

桜島のクロマツ林斜面における表面侵食による土砂生産と噴火活動の影響

寺本行芳^{1*}・下川悦郎¹

Sediment yield caused by sheet erosion and the effect of volcanic activity on the hillside slope of a Japanese black pine forest on Mount Sakurajima

Yuki Yoshi Teramoto¹ and Etsuro Shimokawa¹

Abstract: We carried out field surveys to study the effect of Japanese black pine trees on sediment yield caused by sheet erosion during a period of low volcanic activity (July 2008 to June 2009). As well, we investigated the differences in sediment yield caused by sheet erosion during periods of heightened (July 1984 to June 1985) and low (July 2008 to June 2009) volcanic activity on a hillside slope of Mount Sakurajima. The amount of sediment yield caused by sheet erosion measured on a slope covered by Japanese black pine trees during the low activity period was about 48 percent of that measured on a slope covered by broadleaf trees during the same period. It was about 2 percent of that measured on a bare land slope during the same period. The amount of sediment yield caused by sheet erosion measured on a slope covered by Japanese black pine trees during the low activity period was much less than that measured during the heightened activity period. The reason for this large decrease in sediment yield caused by sheet erosion during the low activity period was thought to be to the result of the increase of infiltration capacity and the decrease in the magnitude of the surface runoff caused by the recovery of vegetation following an ebb in volcanic activity.

1 はじめに

桜島の中腹から海岸まで広く分布するクロマツに覆われた山腹斜面では、1955年から現在までの長期にわたる噴火活動の影響を受け、表面侵食による多量の土砂生産が行われてきた(下川・地頭菌, 1987など)。表面侵食とこれに起因して発生した土石流は、山腹から海岸まで生育するクロマツに大きな被害を与えてきた。とくに海岸部では、土石流によってもたらされた多量の土砂に伴ってクロマツの生育基盤は大きく破壊された。下川・地頭菌(1987)は、本研究の調査対象地とした桜島の北側に位置するクロマツ林斜面において表面侵食土砂量の測定を実施し、クロマツによる表面侵食抑制効果について評価している。彼らが土砂量を測定した期間は、1955年以降の噴火活動の中で活発な時期にあたる(鹿児島地方気象台, 1955~2009)。しかしながら、桜島の噴火活動が比較的穏やかな時期のクロマツによる表面侵食抑制効果については評価されていない。

ところで、桜島の噴火活動の衰退は、表面侵食土砂量の大幅な減少をもたらすことが明らかとなっている。広葉樹林斜面においては、噴火活動が活発な時期(1985年2月~1986年2月)と比較的穏やかな時期(2005年4月~2007年4月)に表面侵食土砂量の測定が行われ、噴火活動の衰退に伴って表面侵食土砂量は大幅に減少したことが確認されているが(下川・

地頭菌, 1987, 寺本・下川, 2008a), クロマツ林斜面においては、噴火活動の衰退によって表面侵食土砂がどの程度抑制されるのかについて明らかにされていない。

本論では、桜島の噴火活動が比較的穏やかな時期におけるクロマツによる表面侵食抑制効果について検討するとともに、噴火活動が活発な時期(下川・地頭菌, 1987)と比較的穏やかな時期にクロマツ林斜面で測定した表面侵食土砂量を比較することで、噴火活動の盛衰がクロマツによる表面侵食抑制効果に及ぼす影響について検討する。本研究の成果は、桜島における山腹から海岸までの植生の保全を考える上での重要な基礎データとなり得る。

本研究に関連した既往の研究例として、桜島の荒廃斜面における緑化植生の土砂流出抑制効果を評価した寺本ら(2004)、寺本・下川(2009)が挙げられる。

2 桜島の噴火活動

図1は、1955~2009年における桜島の年爆発回数の推移(鹿児島地方気象台, 1955~2009)である。なお、

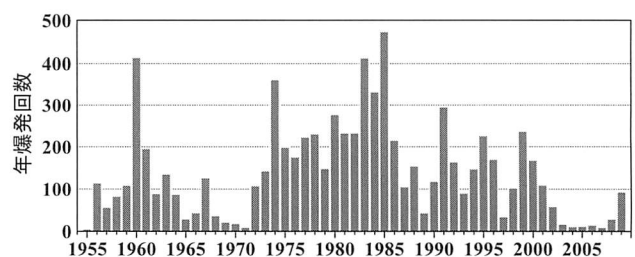


図1: 桜島の年爆発回数の経年変化(1955~2009年)

¹ 鹿児島大学農学部, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 korimoto, Kagoshima, 890-0065 Japan

*Corresponding author: sabot@agri.kagoshima-u.ac.jp

2009年の年爆発回数は1月から6月までの合計値である。1955年以降噴火活動を継続している桜島南岳の1950年代および1960年代における噴火活動は比較的穏やかであったが、1972年以降活発化した。とくに1974年から1986年にかけての年爆発回数はほとんどの年で200回以上の高い値で推移し、1985年には1955年の観測開始以来最高の474回を記録した。年爆発回数は1999年以降減少に転じ、2003年から2007年までの年爆発回数は20回程度と大きく減少している。2008年以降の年爆発回数は、2006年6月から新たに始まった南岳噴火口東斜面の昭和火口跡付近における噴火活動に伴って増加に転じている。

3 調査地と方法

3.1 調査地の概要

調査地は、桜島の北側斜面に位置するアミダ川流域と西側斜面に位置する引ノ平川流域である(図2)。

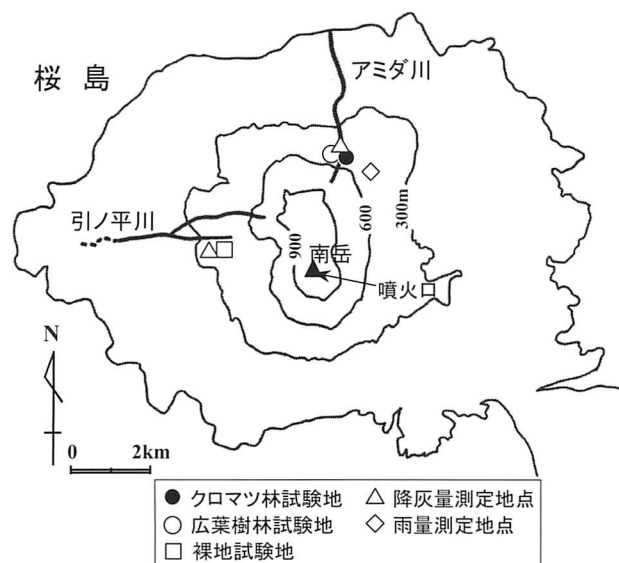


図2：調査地

表面侵食土砂量を測定するための試験地を、アミダ川流域標高400m地点のクロマツ林斜面に1箇所(以下、クロマツ林試験地という)と、対照区としてアミダ川流域標高400m地点の広葉樹林斜面に1箇所(以下、広葉樹林試験地という)および引ノ平川流域標高480m地点の裸地斜面に1箇所(以下、裸地試験地という)を設けた(図2, 写真1)。クロマツ林試験地は桜島南岳噴火口から北約2.7kmに位置する。クロマツ林試験地およびその周辺の植生は、上層はクロマツ(2009年時点で樹齢41年)、中・下層はヒサカキ、ヤブツバキ、ススキなどから構成される。クロマツは1967年に植林されている。クロマツ林試験地の地表面は10cm程度の落葉層で覆われている。広葉樹林試験地は桜島南岳噴火口から北約2.7kmに位置する。広葉樹林試験地およびその周辺の植生は、上層はタブノキ(2009年時点で樹齢39年)、中・下

層はヒサカキ、ネズミモチ、ハクサンボク、ススキなどから構成される。広葉樹林試験地の地表面は6cm程度の落葉層で覆われている。裸地試験地は桜島南岳噴火口から北西約2.1kmに位置する。裸地試験地の周辺は、ヒサカキ、ススキが点在している。表面侵食土砂量の測定は2008年7月23日から2009年6月5日まで行った。各試験地の概要を表1に示す。各試験地内の複数地点において表層火山灰層の試料を採取し、それらをひと纏めにして粒度分析を行った。裸地試験地の中央粒径は、クロマツ林試験地および広葉樹林試験地のそれに比べやや大きな値である。調査地の土層は、表層から順に降下火山灰の堆積層、土壌層、大正噴火による降下軽石層、土壌層からなる。

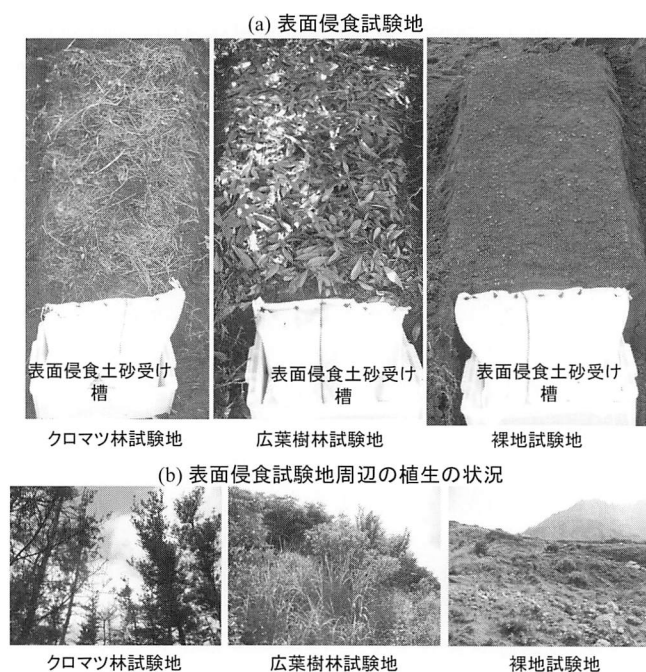


写真1：各試験地およびその周辺の様子

表1：各試験地の概要

試験地	標高 (m)	面積 (m ²)	斜面長 (m)	斜面傾斜 (度)	表層火山灰層の中央粒径 (mm)
クロマツ林	400	0.85	1.3	18	0.14
広葉樹林	400	0.85	1.3	19	0.13
裸地	480	0.85	1.3	16	0.17

また、クロマツ林試験地に隣接したクロマツ林斜面においては、桜島の噴火活動が活発であった期間に表面侵食土砂量および降灰量の測定が行われている(下川・地頭菌, 1987)。

3.2 測定および試験方法

各試験地の最下端に表面侵食土砂を捕捉するためのポケットを設け、概ね一雨ごとに表面侵食土砂量の測定を実施した(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。表面侵食土砂量の測定と同時に降灰量および雨量の測定も実施している(図2)。土砂量および降灰量は炉乾燥重量である。降灰量は、クロマツ林試験地と広葉樹林試験地の近くに1箇所、裸地試験地の近くに1箇所合計2箇所で行った(図2)。降灰量の測定は表面侵食土砂量の測定日に実施している。雨量は鹿児島森林管理署によって測定された。

また、各試験地の周辺において浸透能およびマニングの粗度係数を測定した。浸透能は次のような簡易な方法(下川・地頭菌, 1987)で測定した。仕切られた区画(斜面方向の水平長1m×幅0.5m, 斜面傾斜約20度)の全面に如雨露で真上から散水し、その水が地中に浸透しないで地上を流出した量をその下端で計測する。散水量(2000cc, 雨量に換算して4mm)から流出量を差し引いて浸透水量を求める。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、最終の測定値を浸透能とした。マニングの粗度係数は次のような簡易な方法(北原ら, 1993)で測定した。浸透能試験を実施した区画で流出量が一定になった後、区画の上端から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。流速は、区画の上端から下端までを通過する時間から平均流速を求めた。平均流量および平均流速から、マニングの平均流速公式を用いて粗度係数を計算する。

さらに、各試験地の周辺において表層火山灰層の不攪乱試料を採取し乾燥密度を測定した。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(下川・地頭菌, 1987)。試料は異なる場所において3箇所採取した。

4 結果と考察

4.1 表面侵食土砂量

図3は、各試験地における表面侵食土砂量を、測定開始日を起点にして経時的に累加表示したものである。表面侵食土砂量は1m²あたりの量に換算した値である。クロマツ林試験地の表面侵食土砂量は、広葉樹林試験地および裸地試験地のそれに比べ小さい。

図4 (a) は期間雨量と表面侵食土砂量の関係を、図4 (b) は期間雨量内の最大1時間雨量と表面侵食土砂量の関係を示す。ここでいう期間雨量とは、土砂の測定日から次の測定日までの総雨量である。分析に用いた雨量は、鹿児島森林管理署によって測定された(鹿児島森林管理署, 2008~2009)。なお、試

験地ごとにプロットを区別している。図4 (a) および図4 (b) によると、表面侵食土砂量は3試験地ともに雨量強度の増加に伴って大きくなっているものの、雨量強度が同程度の場合、クロマツ林試験地における表面侵食土砂量は、広葉樹林試験地におけるその50%程度、裸地試験地におけるその数%である。

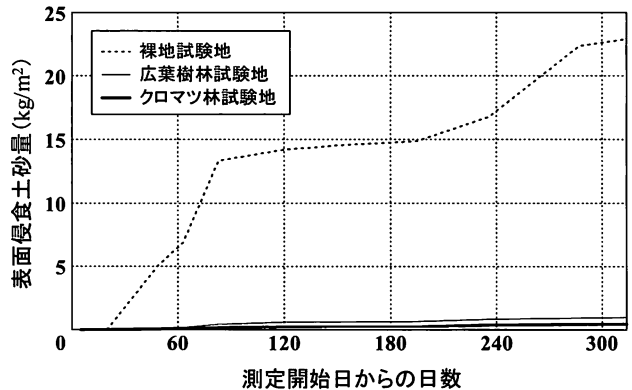


図3：表面侵食土砂量の経時変化

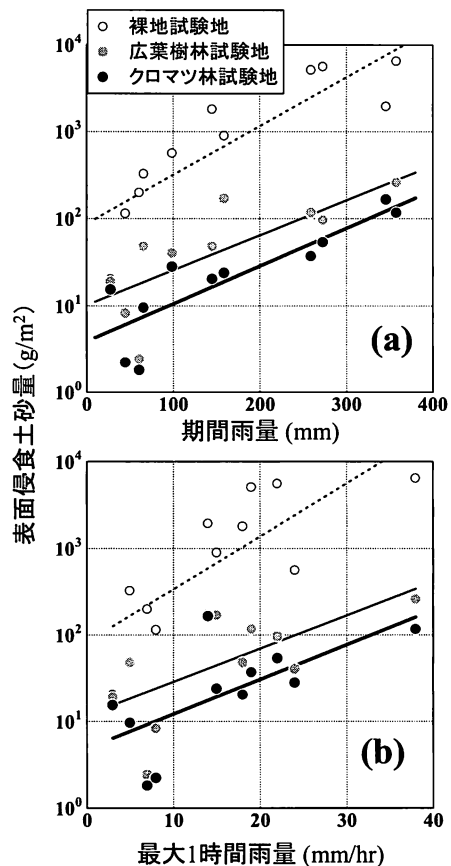


図4：期間雨量および最大1時間雨量と表面侵食土砂量の関係

図5は、期間雨量と表面侵食土砂の中央粒径の関係である。表面侵食土砂の中央粒径は3試験地ともに雨量強度の増加に伴って大きくなっているものの、同程度の期間雨量に対する中央粒径はクロマツ林試験地が最小となっている。同程度の期間雨量に対する

クロマツ林試験地における表面侵食土砂の中央粒径は、広葉樹林試験地の50%程度、裸地試験地の30%程度である。

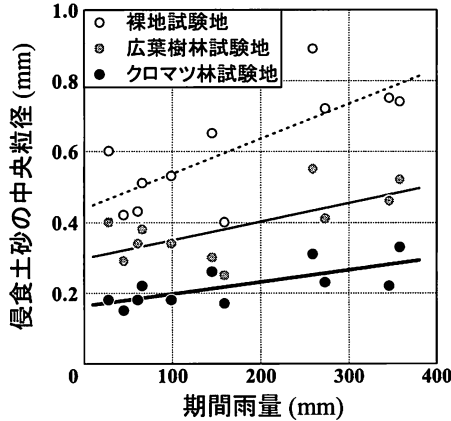


図5：期間雨量と表面侵食土砂の中央粒径の関係

表2は、各試験地において2008年7月23日から2009年6月5日までに測定された表面侵食土砂量、降灰量および雨量（鹿児島森林管理署、2008～2009）をそれぞれ集計して、比較したものである。裸地試験地における降灰量は、クロマツ林試験地および広葉樹林試験地におけるそれに比べ南岳噴火口からの距離が近いことにより大きな値を示す。3試験地の中では、噴火活動の影響の程度が最も強いと考えられる裸地試験地の表面侵食土砂量が最も大きくなっている。クロマツ林試験地における表面侵食土砂量は3試験地の中で最も小さく、広葉樹林試験地におけるその約48%、裸地試験地におけるその約2%である。

表2：表面侵食土砂量の比較

試験地	測定期間	表面侵食土砂量 (kg/m ²)	降灰量 (kg/m ²)	雨量 (mm)
クロマツ林	2008/7/23 - 2009/6/5	0.47	4.09	1839
広葉樹林	2008/7/23 - 2009/6/5	0.98	4.09	1839
裸地	2008/7/23 - 2009/6/5	22.92	11.12	1839

表3は、各試験地の周辺において測定した斜面の浸透能、マニングの粗度係数および表層火山灰層の乾燥密度を比較したものである。浸透能およびマニングの粗度係数はクロマツ林試験地が最も大きく、表層火山灰層の乾燥密度はクロマツ林試験地が最も小さい。これらの測定結果は、クロマツ林試験地が3試験地の中で最も表面流および表面侵食が発生しにくい状態にあることを示している。

クロマツ林試験地の表面侵食土砂量が広葉樹林試

験地のそれより少ない理由として、下川・地頭菌（1987）が指摘しているように、クロマツ林試験地の地表面は針葉が三次元的に複雑に絡み合った膨軟な落葉中に火山灰が堆積しているため空隙に富んだ構造になっているのに対し、広葉樹林試験地のそれは落葉が層状に重なり合いその隙間を火山灰が充填し緊密な構造になっていることが関係していると考えられる。

表3：浸透能、マニングの粗度係数および乾燥密度の比較

試験地	斜面傾斜 (度)	浸透能 (mm/hr)	粗度係数 (sec/m ^{1/3})	乾燥密度 (g/cm ³)
クロマツ林	20	163	0.29	1.17～1.23
広葉樹林	17	119	0.21	1.33～1.41
裸地	17	79	0.07	1.50～1.61

4.2 噴火活動がクロマツ林斜面の表面侵食土砂量に及ぼす影響

図6は、期間雨量とクロマツ林斜面において測定された表面侵食土砂量の関係を示す。なお、噴火活動が活発であった1984年7月25日から1985年6月3日の期間に得られたデータ（下川・地頭菌、1987）と、比較的穏やかであった2008年7月23日から2009年6月5日の期間に得られたそれは区別してプロットしている。分析に用いた雨量は、鹿児島森林管理署によって測定された（鹿児島森林管理署、1985～2009）。図6によると、表面侵食土砂量は両期間ともに雨量強度の増加に伴って大きくなっているものの、雨量強度が同程度の場合、噴火活動が比較的穏やかであった期間における表面侵食土砂量は、活動が活発であった期間におけるその20%程度である。

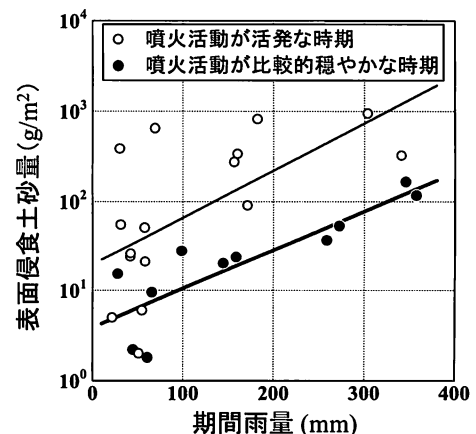


図6：期間雨量とクロマツ林斜面における表面侵食土砂量の関係の比較

表4は、クロマツ林斜面において噴火活動が活発であった1984年7月25日から1985年6月3日までの期間（下川・地頭菌，1987）および比較的穏やかであった2008年7月23日から2009年6月5日までのそれに測定された表面侵食土砂量，降灰量，雨量（鹿児島森林管理署，1985～2009）ならびに桜島の爆発回数（鹿児島地方気象台，1985～2009）をそれぞれ集計して比較したものである。なお，噴火活動が活発であった期間の桜島の爆発回数は，1984年7月から1985年6月までの月爆発回数の合計値を，比較的穏やかであ

った期間のそれは，2008年7月から2009年6月までの月爆発回数の合計値を示している。噴火活動が活発であった期間の降灰量および桜島の爆発回数はそれぞれ約53.2kg/m²，327回，比較的穏やかであった期間のそれらはそれぞれ約4.1kg/m²，97回であり，活動の衰退に伴って大幅に減少している。また，噴火活動が比較的穏やかな活動のもとで得られた表面侵食土砂量は，活発な活動のもとで得られたその約12%となっており，大幅に減少している。

表4：クロマツ林斜面における噴火活動の盛衰に伴う表面侵食土砂量の比較

測定期間	試験地の斜面傾斜(度)	測定期間中の表面侵食土砂量(kg/m ²)	測定期間中の降灰量(kg/m ²)	測定期間中の雨量(mm)	測定期間中の爆発回数(回)
1984/7/25 - 1985/6/3	15	4.02	53.2	1778	327
2008/7/23 - 2009/6/5	18	0.47	4.1	1839	97

クロマツ林斜面における表面侵食土砂量が大幅に減少したおもな理由として，噴火活動の衰退に伴う降灰および火山ガスの影響の減少により植生が回復（寺本・下川，2008b）した結果，火山灰層中の腐植が増加し，表層火山灰層中の空隙が大きくなるため，斜面の浸透能が増加したことと，浸透能の増加に伴って表面流の発生条件がより緩和されたこと（地頭菌・下川，1989）が挙げられる。

表5は，クロマツ林斜面において噴火活動が活発であった1986年（下川・地頭菌，1987）と比較的穏やかであった2008年にそれぞれ測定された斜面の浸透能と表層火山灰層の乾燥密度を比較したものである。なお，2008年の乾燥密度は試料を採取した3箇所ノ平均値である。2008年の浸透能は1986年のそれに比べ大きな値を示している。また，2008年の乾燥密度は1986年のそれに比べて小さく，2008年の方が表層火山灰層の空隙が大きい。

る表面侵食土砂量は，同期間の広葉樹林試験地におけるその約48%，裸地試験地におけるその約2%であった。また，浸透能，地表粗度および表層火山灰層の乾燥密度の測定を行った結果，クロマツ林試験地が最も表面流および表面侵食が発生しにくい状態にあることが示された。

(2) クロマツ林斜面では，噴火活動の衰退に伴って表面侵食土砂量は約4.0kg/m²（1984年7月～1985年6月3日）から約0.5kg/m²（2008年7月23日～2009年6月5日）へ大きく減少した。土砂量減少の理由として，噴火活動の衰退に伴う降灰および火山ガスの影響の減少による植生回復の結果，斜面の浸透能が増加したことと，浸透能の増加に伴って表面流の発生条件がより緩和されたことが示された。

末筆ではあるが，本研究で用いた雨量は鹿児島森林管理署の測定によるものである。ここに記して心より謝意を表す。

表5：クロマツ林斜面における噴火活動の盛衰に伴う浸透能および乾燥密度の比較

測定年	斜面傾斜(度)	浸透能(mm/hr)	乾燥密度(g/cm ³)
1986	20	144	1.26
2008	20	163	1.20

5 まとめ

本研究で得られたおもな結論は以下の通りである。

(1) 噴火活動が比較的穏やかな期間（2008年7月23日～2009年6月5日）のクロマツ林試験地にお

引用文献

- [1] 鹿児島森林管理署（1985～2009）：観測資料
- [2] 鹿児島地方気象台（1955～2009）：観測資料
- [3] 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，pp.747-750.
- [4] 地頭菌隆・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
- [5] 下川悦郎・地頭菌隆（1987）：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，pp.11-17.
- [6] 寺本行芳・下川悦郎・田中信・地頭菌隆・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, pp.3-12.
- [7] 寺本行芳・下川悦郎 (2008a) : 桜島の噴火活動の盛衰が表面侵食土砂量と植生の生長量に及ぼす影響, 海岸林学会誌, Vol.7 No.2, pp.17-20.
- [8] 寺本行芳・下川悦郎 (2008b) : 桜島の噴火活動がクロマツ林の林分構造および肥大成長に及ぼす影響, 海岸林学会誌, Vol.7 No.2, pp.33-36.
- [9] 寺本行芳・下川悦郎 (2009) : 桜島の緑化斜面における植物の生長に伴う土砂流出の経年変化, 海岸林学会誌, Vol.8 No.1, pp.37-42.

[受付 平成21年12月17日, 受理 平成22年3月26日]