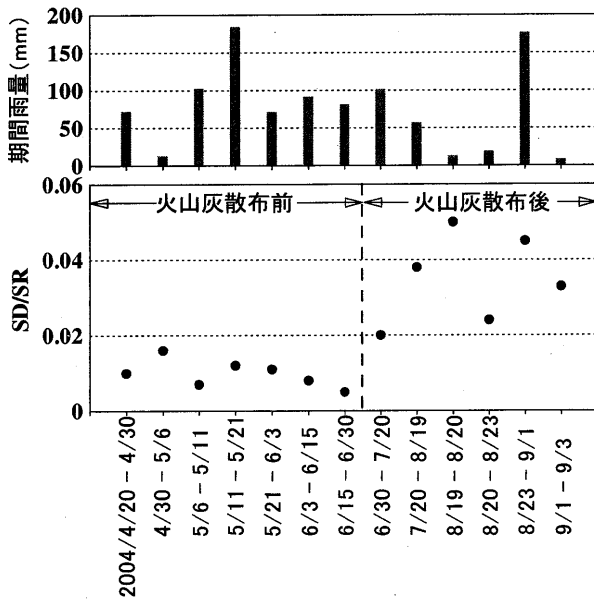


図-5 SD/SR および期間雨量の変化

Fig.5 Changes in SD/SR and the total amount of rainfall during each period.

表面流の流出解析

試験地において測定期間に得られた表面流出量のデータを用いて、流出モデルによる表面流の流出解析を行う。

雨水の流出過程を次のようにモデル化した。試験地の斜面に降った雨のうち、初期損失雨量と浸透能値の和、すなわち損失雨量を超えた部分が 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（表面流）の発生に寄与した区域（以下、流出発生域という）の3パラメータで表し、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/hr）、 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/hr）、 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。

斜面の表面流がマンニング則に従うとすると、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有効雨量が生じている期間と仮定した。計算条件を表-2に示す。河道横断面は幅広矩形断面で近似し、河道幅は現地測量結

表-2 計算条件

Table 2 Parameters applied for the runoff analysis.

損失雨量 (mm)	連続雨量 - 表面流出量(実測値)
マンニングの粗度係数 n (sec/m ^{1/3})	0.01~0.5
流出発生域面積(計算値) (m ²)	最大で集水面積(11.0 m ²)
斜面の平均勾配 I	0.24
河道幅 (m)	0.2
斜面長 (m)	5.0

注：「マンニングの粗度係数」および「流出発生域面積(計算値)」は最適化している。

果から 0.2m とする。斜面の平均勾配 I と斜面長は測量結果から得られた値を用いる。(3) 式と (4) 式から、数値的に試験地下流端における流出量が計算できる。損失雨量は、連続雨量から表面流出量 (実測値) 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 (計算値) の 2 パラメータについては現実に取りうる範囲 (表-2) 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。

$$E = \frac{(Q_0 - Q_c)^2}{Q_c^2} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Q_0 : 表面流出量 (実測値), Q_c : 表面流出量 (計算値) である。

図-6 は、7 日先行雨量と損失雨量の関係、火山灰散布前後に区分して示したものである。試験地における測定期間ごとの無降雨期間は最大 6 日であった。図によると、損失雨量は先行雨量が大きくなるほど、すなわち表層火山灰層の水分量が多いほど小さくなる傾向にあるが、同程度の先行雨量に対する損失雨量は火山灰散布後の方が小さな傾向を示す。

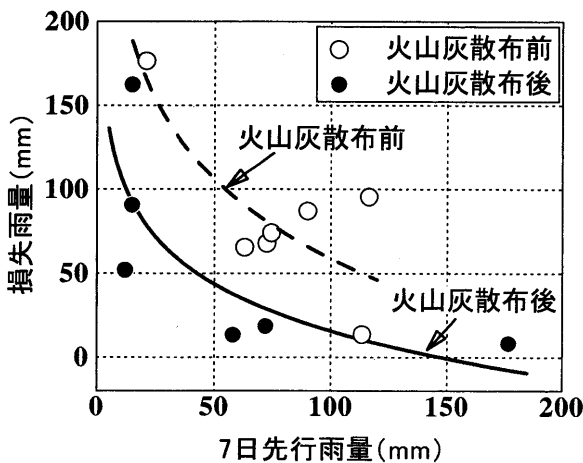


図-6 7日先行雨量と損失雨量の関係
Fig.6 Relationship between 7 days' antecedent rainfall and rainfall loss.

図-7 は、流出解析により求めたマンニングの粗度係数を期間雨量と併せて示したものである。火山灰散布前のマンニングの粗度係数は $0.023 \sim 0.035 \text{ sec/m}^{1/3}$ の範囲 (平均 $0.030 \text{ sec/m}^{1/3}$) であるが、火山灰散布によって減少し $0.010 \sim 0.030 \text{ sec/m}^{1/3}$ の範囲 (平均 $0.020 \text{ sec/m}^{1/3}$) となっている。この結果は、火山灰散布後における表層火山灰層の中央粒径 (図-3) の方が、散布前におけるそれ (図-2 (b)) に比べ細かいことと調和的である。

寺本ら (2003a) は八谷沢上流域の火山灰に被覆された

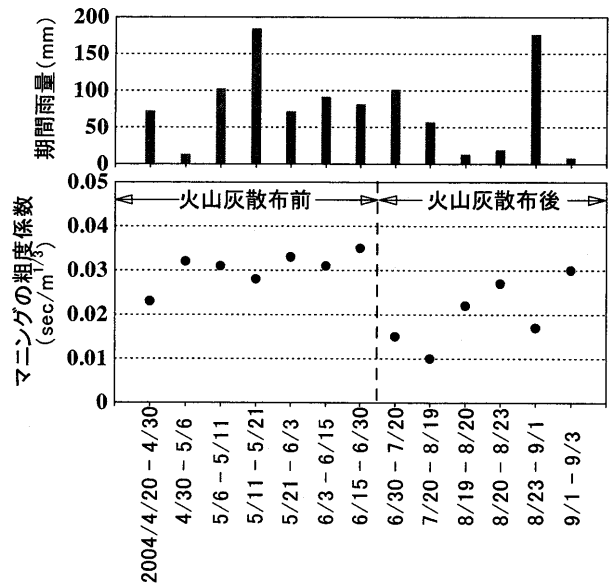


図-7 マンニングの粗度係数および期間雨量の変化
Fig.7 Changes in the Manning's coefficient of roughness and the total amount of rainfall during each period.

裸地斜面において、表層火山灰層の粒径の異なる仕切られた区画 (斜面方向の水平長 1m × 幅 0.5m, 斜面勾配約 20 度) を設定して簡易散水式浸透能試験および粗度試験を行い、斜面における浸透能およびマンニングの粗度係数は表層火山灰層の粒径の違いによって変化し、粒径が細かいほど小さくなることを確認している。寺本ら (2003a) の試験結果は、火山灰散布に伴って表層の粒径が細くなった斜面の方が、散布前の斜面に比べ損失雨量およびマンニングの粗度係数が小さくなった結果 (図-6 および図-7) と調和的である。

図-8 は、期間雨量と流出発生域面積率 (計算値) の関係を、火山灰散布前後に区分して示したものである。なお、流出発生域面積率 (計算値) は流出発生域面積 (計算値) が集水面積に占める百分率を示す。この図は、期間雨量の増加に伴い流出発生域、すなわち Horton 型地表流発生に寄与する場が拡大することを表現している。流出発生域面積率 (計算値) は期間雨量が大きくなるほど大きくなる傾向にあるが、同程度の期間雨量に対する流出発生域面積率 (計算値) は火山灰散布後の方が大きい。寺本ら (2003b) は、八谷沢上流域の火山灰に被覆された裸地斜面において流出発生域の現地測定を行い、流出発生域は期間雨量の違いによって変化し、雨量が大きくなるほど大きくなる傾向にあることを確認している。流出解析で得られた流出発生域面積率 (計算値) と期間雨量の関係は、寺本ら (2003b) の実測結果と同様な傾向を示す。

本研究で得られた表面侵食による流出土砂量と表面流出

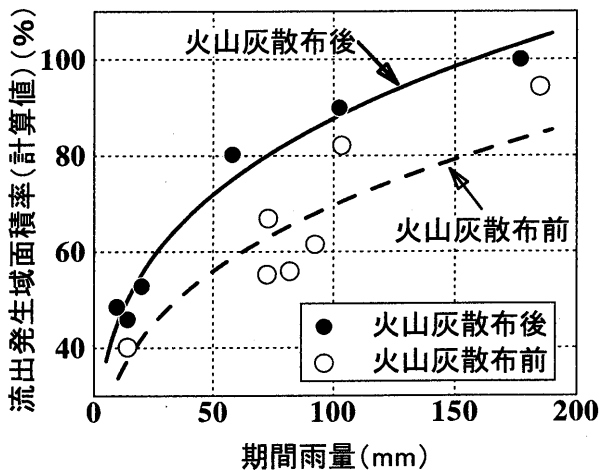


図-8 期間雨量と流出発生域面積率(計算値)の関係
 Fig.8 Relationship between the total amount of rainfall during each period and the calculated dimension of the area contributing to the occurrence of Hortonian overland flow in the experimental area.

量の測定結果, および表面流の流出解析の結果から, 次のようなことが考えられるであろう。噴火活動が穏やかな時期から活発な時期になると, 絶えず火山灰が地表面を被覆するため, 表層火山灰層の粒径が細かくなり, 斜面の浸透能および粗度が減少する。その結果, 流出発生域, すなわちホートン型地表流発生に寄与する場が一層拡大するため, 流出土砂量, 表面流出量およびSD/SRが大きくなる。

謝 辞

本研究の実施にあたっては, 九州森林管理局鹿児島森林管理署ならびに(財)林業土木コンサルタンツ九州支所に多大なるご支援をいただいた。また, 現地調査およびデータ整理の際には, 当時鹿児島大学農学部砂防・水文学研究室の4年生であった宇都敬太君と福納直樹君, ならびに同

抄 録

桜島の噴火活動の盛衰に伴う雨水・土砂流出量の変化について, 現地調査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) 現地降雨実験によれば表面侵食による流出土砂量と表面流出量は期間雨量の増加に伴って大きくなる傾向にあるが, 同程度の期間雨量に対する流出土砂量と表面流出量は, 噴火活動が活発な時期を想定した火山灰散布後の斜面の方が大きい。また, 表面流出量当たりの流出土砂量の値(SD/SR)は, 火山灰散布後の斜面の方が散布前のそれよりも大きな値を示した。

(2) 噴火活動の盛衰を表面流の流出モデルにおけるパラメータ値の変化によって表すと, 損失雨量およびマニングの粗度係数は散布前のそれに比べ減少した。マニングの粗度係数の変化は, 火山灰散布前後の斜面における表層火山灰層の粒径の違いと調和的であった。また, 流出発生域(計算値)は期間雨量の増加に伴って大きくなる傾向にあるが, 同程度の期間雨量に対する流出発生域(計算値)は火山灰散布後の斜面の方が大きな値を示した。

研究室の大学院修士課程2年生である山内信宏君, 4年生である逆瀬川健太君にご協力いただいた。ここに記して心から謝意を表する。

引用文献

- 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。鹿児島大学農学部演習林報告, 第15号, p.51-61
- 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
- 下川悦郎・地頭蘭隆(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・地頭蘭隆(1987b): 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
- 寺本行芳・下川悦郎・地頭蘭隆(2003a): テフラの粒径の違いが斜面の浸透能, 粗度および土砂流出に及ぼす影響。鹿児島大学農学部演習林研究報告, 第31号, p.1-5
- 寺本行芳・下川悦郎・地頭蘭隆・山内信宏・宇都敬太(2003b): 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。鹿児島大学農学部演習林研究報告, 第31号, p.7-13
- 寺本行芳・下川悦郎・田中信・地頭蘭隆・稲元崇裕(2004): 桜島の荒廃斜面における表面侵食による土砂流出と植生の影響。砂防学会誌(新砂防), Vol.57 No.1, p.3-12