

## 桜島山腹斜面における表面流出特性\*

地頭蘭 隆・下川悦郎

(砂防工学研究室)

## Surface Runoff Features on Hillside Slopes Covered with Volcanic Ash in Sakurajima Volcano\*

Takashi JITOUSONO and Etsuro SHIMOKAWA

(Laboratory of Erosion Control)

### ま え が き

活発な火山活動が続けている桜島の山腹斜面では、植生が後退し、表面・リル・ガリー侵食、斜面崩壊、土石流などの頻発化により、多量の土砂が生産されている。この多量の土砂は、しばしば海岸部の集落に土砂災害を引き起こしている。土砂生産の引き金となっている表面・リル・ガリー侵食、斜面崩壊、土石流などの発生形態と機構については、これらの現象のおもな原因である降雨との関係を中心に多くの解析がなされてきている<sup>2,3,4)</sup>。

ところで、現地での観察によると、桜島火山山体での土砂生産は表面・リル・ガリー侵食のようにその発生が表面流出に強く支配された形態が卓越して行われている。降灰が持続するなかで、地表面の浸透能は著しく低下し、その結果表面流出が増大しているものと予想される。表面流出について調べておくことは、侵食や土石流の発生機構を考えるうえで重要であろう。

今回、桜島山腹斜面において、自然降雨による表面流出試験を行ったのでその結果について報告する。

### 調査地の概況

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

桜島の北側斜面の地質は、北岳の山頂部周辺は最近の火山噴出物に覆われ、それ以下の斜面は北岳の火山碎屑物および扇状地堆積物で構成され、所々に溶岩および軽石丘が分布している<sup>5)</sup>。地盤は、一般に表層から大正爆発以降今日の降灰による火山灰層、大正降下軽石層の最上部に形成された土壌層、ルーズな状態で堆積している大正降下軽石層、安永降下軽石層の最上部に形成された土壌層、数枚の溶結軽石層を含む安永降下軽石層、文明降下軽石層の最上部に形成された土壌層、文明降下軽石層と続く。

植生および土地利用状況は、海岸部に集落があり、山麓緩斜面から丘陵地にかけては果樹園、畑地

---

\* 本研究は、昭和61年度砂防学会研究発表会において報告した。

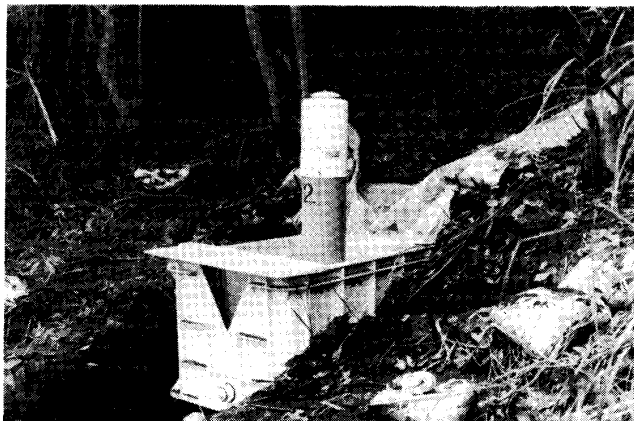


Photo. 1 量水装置

形図を示したものである。

おもな観測は、試験小流域の下流端での表面流出量の測定、および降雨量の測定からなる。量水装置は、大型のプラスチックコンテナ（長さ100cm、幅70cm、深さ60cm）に頂角60度の刃型三角堰と

などの農耕地が分布、その上の中腹部は林地、標高500～700 mを境にして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る。

試験地は、Fig. 1 に示されるように、桜島北側斜面のアミダ川中流域、標高400 m付近の山腹斜面に設定された。

### 観 測 方 法

試験地として0次オーダーの小流域（以下試験小流域という）は、クロマツ林内と広葉樹林内にそれぞれ1箇所ずつ設定された。

Fig. 2 は両試験小流域を実測して得た地

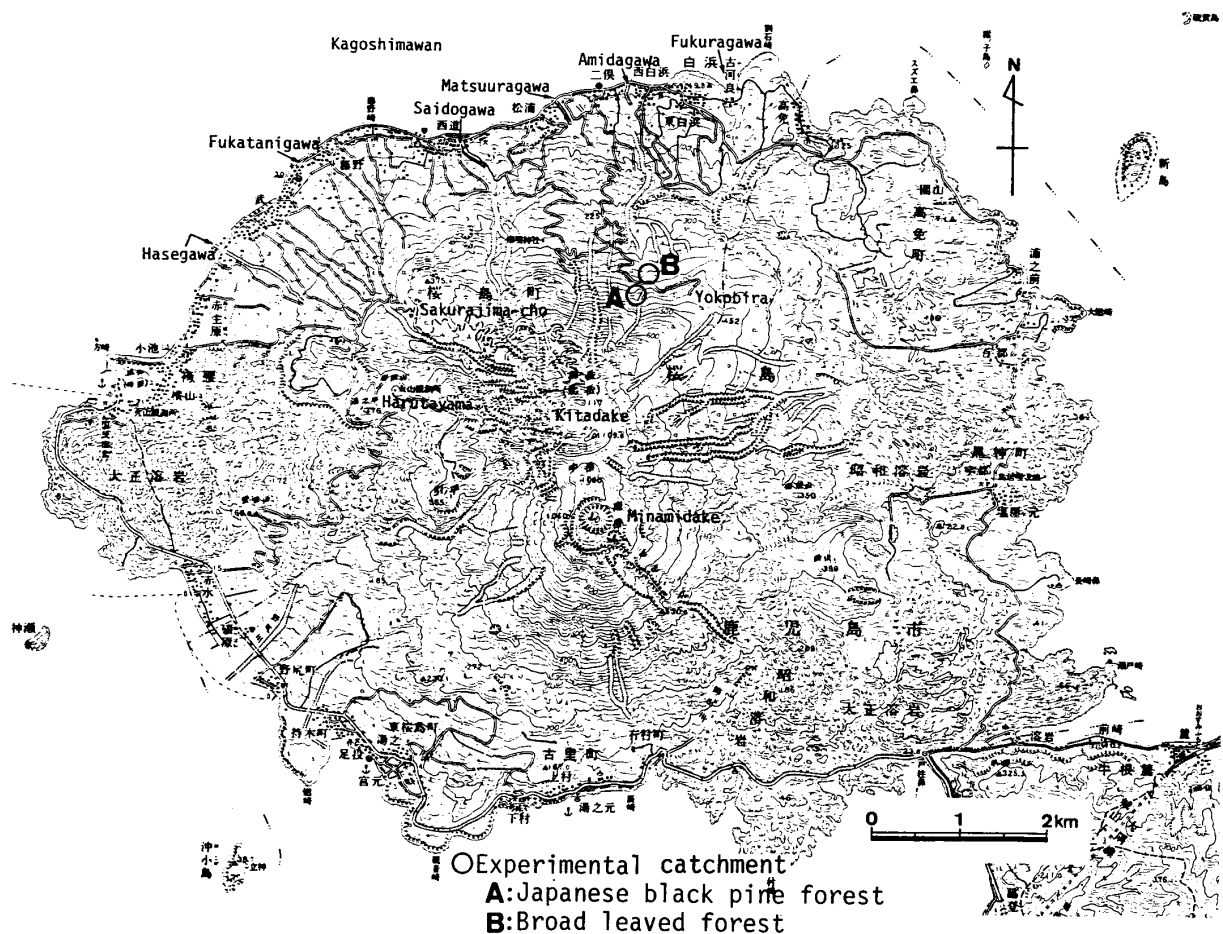


Fig. 1 . Location of experimental catchments.

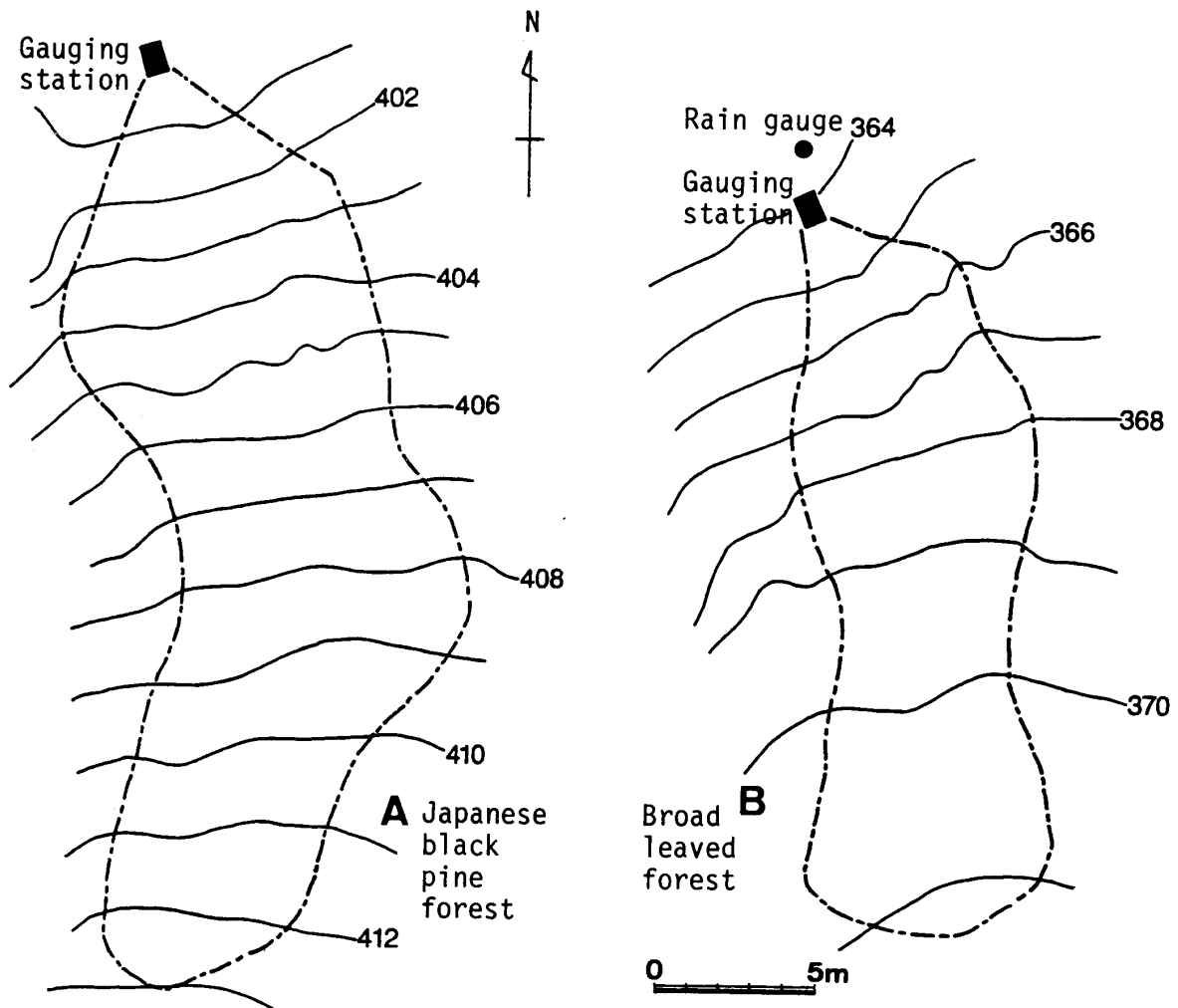


Fig. 2 . Topography of experimental catchments.

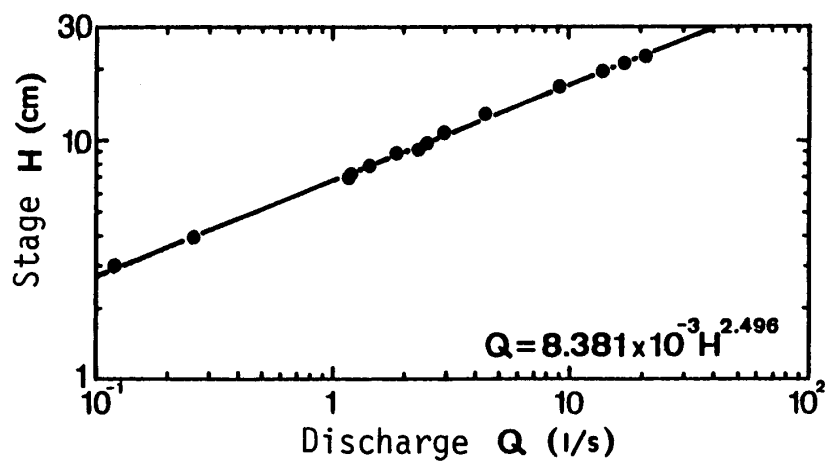


Fig. 3 Relationship between stage and discharge.

自記水位計を取り付けたものである (Photo. 1)。表面流出量は、観測された水位を流量に変換する方法により算出した。水位・流量関係を表す水位・流量曲線は、室内における14回の実測により決定した。水位・流量曲線はFig. 3に示され、水位を $H$  (cm)、流量を $Q$  (l/s) とすると次式で表される。

$$Q = 8.381 \times 10^{-3} H^{2.496} \quad (1)$$

クロマツ林内の試験流域は、Fig. 2に示されるように、標高400~413 mに位置し、面積は216 m<sup>2</sup>、傾斜は流域の長軸方向において下流部26度、上流部22度である。クロマツ林は1967年に植林された20年生の林分であり、下層にはヒサカキ、ヤブツバキ、ツゲ、アオキ、ススキなどがまばらに生えている。この試験地が位置する林地はリルやガリーの発達密度が粗で、その地表面は5 cm前後の針葉の落葉に覆われている。

広葉樹林内の試験流域は、Fig. 2に示されるように、標高364~372 mに位置し、面積は138 m<sup>2</sup>、傾斜は流域の長軸方向において下流部23度、上流部11度であり、クロマツ林よりわずかにゆるい。広葉樹林は壮齢の林分であり、上層はタブノキ、クロキなどの樹種で、下層はヒサカキ、ネズミモチ、ツゲ、アオキなどの樹種で構成されている。この試験地が位置する林地は、落葉層が0~2 cmと薄く、火山灰が露出し、クロマツ林に比べ地表面が固い。また、林地はリルやガリーの発達が目立つ。

クロマツ林の試験流域と広葉樹林の試験流域は水平距離で約200 mと互いに隣接している。

雨量は、広葉樹林内の試験流域のすぐ横に設置された1回転倒0.5mmの転倒ます型雨量計で測定した。

観測は1985年8月10日から10月14日までの約2ヶ月間行い、ひと雨ごとの表面流出量データおよび雨量データを得た。同時に、量水装置内に堆積した試験小流域からの流出土砂量の測定、直径52cmのポリバケツによる降下火山灰量の測定もあわせて行った。

## 観測結果および考察

### 1. 表面流出特性

一般に流域からの流出は、流域の地形、地質、植生、降雨特性などの多くの因子に影響される。

Fig. 4は、クロマツ林および広葉樹林の試験小流域において得られたハイドログラフの3例を示したものである。広葉樹林は、ピーク流量、表面流出量ともクロマツ林より大きい。また、クロマツ林における流出のピークは広葉樹林のピークより0~3分遅れて発生している。降雨開始から表面流出発生までの時間の遅れは降雨開始時の土壤の含水状態に影響されており、流域が湿っている時は降雨開始とほぼ同時に表面流出が始まっている。降雨状況によっては広葉樹林では表面流出が発生し、クロマツ林では発生しない場合もみられる。隣接している両試験流域は同様の地形、地質特性を有しており、また火山活動に伴う降灰の影響も同程度である。この表面流出状況の違いは林地の土壤構造、とくにその表層部の構造の違いによると考えられる。すなわち、クロマツ林内の土壤表層部は針葉が複雑に絡み合った膨軟な落葉層中に、降下した火山灰が堆積しているため空隙に富み、雨水は浸透しやすく、表面流が発生しにくい構造を有している。一方、広葉樹林内の土壤表層部は落葉が層状に重なり合い、その透き間を火山灰が充填し、緊密であり、雨水は浸透しにくく、表面流の増加を招くような構造となっている。このように、桜島山腹斜面では降灰の影響により一般山地とは異なる土壤構造が形成され、その結果流出現象も特異なものとなっている。

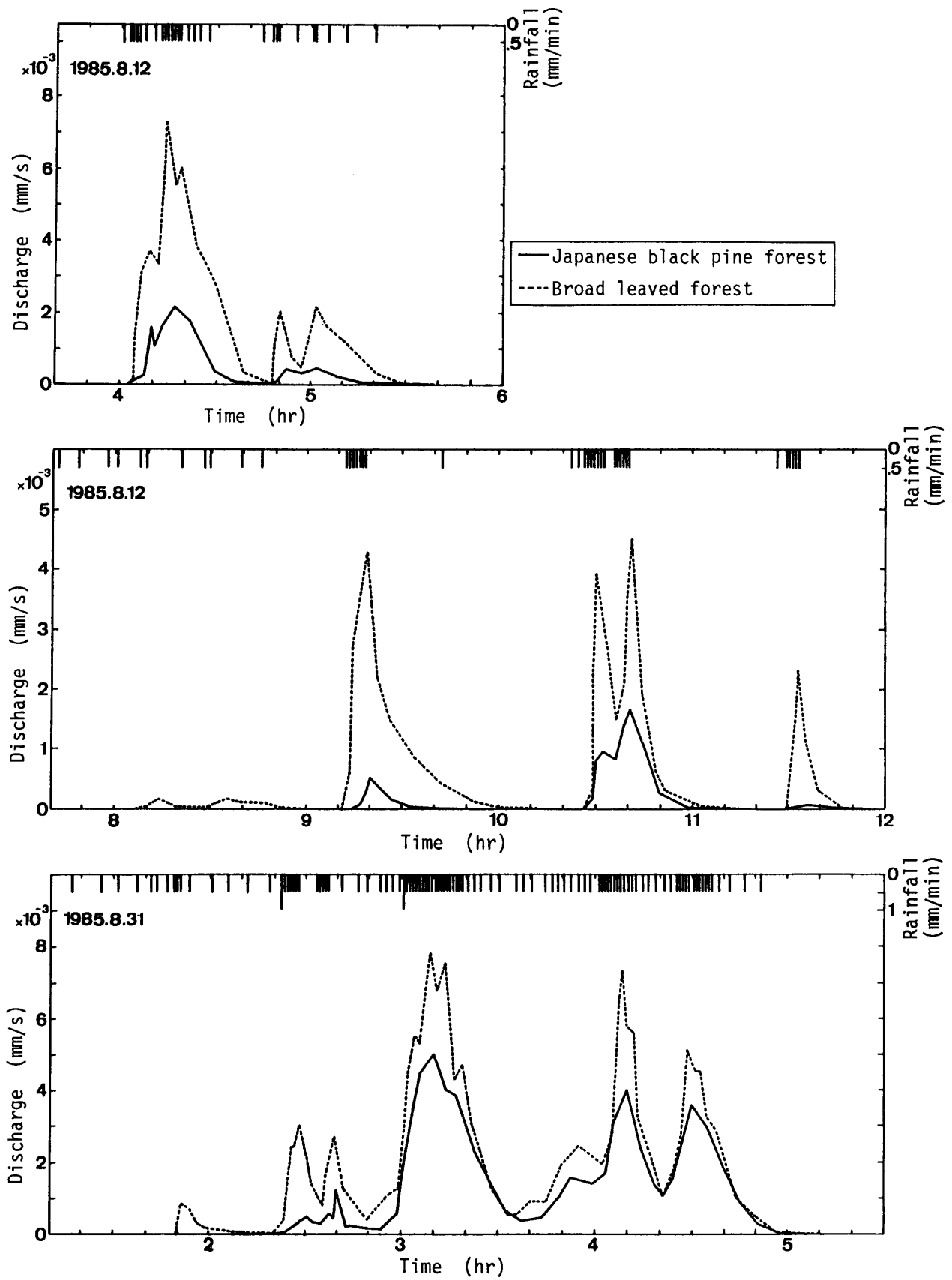


Fig.4 . Hydrographs of surface runoff.

## 2. 降雨と表面流出

Table 1 は、観測されたひと雨ごとの表面流出および降雨データについて示したものである。ここで、総雨量とは表面流出が行われている期間の降雨総量であり、また、最大10分間雨量とは1分単位で読み取った降雨データから求めた10分間あたりの最大雨量である。

### (1) 表面流出量

Table 1 に示される21個の表面流出量の合計値はクロマツ林において約22mm、広葉樹林において約51mmであり、広葉樹林ではクロマツ林の約2倍の表面流出量が発生している。

Fig. 5 は、クロマツ林および広葉樹林における表面流出量と総雨量の関係を示したものである。両林分ともばらつきはみられるが、表面流出量は総雨量の増加に伴い増大している。このばらつきは、表面流出量が降雨総量だけでなく、降雨開始時の土壌の含水状態、降雨強度、降灰状況などの因子にも関係しているためと考えられる。Fig. 5 において、実線はクロマツ林における両者の回帰直線を示し、破線は広葉樹林における回帰直線を示している。回帰直線でクロマツ林と広葉樹林を比較すると、同じ総雨量でもクロマツ林より広葉樹林からの方が表面流出量が多い。

表面流出量と降雨強度（最大10分間雨量）の関係においても同様の傾向がみられ、同じ降雨強度でもクロマツ林より広葉樹林からの方が表面流出量が多いという結果が得られた。

### (2) 表面流出率

表面流出率（総雨量のうち表面流として流出する雨水の割合）は、Table 1 に示されるように、同じ降雨の場合でもクロマツ林より広葉樹林の方が高い。クロマツ林における表面流出率は0～30%の範囲にあり、広葉樹林における表面流出率は1～90%の範囲にある。21個のひと雨の総雨量を合計し

Table 1. Hydrological data used in analyses (in 1985)

No	Date	Rainfall			Surface runoff							
		Total rainfall (mm)	Duration (min)	Maximum rainfall per ten minutes (mm/10min)	Depth of runoff		Duration		Runoff ratio		Peak discharge	
					Brack pine f. (mm)	Broad leaved f. (mm)	Brack pine f. (min)	Broad leaved f. (min)	Brack pine f. (%)	Broad leaved f. (%)	Brack pine f. (mm/s)	Broad leaved f. (mm/s)
1	8.11	3.5	17	2.5	—	.061	—	18.5	—	1.7	—	.190
2	8.11	4.0	24	2.5	—	.571	—	53.5	—	14.3	—	2.061
3	8.11	3.0	10	3.0	—	.334	—	61.0	—	11.1	—	.725
4	8.11	6.5	22	4.5	.088	1.881	92.0	72.0	1.4	28.9	.058	4.682
5	8.12	9.0	27	4.0	2.055	7.429	46.0	45.0	22.8	82.5	2.155	7.272
6	8.12	5.0	37	2.0	.491	2.435	111.5	111.5	9.8	48.7	.463	2.185
7	8.12	5.5	64	1.5	—	.237	—	65.0	—	4.3	—	.167
8	8.12	3.5	7	3.5	.229	3.182	71.5	74.5	6.5	90.9	.507	4.282
9	8.12	7.5	19	4.5	1.363	3.171	63.0	63.5	18.2	42.3	1.657	4.479
10	8.12	3.0	6	3.0	.054	.677	73.0	72.5	1.8	22.6	.090	2.317
11	8.12	7.5	110	1.5	—	.311	—	183.0	—	4.1	—	.264
12	8.12	4.5	9	4.5	.770	1.627	158.5	165.0	17.1	36.2	1.479	5.545
13	8.13	3.0	8	3.0	—	.455	—	28.0	—	15.2	—	1.197
14	8.13	5.0	30	3.5	.974	.959	58.0	56.5	19.5	19.2	1.479	1.487
15	8.13	3.5	26	2.5	.308	.698	116.0	90.0	8.8	19.9	.553	1.934
16	8.17	10.0	34	4.0	1.217	2.984	219.0	230.5	12.2	29.8	1.313	3.723
17	8.31	52.5	214	5.5	14.686	22.534	592.0	257.0	28.0	42.9	4.991	7.818
18	8.31	6.5	62	2.0	—	.453	—	102.5	—	7.0	—	.387
19	8.31	4.0	35	2.0	—	.162	—	111.0	—	4.1	—	.196
20	9. 1	6.0	56	2.0	.013	.614	228.0	226.0	.2	10.2	.051	2.454
21	9.21	5.5	20	4.5	—	.157	—	51.0	—	2.9	—	.555

— : No surface runoff

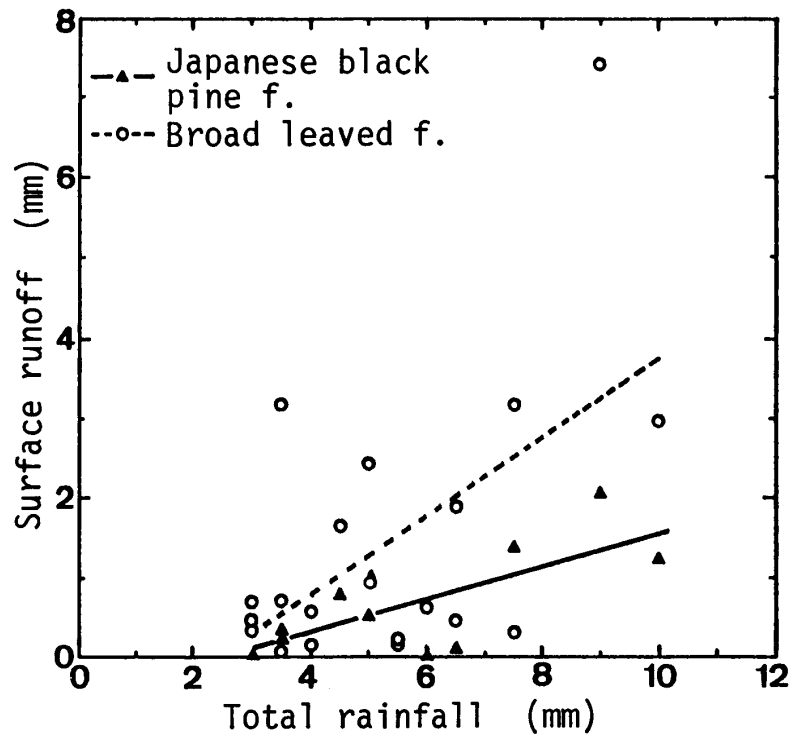


Fig. 5 . Relationship between surface runoff and total rainfall.

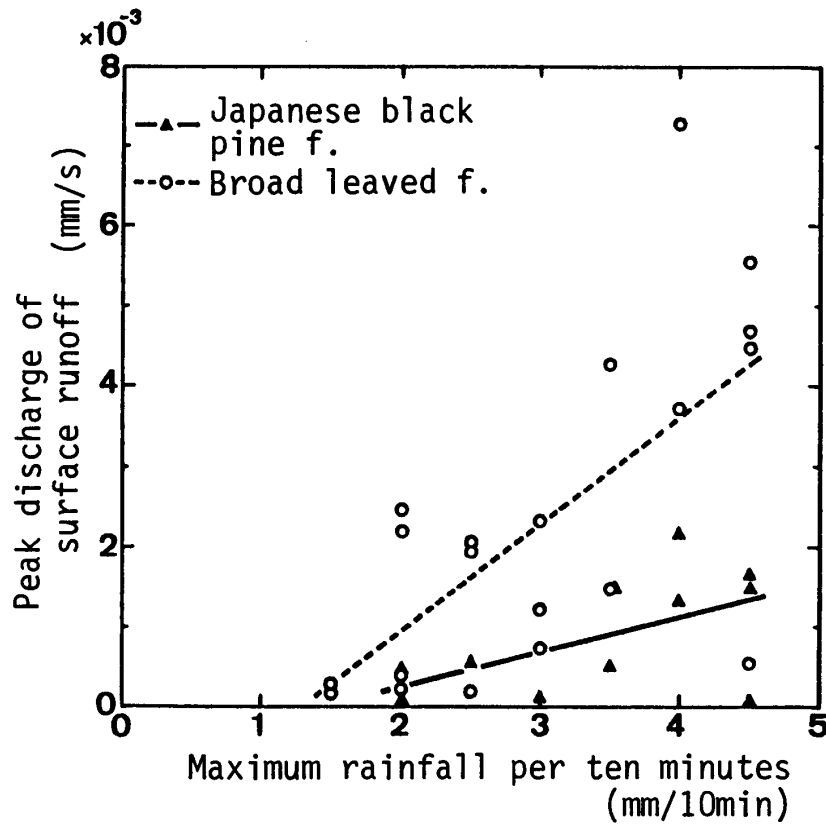


Fig. 6 . Relationship between peak discharge of surface runoff and maximum rainfall per ten minutes.

た値158.5mmのうち表面流として流出した割合はクロマツ林において約14%, 広葉樹林において約32%である。

### (3)表面流出のピーク流量

表面流出のピーク流量と最大10分間雨量の関係をFig. 6に示す。両林分ともばらつきはみられるが、降雨強度が大きいほどピーク流量も大きい。回帰直線でクロマツ林と広葉樹林を比較すると、同程度の降雨強度でもクロマツ林より広葉樹林の方がピーク流量は大きい。

### 3. 表面流出発生の限界降雨強度

Fig. 7は、観測期間の約2ヶ月間に得られたデータを表面流出が発生した場合と発生しなかった場合に分け、クロマツ林と広葉樹林のそれぞれについて10分間雨量と先行降雨量との関係をプロットしたものである。先行降雨量は流域の土壌の湿り具合を表す指標である。Fig. 7の(A), (B)および(C)は、先行降雨量に表面流出発生前(表面流出不発生の場合は最大10分間雨量発生前)の60分間、24時間および10日間の降雨量を採用した場合である。Fig. 7によると、表面流出は、先行降雨量が大きい場合でも、クロマツ林において2.0(mm/10min)未満、広葉樹林において1.5(mm/10min)未満では発生していない。したがって、表面流出発生の最小限界降雨強度はクロマツ林2.0(mm/10min)、広葉樹林1.5(mm/10min)と定められる。

Fig. 7(A)によると、表面流出発生前60分間の先行降雨量が0mmの場合、クロマツ林において3.0(mm/10min)以上、広葉樹林において2.0(mm/10min)以上の降雨で表面流出は発生している。60分間先行降雨量が1mm以上ある場合は最小限界降雨強度で両林分とも表面流出がはじまる。

Fig. 7(B)によると、表面流出発生前24時間の先行降雨量が3mm程度以下の場合、クロマツ林において3.5(mm/10min)以上、広葉樹林において2.0(mm/10min)以上の降雨で表面流出は発生している。24時間先行降雨量が広葉樹林において約10mm以上、クロマツ林において約30mm以上ある場合、表面流出は最小限界降雨強度で発生している。

Fig. 7(C)によると、10日間先行降雨量が10mm程度以下の場合、クロマツ林において5.5(mm/10min)以上、広葉樹林において4.5(mm/10min)以上の降雨で表面流出は発生している。10日間先行降雨量が約100mm以上ある場合は両林分とも最小限界降雨強度で表面流出がはじまる。

河原田、長ら<sup>1)</sup>は、室内において人工降雨装置により、飽和に近い状態にした桜島の降灰を用いて表面流出実験を行い、表面流出発生の限界降雨強度を示している。すなわち、表面流出発生の限界降雨強度は、表面の傾斜が0度、10度、20度の場合に対して、降灰が表面に10mm堆積しているときそれぞれ17, 10, 8(mm/10min)、また降灰が表面に30mm堆積しているときそれぞれ14, 8, 7(mm/10min)であったと報告し、降灰が表層に堆積すると降灰による目詰まり作用のため表面流出が発生しやすくなることを明らかにしている。今回、現地において自然降雨により求めた表面流出発生の限界降雨強度はこれらの値よりさらに小さい値であった。

桜島北側の溪流における土石流観測によると、土石流発生の降雨条件は累加雨量が10mmのとき10分間雨量で5mm程度、20mmのとき3mm程度、40mmのとき2mm程度であるとされ<sup>6)</sup>、小さい降雨条件で土石流が発生していることが示されている。このことは、今回の試験で得られたように、降灰の影響を受けた山地斜面における林地の表面流出発生の限界降雨強度が小さいことと密接に関連しているものと考えられる。

### 4. 生産土砂量

量水装置内に堆積した土砂量の測定結果によると、観測期間1985年8月10日～10月14日の約2ヶ月間に表面侵食により生産された土砂量は、比生産土砂量に換算して、クロマツ林の流域において約

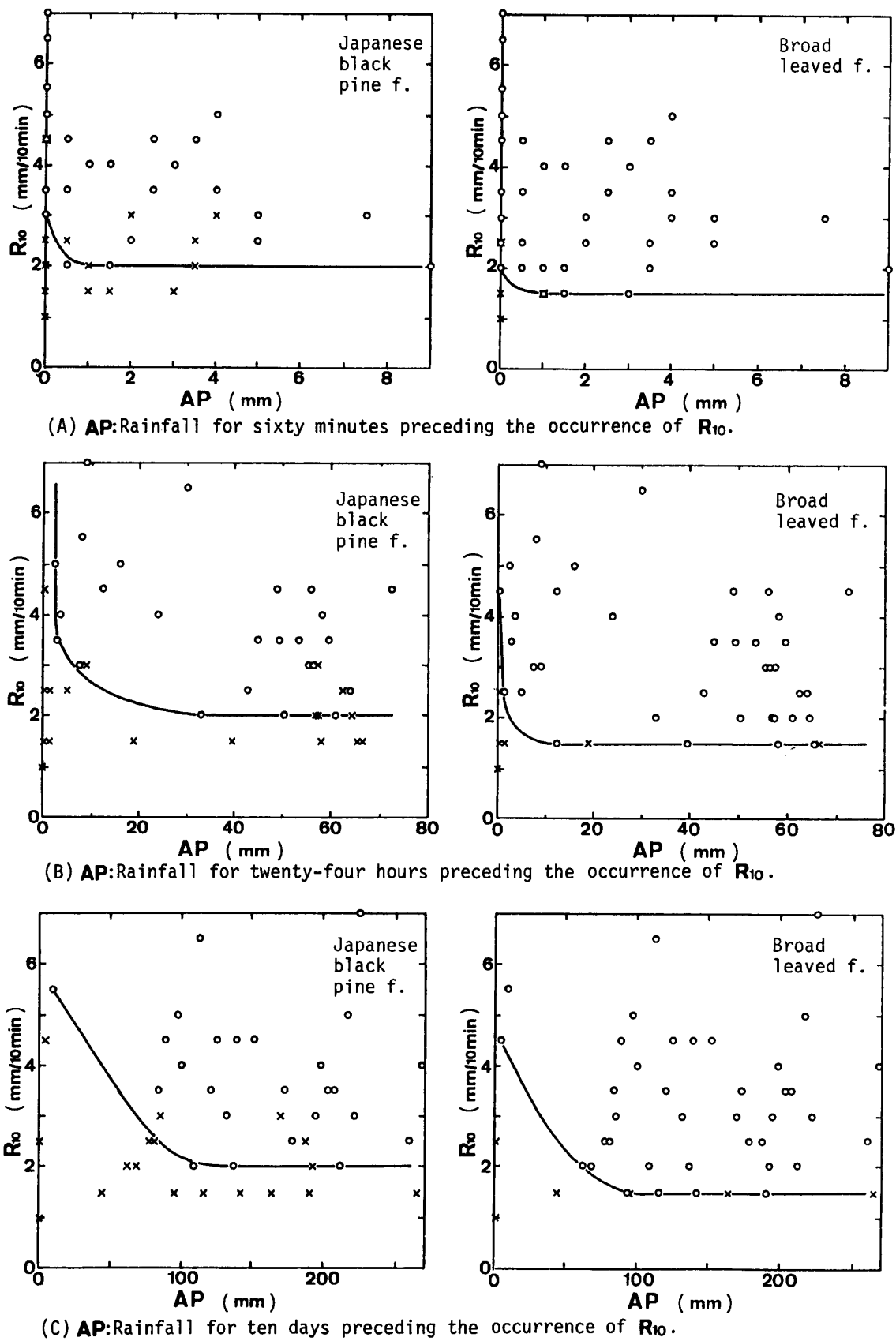


Fig.7. Rainfall conditions at the occurrence of surface runoff.

 $R_{10}$  : Rainfall per ten minutes

○ Occurrence, × Non-occurrence

2,000 ( $\text{m}^3/\text{km}^2$ ), 広葉樹林の流域において約5,500 ( $\text{m}^3/\text{km}^2$ ) であった。広葉樹林からはクロマツ林の約2.8倍の土砂が生産されている。一方, 試験小流域における同期間の降灰量測定結果によると, 1  $\text{km}^2$  当りに換算して約34,000 t (降灰の乾燥単位体積重量を1.4 t /  $\text{m}^3$  として約24,000  $\text{m}^3$ ) であった。したがって, 約2ヶ月の期間において表面侵食により生産された土砂量は, クロマツ林の流域における同期間の降灰量の約8%, 広葉樹林の流域においては約23%に相当している。観測期間の総降雨量は601mmであった。

## 要 約

降灰の影響を受けた山地斜面の表面流出現象を解明するために, 活発な火山活動を続けている桜島の山腹斜面のクロマツ林と広葉樹林において表面流出試験を行った。得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) 広葉樹林はクロマツ林より表面流が発生しやすく, 表面流出量, ピーク流量とも大きい。
- 2) クロマツ林および広葉樹林における表面流出量と総雨量の関係が示された (Fig. 5)。表面流出量は総雨量の増加に伴い増大している。
- 3) 観測期間に得られたひと雨の総雨量の合計値のうち表面流として流出した割合はクロマツ林において約14%, 広葉樹林において約32%であった。
- 4) クロマツ林および広葉樹林における表面流出のピーク流量と最大10分間雨量の関係が示された (Fig. 6)。降雨強度が大きいほどピーク流量も大きい。
- 5) 表面流出は, クロマツ林において2.0 ( $\text{mm}/10\text{min}$ ) 以上, 広葉樹林において1.5 ( $\text{mm}/10\text{min}$ ) 以上で発生しはじめる。表面流出発生の限界降雨強度は流域の土壌の湿潤状態に影響される。
- 6) 桜島山腹斜面においては, 降灰の影響により一般山地とは異なる土壌構造が形成され, そこでの表面流出現象も特異なものとなっている。

## 謝 辞

本研究の一部は昭和60年度文部省科学研究費補助金 奨励研究(A) (課題番号60760120) によったものである。量水装置の水位・流量関係を求める際には, 本学農学部長勝史講師にご協力いただき, ならびに農業水文学研究室の設備を利用させていただいた。現地調査および観測装置設置の際には, 当時本学部学生であった堀与志郎君 (現在, 建設省中部地方建設局), 野元俊秀君 (現在, 建設省中国地方建設局), 森正一君 (現在, 国土防災技術株式会社), および本学部学生, 佐伯孝君にご協力いただいた。ここに記して謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 河原田禮次郎・長勝史: 桜島降灰の表面流出限界降雨強度・桜島地域学術調査協議会調査研究報告 第2集, 174-176 (1985)
- 2) 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)
- 3) 下川悦郎・地頭蘭隆: 桜島におけるリル・ガリー侵食による土砂生産・新砂防, (投稿中)
- 4) 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 (II) . 鹿大農演報, No.15, 39-50 (1987)
- 5) 福山博之・小野晃司: 桜島火山地質図・地質調査所, (1981)
- 6) (財) 水利科学研究所: 桜島地区民有林直轄治山事業 土石流形態調査報告書, 1-84, 熊本宮林局鹿児島宮林署 (1986)

### Summary

Sakurajima, a volcano standing at the center of the Kagoshima bay in Southern Kyushu, has been characterized by the explosive volcanic activities. Investigation were carried out on the surface water running down along the hillside slopes of the volcano, called Sakurajima. The investigations aimed at making clear some features of the surface runoff along the hillside slopes covered with volcanic ash. Some hydrological observations were executed in the experimental catchments fixed at a japanese black pine forest and at a broad leaved forest on the northern slopes of Sakurajima. The results are summarized as follows :

- 1) In the broad leaved forest, both the amount and the peak discharge of the surface runoff were greater than those in the japanese black pine forest.
- 2) A positive correlationship was noted between the amount of the surface runoff and that of the rainfall (Fig.5 ).
- 3) The ratio of the total volume of the surface runoff to that of the rainfall was about 14 per cent in the japanese black pine forest, being about 32 per cent in case of the broad leaved forest.
- 4) A positive correlationship was noted between the peak discharge of the surface runoff and the rainfall intensity (Fig.6 ).
- 5) In the japanese black pine forest, the surface runoff was launched simultaneously with the rainfall intensity exceeding 2.0 mm in ten minutes, in case of the broad leaved forest, the ceiling being 1.5 mm in ten minutes. However, the maximum rainfall intensities at the occurrence of the surface runoff were subject to the moisture conditions of the catchment.
- 6) The unique making of the hillside slopes due to the deposited volcanic ash was assumed to be a motivating cause of such a singular phenomenon of surface runoff.