

桜島における緑化植生が雨水および土砂流出に及ぼす影響

寺本 行芳¹⁾・下川 悦郎¹⁾・地頭蘭 隆¹⁾・福納 直樹¹⁾

1) 鹿児島大学農学部生物環境学科

The effects of revegetation on rainwater runoff and sediment discharge from the slopes of Sakurajima volcano

TERAMOTO Yuki-yoshi, SHIMOKAWA Etsuro, JITOUSONO Takashi and FUKUNO Naoki

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

To clarify the effects of revegetation on rainwater runoff and sediment discharge on Sakurajima volcano, a hydraulic experiment and vegetation survey were carried out. It was found that increased weight of the plant body above ground is matched by increased weight of the root network and that infiltration capacity and Manning's coefficient of roughness rise with increased plant body weight while surface dry density in the volcanic ash layer and sediment discharge decrease.

Key words: Sakurajima volcano, aerial revegetation, hydraulic experiment, rainwater runoff and sediment discharge
キーワード：桜島, 航空緑化, 水理試験, 雨水・土砂流出

はじめに

桜島の山腹は、1955年以降続いている噴火活動に伴う火山灰や火山ガスの放出によって森林植生が破壊され、非常に荒廃している。地表面は火山灰に厚く覆われ、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）。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）。

桜島では噴火活動により荒廃した山腹斜面の侵食防止と早期の植生回復をはかるため、2001年3月から航空緑化が試験的に実施された。本論は、桜島の緑化植生が雨水および土砂流出に及ぼす影響を、水理試験および植生調査の結果に基づき検討したものである。

調査地と水理試験方法

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）。噴火活動により荒廃した八谷沢上流域の山腹斜面における侵食防止と早期の植生回復をはかるため、鹿児島森林管理署は2001年3月から航空緑化を試験的に実施した。この緑化によって、裸地化した山腹斜面はススキを中心とした草本の植物で覆われた（写真-1）。

調査地の地質は、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。

2 水理試験方法

植生が斜面の浸透能、粗度および土砂流出に及ぼす影響を調べるため、航空緑化が実施された八谷沢上流域の植物体量が異なる複数の区画を設定し、水理試験を実施した。水理試験は2003年7月に行った。浸透能は次のような簡易な方法（下川・地頭蘭, 1987b）で測定した。①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）

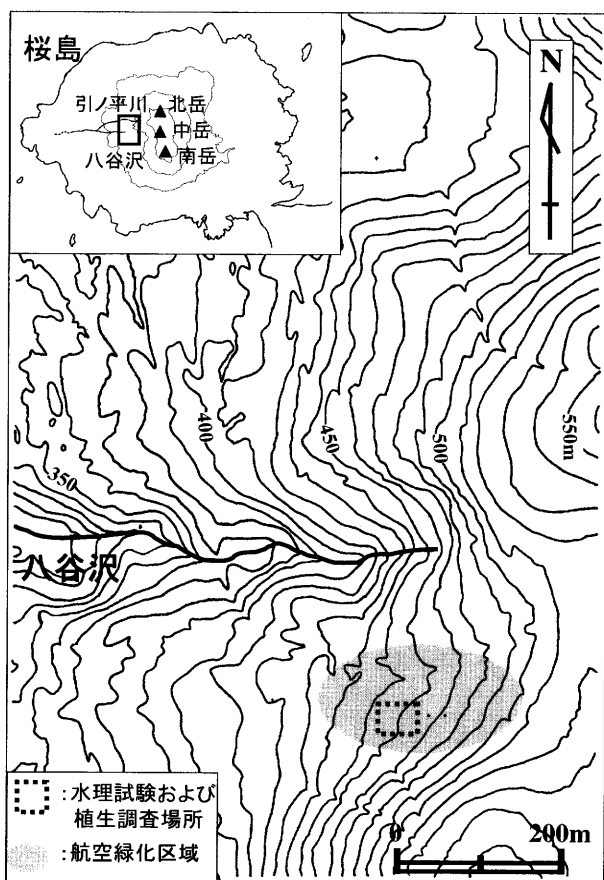


図-1 調査地の位置と地形

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

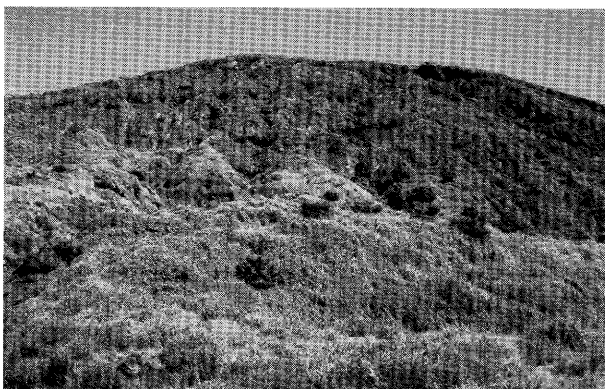


写真-1 緑化された山腹斜面 (2003年7月15日撮影)

Photo 1 Revegetated hillside slope on Sakurajima volcano (taken on July 15, 2003).

の全面に如雨露で真上から散水し、その水が区画下端の地表面から流出した量を計測する。②散水量 (2,000cc, 時間雨量に換算して240mm) から流出量を差し引いて浸透水量を求める。③浸透水量を浸透に要した (散水開始から流出終了までの) 時間で割って浸透能を求める。なお、散

水は流出量がほぼ一定値になるまで3~4回繰り返して行い、最後の測定値を浸透能とした。表面流によって侵食され下端に流出した土砂は採取して持ち帰り、炉乾燥後に重量測定を行った。この測定値を区画からの流出土砂量とする。

マンギングの粗度係数の測定は北原ら (1993) と同様の方法で行った。①浸透能試験を実施した区画で流出量が一定になった後、区画の上端に如雨露で散水し、一定流量を流下させ、その下端で地上を流出した量を計測する。上端と下端の流量を平均し、平均流量を算出する。②流速は、区画の上端より0, 0.2, 0.4, 0.6および0.8mの各点で黄色インクを滴下させ、0.2m下流をインクが通過する時間を計測して求めた。さらに、区画の上端 (0m) から下端 (1m) までを通過する時間から流速を求めた。なお、0.2mの各区間および1mの全区間で得られた流速の平均値を平均流速としている。③平均流量および平均流速から、マンギングの平均流速公式を用いて粗度係数を計算する。

水理試験終了後、植物の成長に伴う根系の発達によって表層火山灰層の空隙率がどのように変化するかを明らかにするため、区画内における表層火山灰層の不攪乱試料を採取して乾燥密度の測定を行った。不攪乱試料は、直径55mm×高さ60mmの鋼製円筒を人力で静的に地中に押し込んで採取したものである。試料は区画内の異なる場所において4箇所採取し、それぞれ乾燥密度を求めた。これらの平均値を乾燥密度の値とした。乾燥密度の測定後4箇所の試料を全部混ぜ合わせ、比重・粒度の諸土質試験を行った。得られた試験結果を区画における表層火山灰層の粒度分布とする。なお、水理試験を行った区画 (18箇所) における表層火山灰層の粒度分布はほぼ同様な傾向を示しており、中央粒径の範囲は0.18~0.21mm (平均0.19mm) である。

さらに、不攪乱試料採取後、区画内にある地上部の植物と根系をすべて採取し、一定期間風乾燥させて重量を測定した。この重量を区画内における植物体量とする。

緑化植生が斜面の浸透能、粗度および土砂流出に及ぼす影響

図-2は、区画内における地上部の植物量と根系量の関係を示したものである。地上部の植物量が増加するほど根系量は大きくなっている。

図-3は、区画内における植物体量とみかけの浸透能の関係を示したものである。ここでいうみかけの浸透能とは、土壌の浸透量と植物体による雨水遮断量を合わせた値を表す。みかけの浸透能は、植物体量が増加するにつれて大きくなっている。この理由として、植物体量が増加するに伴って植物体地上部の雨水遮断量が大きくなること、さらに植

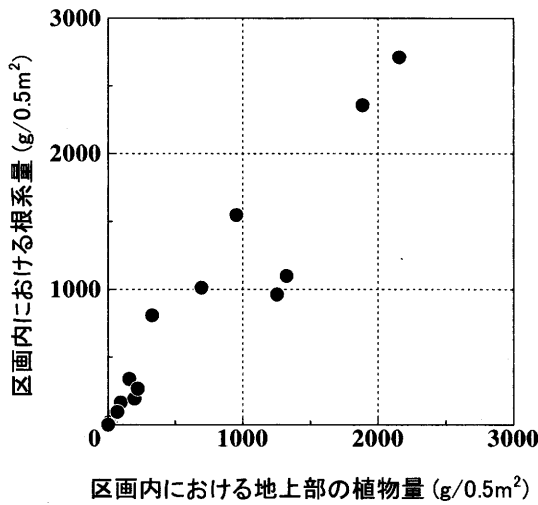


図-2 区画内における地上部の植物量と根系量の関係
Fig.2 Relationship between dried weight of plants above the ground and dried weight of rhizomes in the hydraulic experimental area.

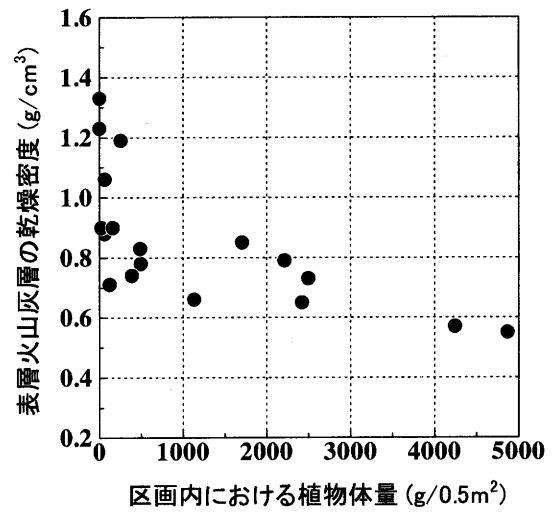


図-4 区画内における植物体量と表層火山灰層の乾燥密度の関係
Fig.4 Relationship between dried weight of plants and dry density of the surface volcanic ash layer in the hydraulic experimental area.

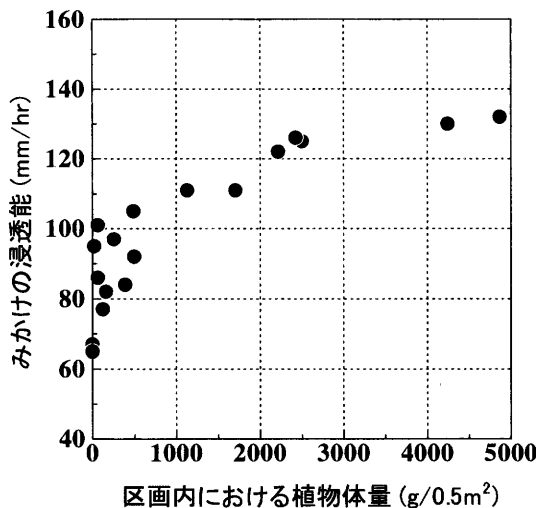


図-3 区画内における植物体量とみかけの浸透能の関係
Fig.3 Relationship between dried weight of plants and virtual infiltration capacity in the hydraulic experimental area.

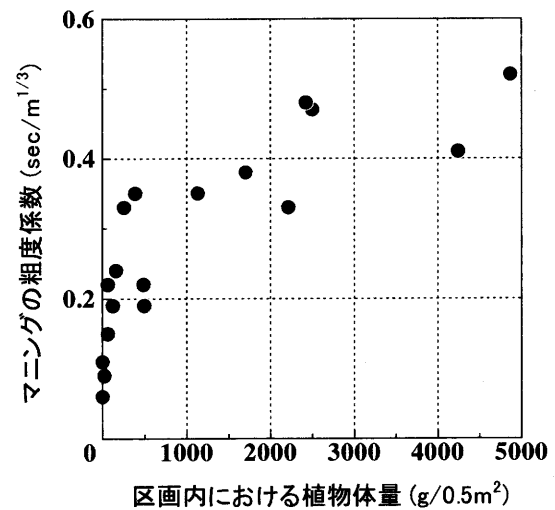


図-5 区画内における植物体量とマンニングの粗度係数の関係
Fig.5 Relationship between dried weight of plant body and Manning's coefficient of roughness in the hydraulic experimental area

物の成長に伴って根系が発達することによって空隙率が大きくなること、が考えられる。図-4は、区画内における植物体量と表層火山灰層の乾燥密度の関係を示したものである。植物体量の増加に伴う根系の発達(図-2)によって表層火山灰層の乾燥密度は小さくなり、空隙率が増加している。

図-5は、区画内における植物体量とマンニングの粗度係数の関係を示したものである。マンニングの粗度係数は、みかけの浸透能と同様、植物体量が増加するに伴って大きくなっている。これは、植物体量が増加するほど、表面流が植物の抵抗をより大きく受けるためと考えられる。

図-6は、区画内における植物体量と区画からの流出土砂量の関係を示したものである。流出土砂量は区画の面積(0.5m²)当たりの土砂量で表している。流出土砂量は、植物体量が大きくなるに伴って減少している。この理由として、植物体量が増加するほどみかけの浸透能および粗度が大きくなり(図-3および図-5)、掃流力が減少したほかに根系による地表面の固定力が増加したことが考えられる。

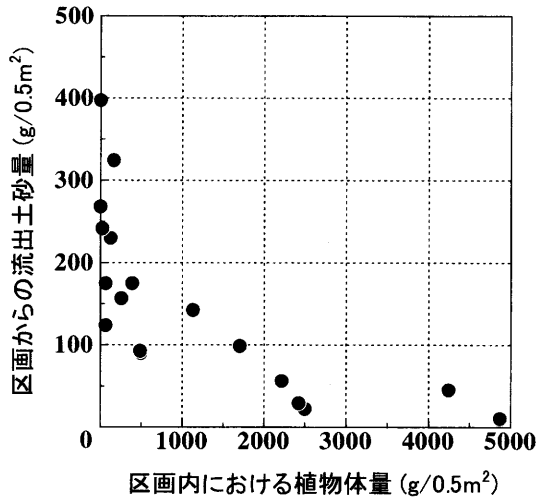


図-6 区画内における植物体量と区画からの流出土砂量の関係

Fig.6 Relationship between dried weight of plants and sediment discharge in the hydraulic experimental area.

緑化植生が雨水の移動に及ぼす影響

図-7は、植物体上の雨水移動経路を模式的に示したものである。ススキは株をなしてあり、株は多数の茎と葉から構成される。茎は、地上部では地表から地上に向かって放射状に広がっている。茎には節があり、そこから茎を包

むように細長い葉が伸びている。葉は途中から「く」の字状に撓んでいる。葉の「く」の字の頂点から内側の茎・葉は全体として「漏斗」のような形状（以下、漏斗という）をなしている。茎の一部は地下に入り込み地下茎を形成している。緑化斜面では、雨はまず植物体に到達する。そのうち漏斗内に到達した雨水は葉・茎に捕捉され、残りは葉・茎を伝って流下し地下茎の間を通過して火山灰層中に浸透する。漏斗内から地表に滴下する雨水はごく一部である。漏斗の外側の葉の部分に到達した雨水は一部葉に補足されるが、大部分は地表に滴下する。なお、葉部は密に発達しており、それを通過する雨水はわずかである。

ススキ一株ごとの漏斗の集水域における火山灰層のみかけの浸透能を測定した。測定方法は次の通りである。①漏斗の全面に如雨露で真上から散水し、その水が漏斗の集水域の地表面から流出した量を計測する。②散水量（2,000 cc、時間雨量に換算して240mm）から流出量を差し引いて浸透量を求める。③浸透量を浸透に要した（散水開始から流出終了までの）時間で割って浸透能を求める。なお、散水は流出量がほぼ一定値になるまで3～4回繰り返して行い、最後の測定値を浸透能とした。火山灰層のみかけの浸透能測定後、ススキ一株ごとの地上部の植物と根系を採取し、一定期間風乾燥させて植物体量を測定した。

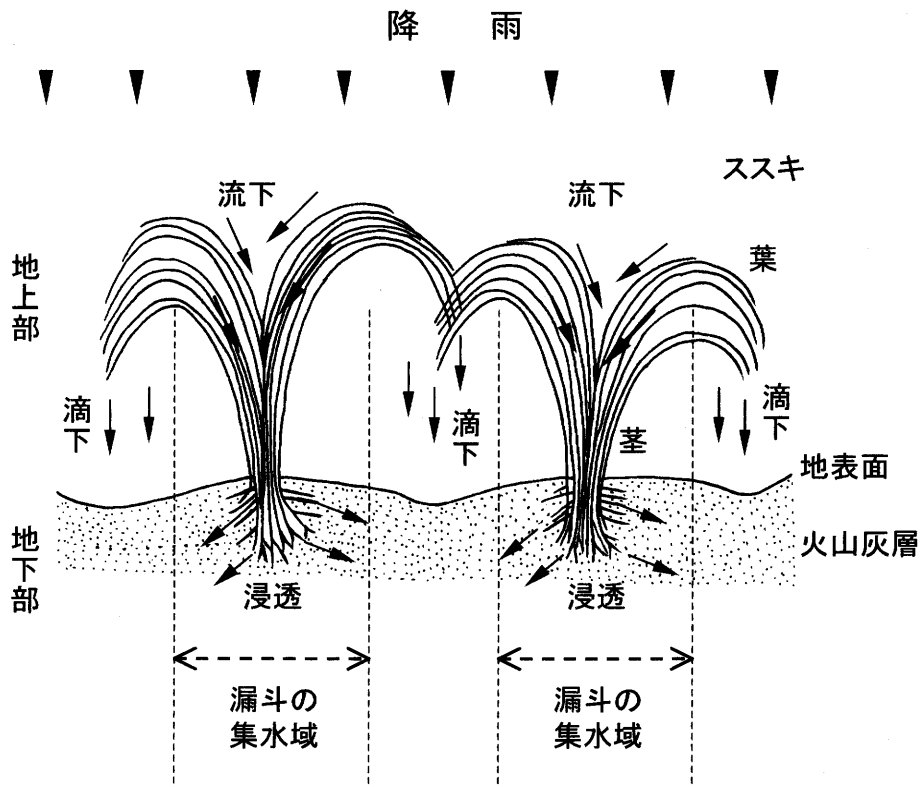


図-7 植物体による雨水移動の概念図

Fig.7 Diagram of the path by which rainwater moves on the plant.

図-8に、植物体量と漏斗における火山灰層のみかけの浸透能の関係を示す。植物体量の増加に伴ってみかけの浸透能も大きく増加している。ここでいうみかけの浸透能は、降雨が長時間継続して植物体による雨水遮断量がほぼ平衡状態になった値を表している。

個々の植物体における地上部の植物を表層火山灰層を乱さないように刈り取った後、根系が分布している範囲の火山灰層をブロック状で採取した。さらに、そのブロックの体積を体積置換法(土質工学会, 1987)によって求めた後、ブロック内の根系をすべて採取した(写真-2)。残った火山灰は炉乾燥後の重量を求め、ブロックの体積で割って根系部の乾燥密度を計測した。採取した地上部の植物と根系は一定期間風乾燥させて重量測定を行った。

図-9は、個々の植物体ごとの地上部の植物量と根系量

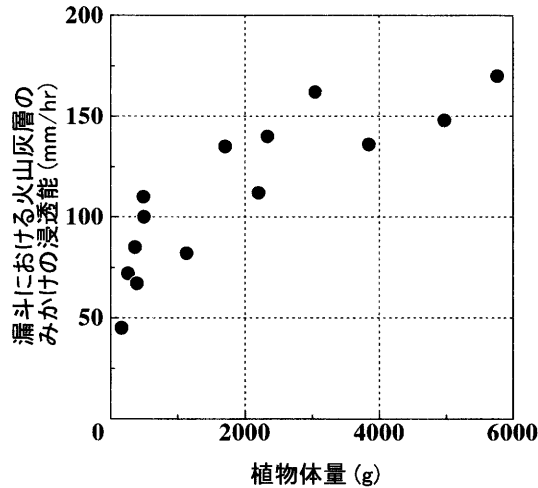


図-8 植物体量と漏斗における火山灰層のみかけの浸透能の関係

Fig.8 Relationship between dried weight of plant body and virtual infiltration capacity of soil mass laid beneath a funnel-shaped bunch of *Miscanthus sinensis* grass leaves.



写真-2 採取したススキの根系の一例
Photo 2 A sample of rhizome of *Miscanthus sinensis*.

の関係を示したものである。地上部の植物量が大きなほど根系は高密度で発達し、根系量も大きくなっている。

図-10は、植物体量と根系部火山灰層の乾燥密度を示したものである。植物体がない火山灰層の乾燥密度は1.4g/cm³程度の値を示すが、植物体量の増加に伴う根系量の増加(図-9)によって空隙率は大きくなり、植物体量が約6000gでは0.6g/cm³程度まで減少している。

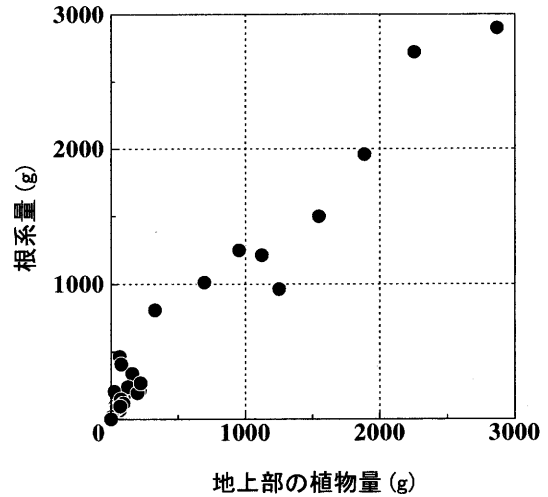


図-9 個々の植物体における地上部の植物量と根系量の関係

Fig.9 Relationship between dried weight of each plant above the ground and dried weight of its rhizome.

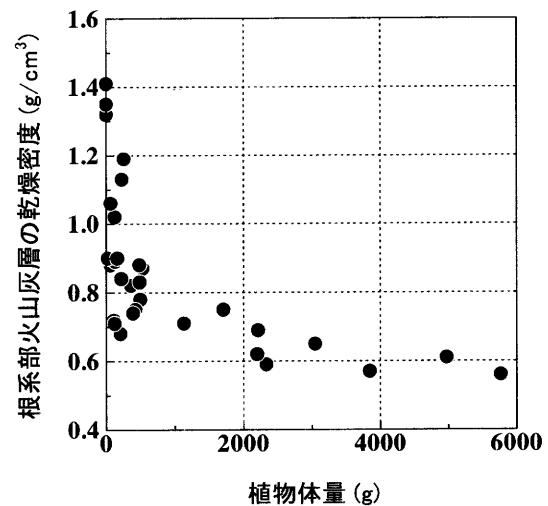


図-10 植物体量と根系部火山灰層の乾燥密度の関係

Fig.10 Relationship between dried weight of plant body and dried density of the volcanic ash layer within a rhizome area.

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・水文学研究室の山内信宏君と宇都敬太君にご協力頂いた。

た。ここに記して謝意を表する。

引用文献

土質工学会 (1987) : 土質試験法, p.2-4-1-2-4-3

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

北原 曜・張洪江・遠藤泰造 (1993) : 中国黄土高原にお

ける森林の侵食防止機能の水理学的解明. 日林論, Vol. 104, p.747-750

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) : 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・地頭蘭隆 (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—。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

抄 録

桜島の緑化植生が雨水および土砂流出に及ぼす影響を明らかにするため、水理試験および植生調査を行った。その結果、地上部の植物体量の増加に伴って根系量も大きくなること、植物体は雨水を遮断し火山灰表層の浸透能を大きくすること、植物体は表面流に対する抵抗粗度を大きくすること、植物体量の増加に伴って浸透能および粗度が増加した結果掃流力が小さくなり流出土砂量が減少していくこと、が示された。