

## 桜島における土石流の観測記録（Ⅱ）

春山元寿\*・地頭菌 隆・城本一義\*\*  
 （砂防工学研究室）

## Analyses on Mud Flows in Sakurajima Volcano (Ⅱ)

Motohisa HARUYAMA\* , Takashi JITOUSONO and Kazuyoshi JOMOTO\*\*  
 (Laboratory of Erosion Control)

### まえがき

桜島の南岳は非常に活発な火山活動を続けている。火山活動に伴う降灰は山腹斜面の表面流出特性に影響を及ぼし<sup>2)</sup>、土石流のひきがねの役割を果たすとともに土砂の供給源ともなっている<sup>1)</sup>。桜島のような活火山地帯にみられる土石流は、普通の山地にみられる土石流に比較してその発生・流出機構に特異性が認められる。活火山地帯の土石流の発生・流出機構については不明な点が多く、土石流の実態の定量的把握が要求されている。桜島においては、土石流の実態の解明および防災対策の基礎資料を得ることを目的として関係機関により土石流観測および降雨観測が行われている。本報告は、熊本営林局（鹿児島営林署）の土石流観測装置において筆者らの協力のもとで得られた観測記録を用い、桜島土石流の特徴について第1報<sup>3)</sup>に引き続き記述したものである。

### 調査地域の概況

調査地域は、Fig. 1 に示されるように、桜島の北側斜面である。土石流の観測は、北岳から急勾配をなして鹿児島湾に流入している長谷川、深谷川、西道川および松浦川の4溪流で行われている。桜島における溪流はすべて降雨時にのみ流水が存在し、普段は枯れ谷である。

桜島の北側斜面は、一般に標高300m以下はなだらかな丘陵斜面や台地状の地形を、300~500mは丘陵地と急傾斜地が混在した地形を、さらに500m以上は急傾斜の山岳地形をなす。

地質は、最近の火山噴出物・北岳火山砕屑物および扇状地堆積物から構成され、部分的に溶岩および軽石丘が存在している<sup>4)</sup>。

植生は、標高500~700mを境にしてそれ以下の高度域では一部クロマツ林の人工林を含む暖帯広葉樹林、それ以上は低木を散在状に含むススキ草地、さらに山頂部付近は裸地となっている。

土地は、海岸部は集落として、その上の山麓緩斜面から丘陵地にかけては果樹園や畑地などに利用されている。

---

\* 元鹿児島大学工学部

\*\* 鹿児島大学工学部



Fig.1. Location and topography of investigated area.

○ Observatory of mud flow, ● Rain gauge station

## 方 法

### 1. 観測方法

土石流観測は、Fig. 1 に示されるように、長谷川下流、深谷川中流、西道川下流、西道川中流および松浦川上流の4溪流5地点で行われており、各観測地点における集水面積は長谷川下流134.8ha、深谷川中流60.7ha、西道川下流143.3ha、西道川中流138.1ha、および松浦川上流35.4haである。観測装置はビデオカメラ・録画装置・ワイヤーセンサーなどから構成される。土石流の発生は溪床を横断して張られたワイヤーセンサーの切断により記録され、同時にビデオカメラと録画装置（VTR）が作動し土石流画像が記録される。なお、便宜上ワイヤーセンサーの切断時刻を土石流の発生時刻としている。

降雨観測は、春田山、新北岳および横平の3地点に設置された（Fig. 1）自記雨量計により行われている。

### 2. 解析方法

#### (1) 土石流発生時の降雨因子

土石流を発生させた降雨特性について検討した。降雨特性を把握するための因子は以下のようである。①土石流発生時刻までの連続降雨の累加雨量 $\Sigma Ro$  (mm)。ここで、連続降雨の始点および終点は3時間以上の降雨の中断によって決定している。②土石流流出（記録）終了20分前までの連続降雨の累加雨量 $\Sigma Rt$  (mm)。③土石流発生直前の10分間雨量 $R_{10}$  (mm/10min)。④土石流発生直前の60分間雨量 $R_h$  (mm/60min)。⑤土石流発生前の最大10分間雨量（10分間あたりの最大雨量） $R_{10p}$  (mm/

10min)。これは土石流発生前30分以内における10分間雨量の最大雨量であり、ほとんどの土石流発生が最大10分間雨量発生後30分以内にあることから採用した。⑥土石流発生前の最大1時間雨量(60分間あたりの最大雨量)  $R_{hp}$  (mm/60min)。⑦土石流発生前の24時間, 2日間, 3日間, 7日間および10日間先行降雨量  $D_1, D_2, D_3, D_7$ , および  $D_{10}$  (mm)。これは土石流発生前の降雨状況を把握するために求めた。

降雨データは, 長谷川および深谷川は春田山の記録を, 西道川および松浦川は横平の記録を使用している。ただし, 降雨欠測の場合は最も近い地点の記録を用いた。

(2) 土石流画像解析

記録された土石流の画像から一定時間ごとの土石流の流積および流速を計測, 同時に土石流の構成材料や流動形態を観察した。土石流の流速測定は, 画像において流体中の目標物(転石・流木など)が一定距離を通過する所要時間から求める方法と, 一定間隔に溪床を横断して張られたワイヤーセンサーを切断する所要時間から求める

方法によった。しかし, これらの測定方法には, 目標物の流速が土石流の流速を代表していない場合があること, ワイヤーセンサーが同一の土石流波形によって切断されていない場合があることなどの問題点が残る。

一定時間ごとに計測された土石流の流積と流速の積から求められる流量を用いて土石流のハイドログラフを作成し, 土石流のピーク流量  $Q_p$  ( $m^3/s$ ), および土石流の流出量  $Q_t$  ( $m^3$ ) を算出した。

結果および考察

1. 土石流の特徴

土石流は, 1980年から1985年までの6年間に長谷川23回, 深谷川20回, 西道川下流21回, 西道川中流15回, および松浦川20回の合計99回記録され, そのうち解析可能な土石流画像は長谷川10本, 深谷川9本, 西道川下流16本, 西道川中流5本, および松浦川8本の合計48本得られている。

Fig. 2は, 土石流画像から得られた土石流ハイドログラフを各溪流ごとに1例ずつ示したものである。記録された48個の土石流ハイドログラフによると, 最大10分間雨量

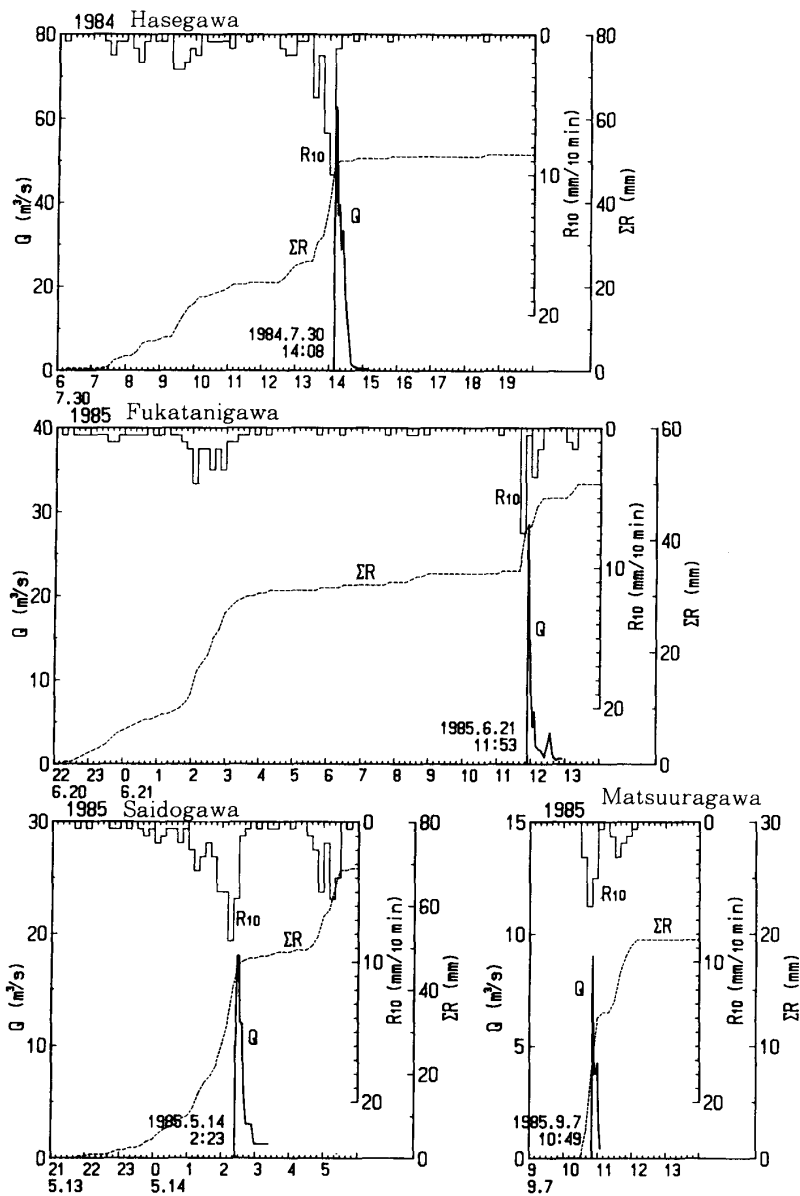


Fig.2. Hydrographs of mud flow.

$R_{10p}$  の発生時刻と土石流の発生時刻は約30分以内の時差でよく対応していることがわかった。この時間のずれは、土石流が発生源から観測点までの流下に要する時間、土石流発生源と降雨観測点の降雨条件の違いなどに関係していると思われる。

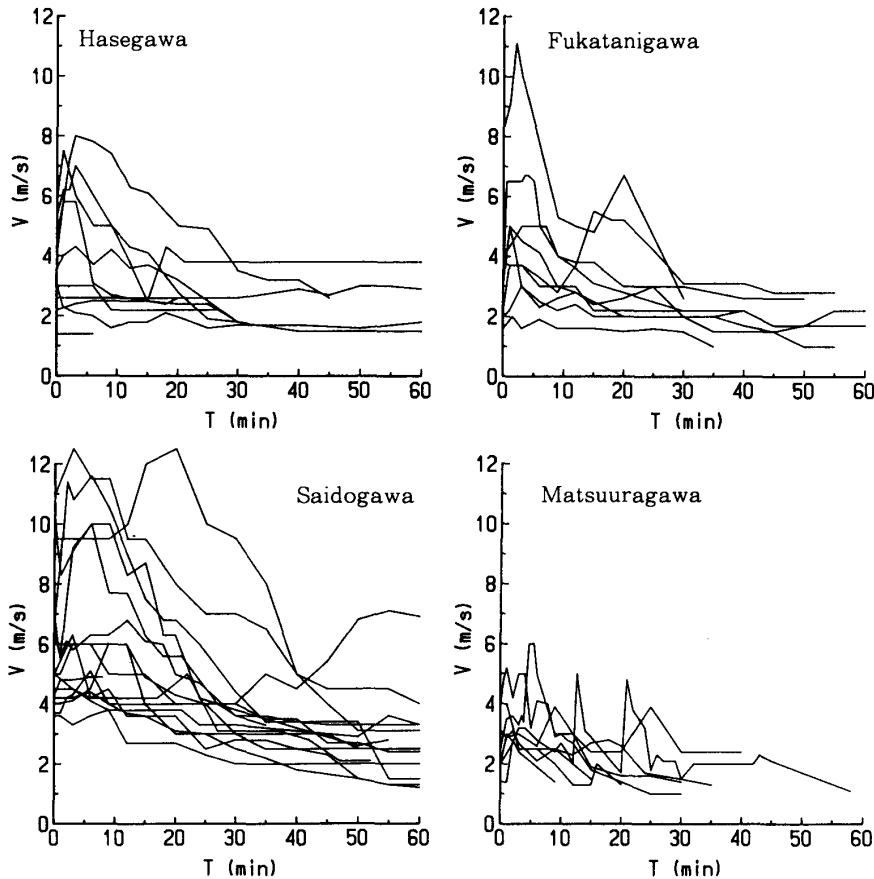


Fig.3. Velocity changes of mud flows with time at observatories of mud flow.

## 2. 土石流の発生条件

土石流発生の直接的な誘因は一般に降雨であるが、桜島のような活火山における土石流の発生条件は火山活動に伴う山腹や溪流の荒廃状態、降灰量などに影響され変化する。今のところ土石流発生の記録は6年間しか得られていないため、ここでは記録された土石流の発生と降雨条件についてのみ検討した。

Fig. 4は、6年間に得られた土石流の発生記録から土石流発生前の最大10分間雨量  $R_{10p}$  (mm/10min) と土石流発生時刻までの連続降雨の累加雨量  $\Sigma Ro$  (mm) の関係をプロットしたものである。破線は土石流の発生降雨条件の限界線を示している。土石流発生の最小の限界降雨条件は累加雨量10mmのとき10分間雨量5mm程度、同様に20mmのとき3mm程度、40mmのとき2mm程度となっている。

Fig. 5は、土石流発生直前の60分間雨量  $Rh$  (mm/60min) と累加雨量  $\Sigma Ro$  (mm) の関係をプロットしたものである。土石流発生の最小の限界降雨条件は累加雨量10mmのとき60分間雨量8mm程度、同様に20mmのとき6mm程度、40mmのとき5mm程度となっている。

Fig. 4およびFig. 5によると、4溪流の土石流発生の限界降雨条件に相違は認められない。桜

記録された土石流画像の観察によると、土石流の構成材料は溶岩、軽石、火山灰、流木などである。土石流の構成材料は溪流により性質が異なり、長谷川では溶岩がおもな材料であり、松浦川では軽石がおもな材料である。深谷川および西道川ではこれらの中間的な性質を示し、溶岩および軽石がおもな材料となっている。土石流の構成材料は、各溪流上流部の地質および侵食段階を反映しているものと考えられる。

Fig. 3は、1980年から1985年までの6年間に得られた土石流の流速変化を各溪流ごとに示したものである。土石流の流動形態が各溪流とも泥流状を示すものが多いためか、土石流の先端速度が最大流速となっていないものが多い。

島における土石流発生時の降雨条件が小さいことは、桜島山腹斜面での表面流出実験で得られた表面流発生時の最小限界降雨強度が $1.5\sim 2.0$  (mm/10min)<sup>2)</sup> と小さいこととよく対応している。

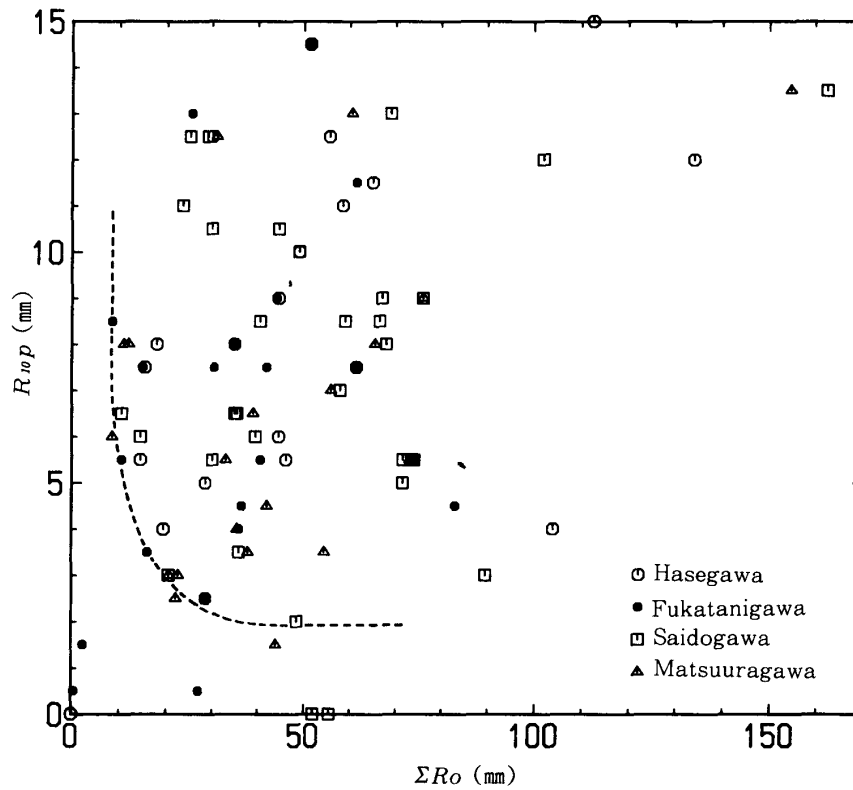


Fig.4. Rainfall conditions at the occurrence of mud flows.

$R_{10p}$  : Maximum rainfall per ten minutes preceding the occurrence of mud flow

$\Sigma Ro$  : Accumulated rainfall from the beginning of rain to the occurrence of mud flow

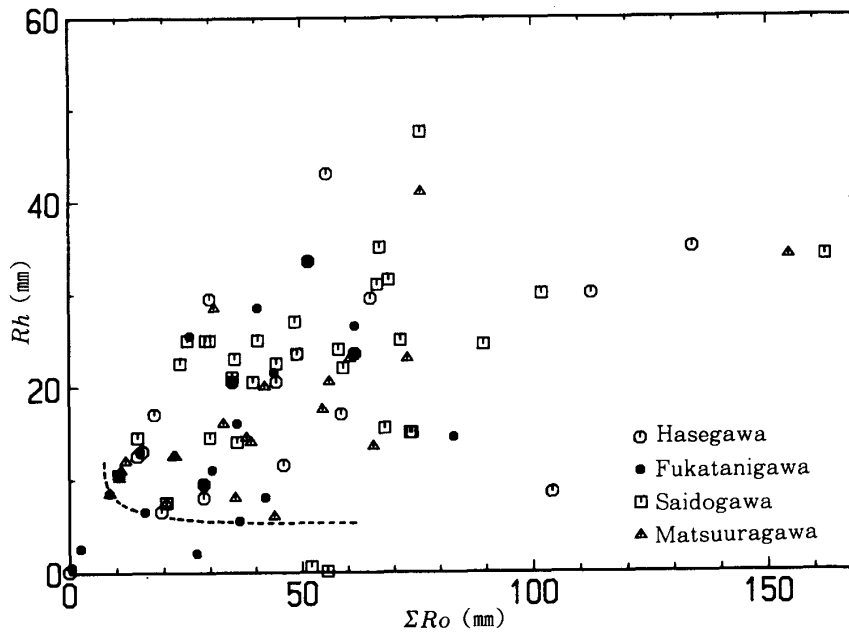


Fig.5. Rainfall conditions at the occurrence of mud flows.

$R_h$  : Rainfall for sixty minutes preceding the occurrence of mud flow

$\Sigma Ro$  : Accumulated rainfall from the beginning of rain to the occurrence of mud flow

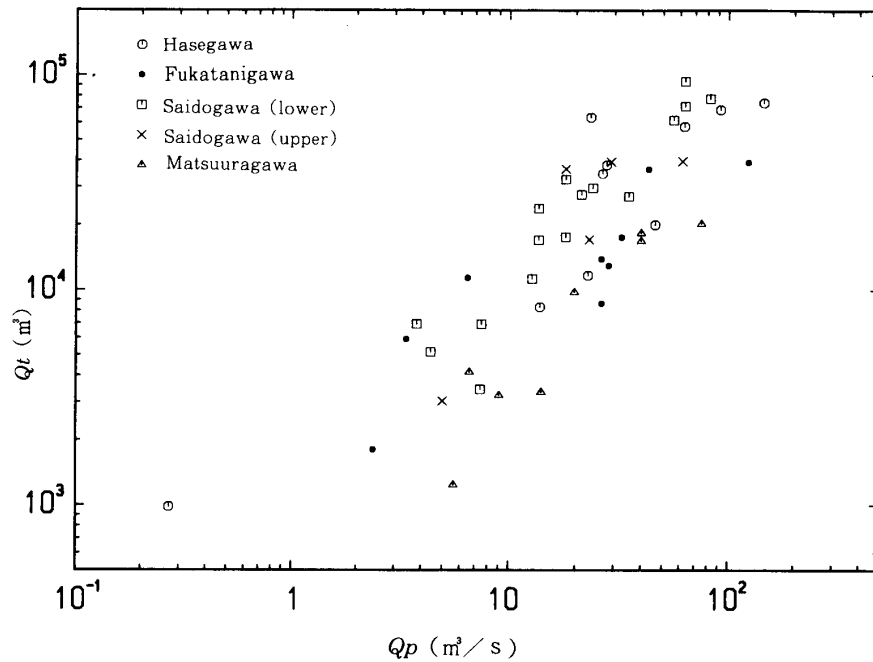


Fig.6. Relationship between the total runoff and the peak discharge of mud flow.

$Q_t$  : Total runoff of mud flow

$Q_p$  : Peak discharge of mud flow

### 3. 土石流の画像解析

#### (1) 土石流の流出量とピーク流量

Fig. 6 は、土石流の流出量  $Q_t$  ( $\text{m}^3$ ) とピーク流量  $Q_p$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) の関係を示したものである。両者の間には高度の相関関係が認められ、ピーク流量の大きい土石流は一般に流出量も多くなることがわかる。溪流ごとに比較すると、同じ規模のピーク流量に対する流出量は、西道川、長谷川、深谷川、松浦川の順で多い傾向がみられる。すなわち、土石流の流出量は、ピーク流量が同じ規模である場合は集水面積の大きい溪流ほど多くなることがわかる。

#### (2) 土石流のピーク流量と降雨

1980年から1985年までの6年間に記録された48個の土石流において、最大のピーク流量は1984年に長谷川で観測された約  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  である。

4 溪流の観測記録を一括して、ピーク流量と各降雨因子の間に乗べき曲線の関係をもとにした場合の相関係数を Table 1 に示す。また、4 溪流を一括して解析を行ったため降雨因子にそれぞれの溪流の集水面積を乗じた場合の相関係数も示している。ピーク流量と10分間雨量および60分間雨量の間には有意な関係が認められ、累加雨量や先行降雨量との間には有意な関係はみられない。したがって、土石流のピーク流量は、降雨量よりも降雨強度に関係していることがわかる。また、集水面積を乗じた場合より集水面積を乗じない場合の方がやや相関がよいことは、土石流のピーク流量がかならずしも集水面積に依存していないことを示している。これは、土石流が流域全域でいっせいに発生しているのではなく、局部的に発生していることを示唆している。

Fig. 7 は、Table 1 に示された土石流のピーク流量と降雨因子の関係において最も高い相関関係

Table 1. Coefficients of correlation between mud flow factors and rainfall factors

	$R_{10}$	$R_{10p}$	$Rh$	$Rhp$	$\Sigma Ro$	$\Sigma Rt$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_7$	$D_{10}$
$Qp$	0.40**	0.44**	0.30**	0.28*	0.25	0.30*	0.15	0.17	0.13	0.09	0.25
	0.39**	0.35*	0.23	0.20	0.19	0.22	0.11	0.12	0.11	0.09	0.21
$Qt$	0.41**	0.39**	0.38**	0.40**	0.44**	0.56***	0.28	0.30*	0.18	0.01	0.06
	0.56***	0.52***	0.50***	0.50***	0.53***	0.59***	0.43**	0.43**	0.37**	0.24	0.31

\*\*\* 0.1% level of significance, \*\* 1% level of significance, \* 5% level of significance.

$Qp$  : Peak discharge of mud flow,  $m^3/s$ .

$Qt$  : Runoff of mud flow,  $m^3$ .

$R_{10}$  : Rainfall for ten minutes preceding the occurrence of mud flow,  $mm/10min$ .

$R_{10p}$  : Maximum rainfall per ten minutes preceding the occurrence of mud flow,  $mm/10min$ .

$Rh$  : Rainfall for sixty minutes preceding the occurrence of mud flow,  $mm/60min$ .

$Rhp$  : Maximum rainfall per sixty minutes preceding the occurrence of mud flow,  $mm/60min$ .

$\Sigma Ro$  : Accumulated rainfall from the beginning of rain to the occurrence of mud flow,  $mm$ .

$\Sigma Rt$  : Accumulated rainfall from the beginning of rain to the end of mud flow,  $mm$ .

$D_1$  : Rainfall for twenty-four hours preceding the occurrence of mud flow,  $mm$ .

$D_2$  : Rainfall for two days preceding the occurrence of mud flow,  $mm$ .

$D_3$  : Rainfall for three days preceding the occurrence of mud flow,  $mm$ .

$D_7$  : Rainfall for seven days preceding the occurrence of mud flow,  $mm$ .

$D_{10}$  : Rainfall for ten days preceding the occurrence of mud flow,  $mm$ .

Upper value : Coefficients of correlation between mud flow factors and rainfall factors.

Lower value : Coefficients of correlation between mud flow factors and rainfall factors multiplied by basin area.

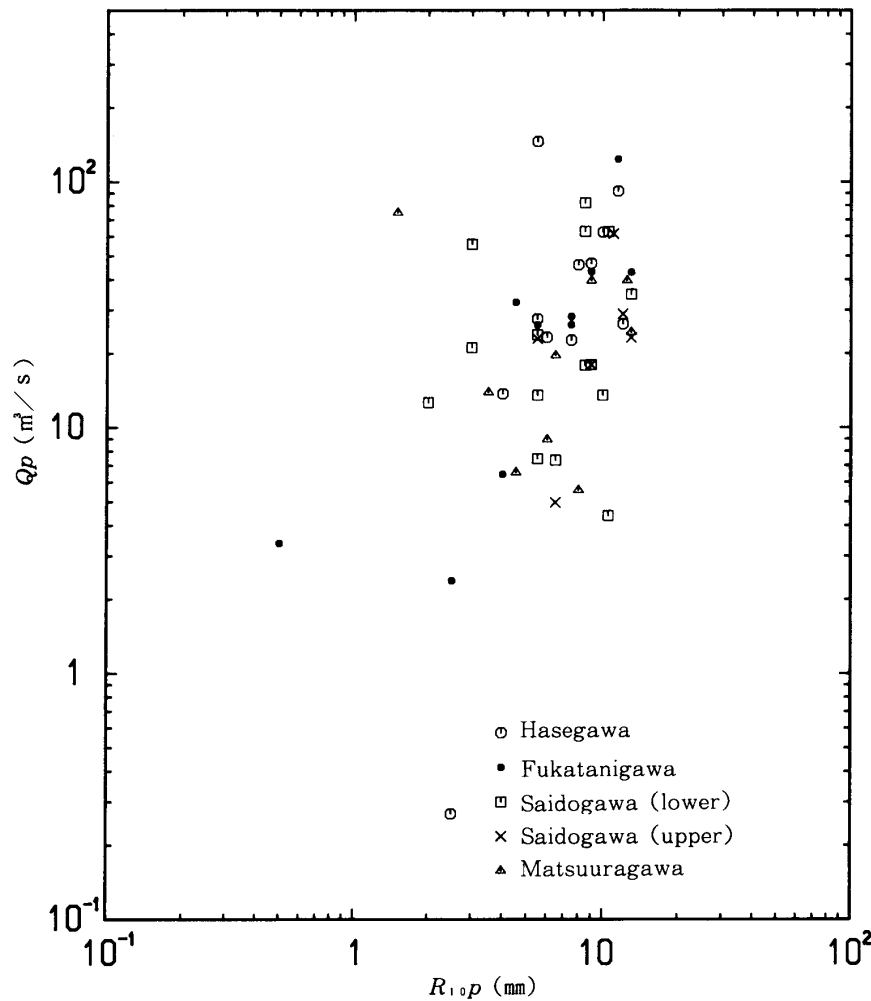


Fig.7. Relationship between the peak discharge of mud flow and maximum rainfall per ten minutes.

$Q_p$  : Peak discharge of mud flow

$R_{10p}$  : Maximum rainfall per ten minutes preceding the occurrence of mud flow

が認められたピーク流量  $Q_p$  と土石流発生前の最大10分間雨量  $R_{10p}$  の関係を示したものである。最大10分間雨量が大きい降雨ほど土石流のピーク流量は大きくなっている。両者の間には溪流による差はみられない。

(3) 土石流の流出量と降雨  
記録された48個の土石流において最大の流出量は1983年に西道川で観測された約93,000  $m^3$  である。

4 溪流の観測記録を一括して、流出量と各降雨因子の間に乗べき曲線の関係を仮定した場合の相関係数を Table 1 に示す。また、降雨因子に集水面積を乗じた場合の相関係数も示している。流出量と先行降雨量の関係以外はすべて高度の相関関係が認められた。また、集水面積を考慮しない場合より考慮した場合の方が相関がよい。これは土石流の

流出量が集水面積に影響されていることを示している。

Fig. 8 は、Table 1 に示された土石流の流出量と降雨因子の関係において最も高い相関関係が認められた流出量  $Q_t$  と連続降雨の累加雨量  $\Sigma Rt$  に集水面積  $A$  を乗じた値  $A \cdot \Sigma Rt$  の関係を示したものである。累加雨量が増大するほど土石流の流出量は大きくなっており、 $Q_t$  および  $A \cdot \Sigma Rt$  の値は4溪流のうち集水面積の大きい西道川および長谷川で大きく、深谷川および松浦川で小さい傾向にある。

#### (4) 土石流の流出率

土石流の流出量  $Q_t$  と連続降雨の累加雨量  $\Sigma Rt$  に集水面積  $A$  を乗じた値  $A \cdot \Sigma Rt$  との比を土石流の流出率  $F$  として、記録された48個の土石流について算出した。 $F$  の値は、0.02~1.8の範囲にある。 $F$  の値が1以上となるのは、 $Q_t$  の値が降雨流出量と土砂流出量の和であるからである。

Fig. 9 は、土石流の流出率  $F$  とピーク流量  $Q_p$  の関係を示したものである。ピーク流量の大きい土石流は流出率も高くなっている。各溪流ごとにみると、同じピーク流量に対する流出率は、4溪流



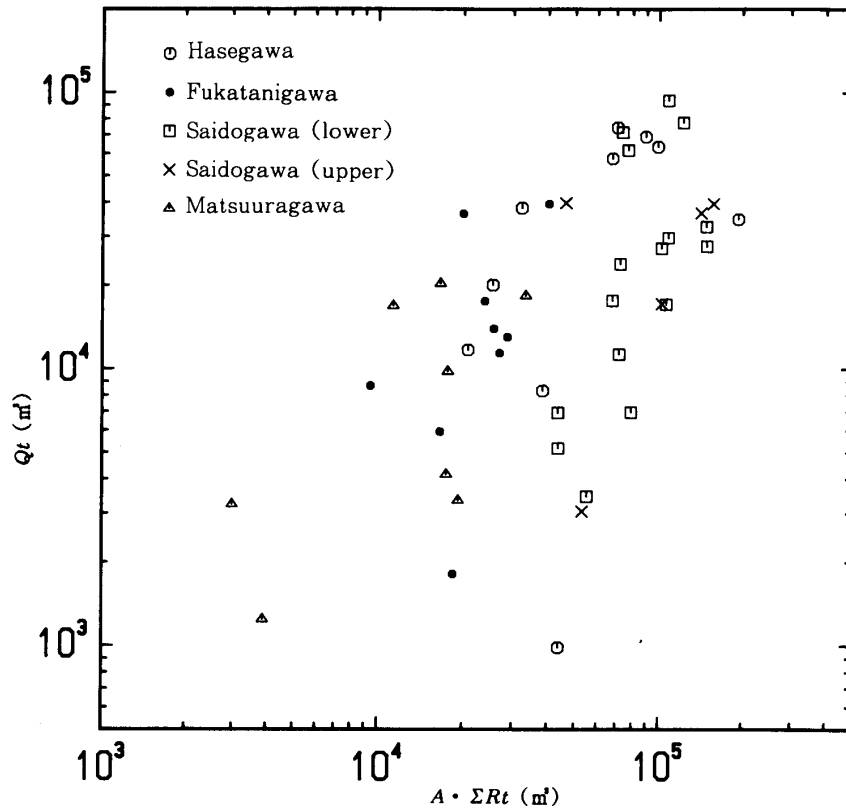


Fig.8. Relationship between the total runoff of mud flow and total rainfall amount.

$Q_t$  : Total runoff of mud flow

$A \cdot \Sigma R t$  : Total rainfall amount,  $\Sigma R t$ , multiplied by basin area,  $A$

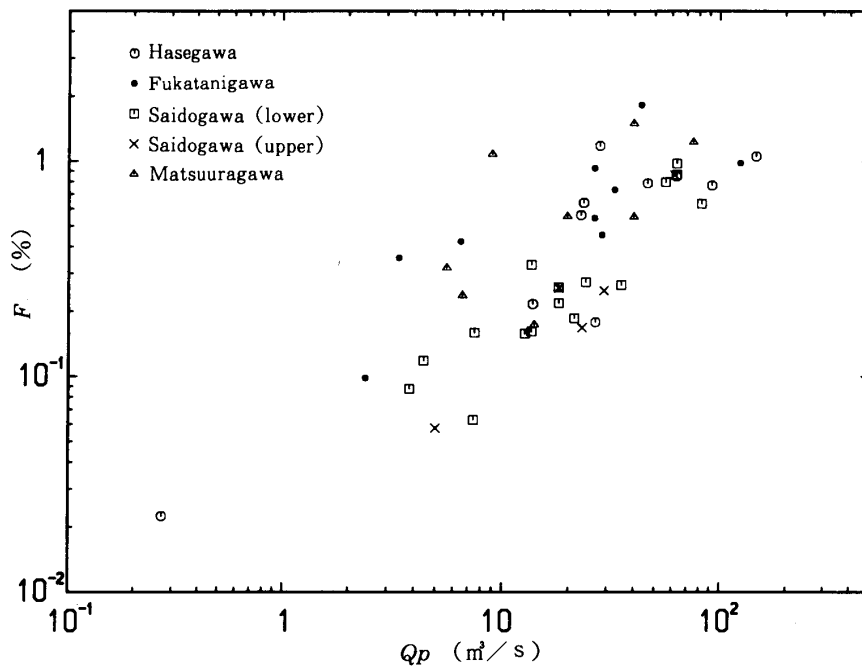


Fig.9. Relationship between the runoff ratio and the peak discharge of mud flow.

$F$  : Runoff ratio of mud flow (Ratio of  $Q_t$  to  $A \cdot \Sigma R t$ )

$Q_p$  : Peak discharge of mud flow

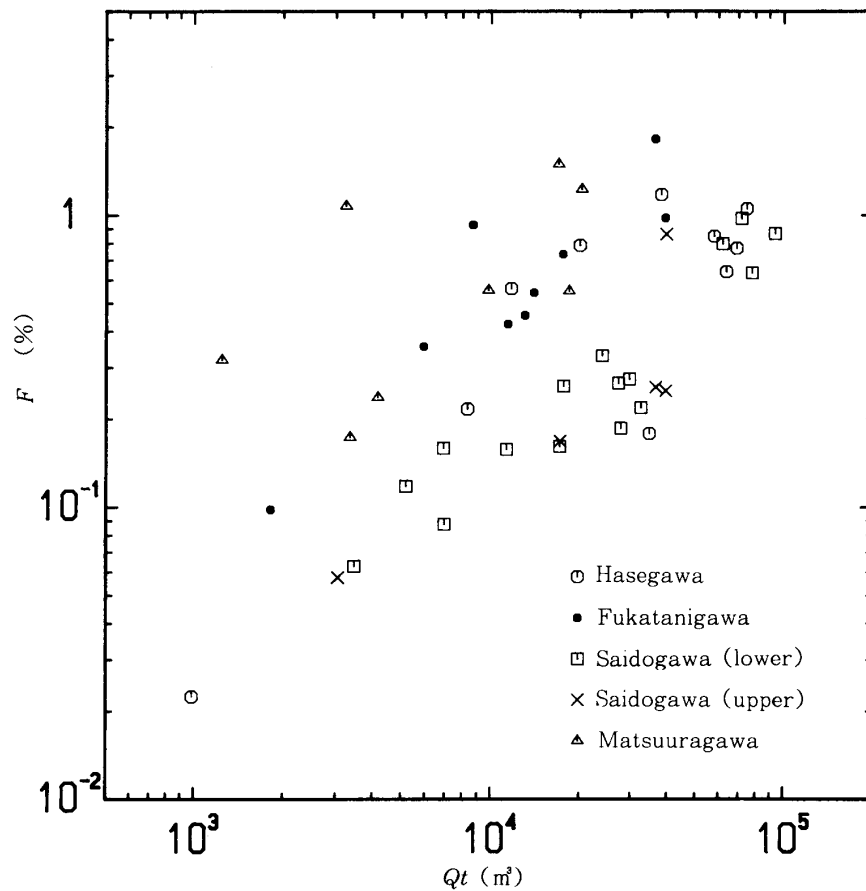


Fig.10. Relationship between the runoff ratio and the total runoff of mud flow.

$F$ : Runoff ratio of mud flow (Ratio of  $Qt$  to  $A \cdot \Sigma Rt$ )

$Qt$ : Total runoff of mud flow

のうち集水面積の小さい松浦川および深谷川で大きい値を示し、集水面積の大きい西道川および長谷川で小さい値を示している。

Fig. 10は、土石流の流出率 $F$ と流出量 $Qt$ の関係を示したものである。流出量の多い土石流は流出率も高くなっている。各溪流ごとにみると、同じ流出量に対する流出率は、集水面積の小さい松浦川および深谷川で大きい値を示し、集水面積の大きい西道川および長谷川で小さい値を示している。

### 要 約

活発な火山活動を続けている桜島の北側斜面における1980年から1985年までの6年間に得られた土石流観測記録および降雨観測記録により、桜島土石流の特性、土石流発生・流出に及ぼす降雨条件などについて検討した。得られた結果をまとめると次のようである。

1) 桜島土石流の構成材料は溶岩、軽石、火山灰、流木などである。土石流の構成材料は、上流部の地質や侵食段階により溪流ごとに性質が異なる。

2) 観測された土石流のほとんどは泥流状の流動形態を示し、土石流の先端速度は最大流速となっていない。

3) 土石流の発生時刻は最大10分間雨量の発生時刻とよく対応している。土石流の発生記録によると、土石流発生時の最小の限界降雨条件は累加雨量10mmのとき10分間雨量5mm程度、同様に20mmのとき3mm程度、40mmのとき2mm程度であった。

4) ピーク流量の大きい土石流は一般に流出量も多い。土石流の流出量は、ピーク流量が同じ規模である場合は集水面積の大きい溪流ほど多い。

5) 土石流のピーク流量は降雨強度に関係している。ピーク流量は集水面積にはかならずしも依存していない。

6) 土石流の流出量は降雨量、降雨強度の両方に関係している。また、流出量は集水面積にも影響されている。

7) 土石流の流出量と総雨量の比で定義される土石流の流出率は、土石流のピーク流量および流出量が大きいほど高くなる。土石流の流出率は、ピーク流量あるいは流出量が同じ程度である場合は集水面積の小さい溪流の方が高い。

## 謝 辞

桜島の土石流観測においては、熊本営林局、鹿児島営林署、ならびに（財）水利科学研究所から多大な協力を受けている。ここに記して謝意を表する。

## 付 記

本研究は、1976年から林野庁により実施されている桜島地区民有林直轄治山事業の一環として著者のひとりである春山元寿・元教授のもとで始められたものである。春山・元教授は1985年7月病に倒れ、同年12月19日に急逝された。ここに記して春山元寿・元教授の御冥福を祈るものである。

## 参 考 文 献

- 1) 下川悦郎・地頭蘭隆：桜島における表面侵食による土砂生産．新砂防，（投稿中）
- 2) 地頭蘭隆・下川悦郎：桜島山腹斜面における表面流出特性．鹿大農演報 No. 15. 51-61 (1987)
- 3) 春山元寿・地頭蘭隆・城本一義：桜島における土石流の観測記録．新砂防，133, 22-27 (1984)
- 4) 福山博之・小野晃司：桜島火山地質図．地質調査所 (1981)

## Summary

The volcano called Sakurajima has been characterized by its explosive volcanic activities as well as by its tremendous mud flows occurring at the time of heavy and sudden rainfall. In this paper some characteristics of mud flows in Sakurajima were described, and making use of the video tapes of mud flow records and the rainfall records taken during the period from 1980 to 1985, analyses were carried out on to the influence of rainfall conditions on the occurrence, the peak discharge, and the total runoff of mud flows.

The results are summarized as follows:

- 1) The materials composing mud flows in Sakurajima include andesite, pumice, volcanic ash and wood, and depend on the geology and the degree of erosion in the upper

reaches of the ravine.

2) No correspondence is to be fixed between the front velocity of mud flows and the maximum velocity (Fig. 3).

3) A certain correspondence is noted between the occurrence of mud flows and that of the maximum rainfall per ten minutes (Fig. 2).

In Sakurajima the mud flows are to be launched simultaneously with the rainfall intensity exceeding about 5 mm in ten minutes after the rainfall amount of approximately 10 mm, with that exceeding about 3 mm in ten minutes after the rainfall amount of approximately 20 mm, and with that exceeding about 2 mm in ten minutes after the rainfall amount of approximately 40 mm, respectively (Fig. 4).

4) Positive relationships are noted both between the total runoff and the peak discharge of mud flows, and, between the total runoff of mud flows and the drainage area (Fig. 6).

5) Some association is fixed between the peak discharge of mud flows and the rainfall intensity (Table 1). No dependence is noted between the peak discharge of mud flows and the drainage area.

6) An association is fixed between the total runoff of mud flows, and, the rainfall amount and rainfall intensity (Table 1). A dependence is noted between the total runoff of mud flows and drainage area.

7) Positive relationships are noted between the runoff ratio of mud flows, defined as the ratio of the total runoff of mud flow to the total rainfall amount, and, the peak discharge and the total runoff of mud flows. A dependence is noted between the drainage area and relationships of the peak discharge and the total runoff of mud flows to the runoff ratio of the mud flows.