

桜島における表面流の観測*

地頭蘭 隆**・下川悦郎**・永田 治**・寺本行芳**

平成10年6月30日 受理

抄 録

桜島は、1955年から40年以上の長期にわたり火山灰を放出する火山活動を続けている。その結果、山腹には多量の火山灰が堆積して浸透能が低下し、表面流が頻繁に発生している。また表面流に起因した侵食、崩壊、土石流も起こっている。火山灰に被覆された斜面の表面流の発生や流出特性、降灰活動の盛衰が表面流の発生や流出に及ぼす影響等を解明するために、桜島の引ノ平川流域と西道川流域の2箇所に表面流を観測する装置をセットした。

本論では、表面流観測を開始した試験流域の地形・地質・土層・植生の調査結果と表面流の観測方法について述べた。さらに1996～1997年に得られた観測データを使用して、表面流の流出特性について若干の検討を行った。

キーワード：桜島火山、降下火山灰、表面流、浸透能、現地調査

はじめに

桜島は1955年から40年以上にわたって火山ガスや火山灰を放出している。その結果、山腹には多量の火山灰が堆積して浸透能が低下し、表面流が頻繁に発生している。また表面流に起因した侵食、崩壊、土石流も起こっている。火山活動が長期化する中で、山腹での表面流、侵食、土石流等の発生や特性がどのように推移するかを明らかにすることは、今後の火山地域での防災計画や防災施設の構造・設計の基礎的データとして重要であると考えられる。

著者らは、これまで桜島において、地形の発達や侵食土砂量等に関する調査（下川・地頭蘭，1987 a, 1987 b, 1987 c），河川での土石流・出水の観測（春山ほか，1984；春山ほか，1987；Jitousono and Shimokawa，1989；地頭蘭・下川，1991；地頭蘭ら，1997），山腹での表面流の観測（地頭蘭・下川，1987, 1989）等を行っている。観測機器が常時火山灰や火山ガスにさらされる桜島のような場所で水文気象観測を継続することは非常に困難を伴う。過去に実施した表面流の観測も火山灰の影響による装置の故障や消耗により短期間で中止せざるを得なかった。今回、表面流の観測装置を長期観測に耐えられるように改良して桜島の2箇所に設置した。設置から2年が経過し、順調にデータが得られている。ここでは、表面流観

測を開始した試験流域の地形・地質・土層・植生の調査結果、表面流の観測方法、2年間の観測データについて中間報告する。

試験流域

表面流観測を開始した試験流域は、引ノ平川流域および西道川流域に位置する2つの小集水域（以下、引ノ平試験

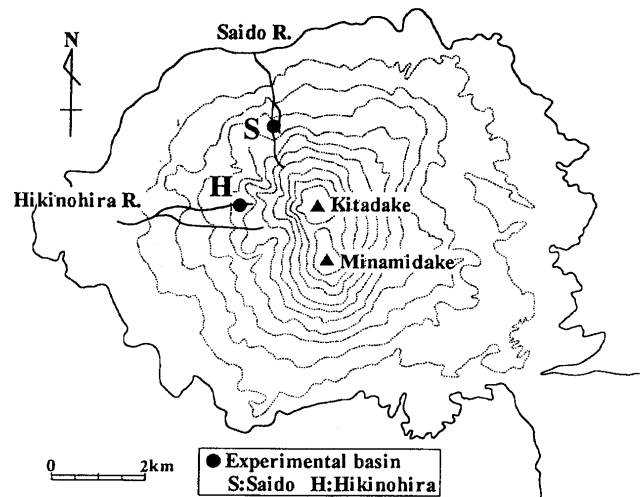


Fig. 1 Location of experimental basins.

図1 試験流域の位置

*JITOUSONO, T., SHIMOKAWA, E., NAGATA, O. and TERAMOTO, Y. : Observation of Surface Runoff on Mountainsides Covered by Ash Fall Deposits on Sakurajima Volcano

**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

流域および西道試験流域と呼ぶ)である (Fig. 1)。以下、2つの試験流域の地形、地質、土層、植生等の調査結果について述べる。

1. 引ノ平試験流域

引ノ平試験流域 (Photo. 1) は、桜島南岳から北西約2 km地点に位置している。試験流域の設置は1996年2月で

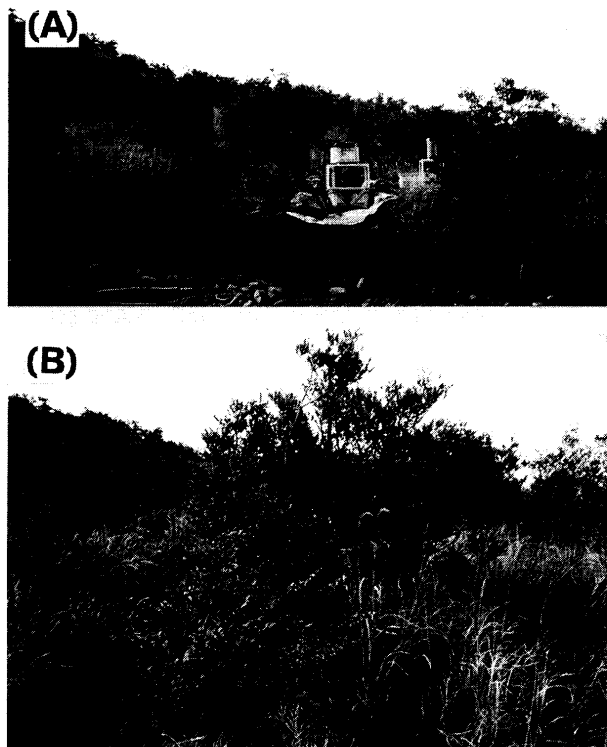


Photo. 1 Hikinhira experimental basin.

写真1 引ノ平試験流域

(A) 全景 (B) 流域内の植生 (ヒサカキ, ススキなど)

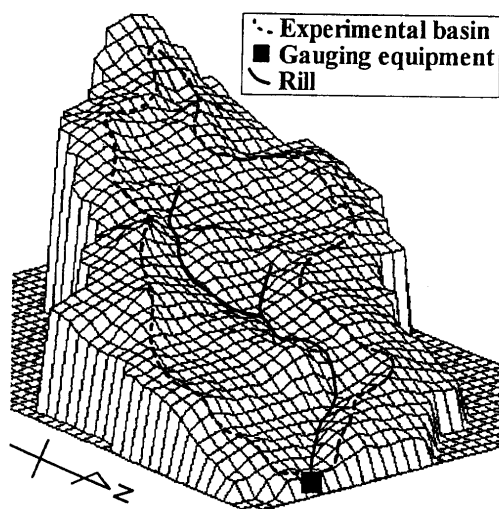


Fig. 2 Topography of Hikinhira experimental basin. Superposed grid is 1m × 1m.

図2 引ノ平試験流域の地形
メッシュ間隔は1 m

ある。Fig. 2は地形測量から求めた地形図に1 m間隔のメッシュをかけて作成した試験流域の立体図である。試験流域の分水界は現地調査と地形測量結果に基づき決定した。試験流域は標高416~421mに分布し、集水面積は125 m²である。試験流域の中央には比較的明瞭なリルが発達している。試験流域の縦断勾配は約12度である。

Fig. 3は地形測量と同時にに行った試験流域内の樹木の分布図である。試験流域の主な樹木は低木のヒサカキとツツジ類であり、その間にススキが生えている。また地表面には落葉層はほとんどなく、火山灰が露出している。

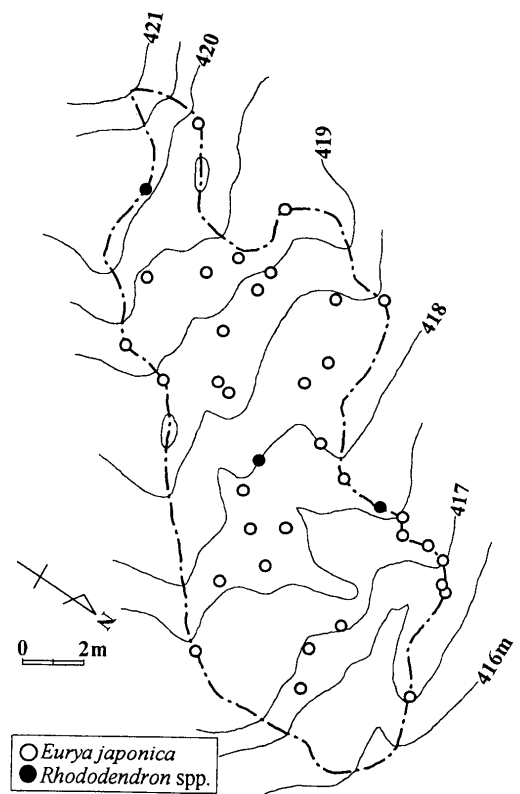


Fig. 3 Spatial distribution map of vegetation in Hikinhira experimental basin.

図3 引ノ平試験流域の植生分布

Fig. 4は試験流域の土層断面を示したものである。試験流域は南岳に近く、火山灰に厚く覆われている。現在の活動が始まった1955年以降の火山灰層厚は100cmに達している。10cm間隔で測定した土壌硬度をみると、表面に近い部分で大きい。これは南岳の火山灰噴火活動が1972年以降活発化し、細粒の火山灰が急速に堆積したことによる。

2. 西道試験流域

西道試験流域 (Photo. 2) は、桜島南岳から北北西約3 km地点に位置している。試験流域の設置は1996年1月である。Fig. 5は引ノ平試験流域と同様の方法により作成

した試験流域の立体図である。試験流域は標高352～368mに分布し、集水面積は836 m^2 である。試験流域の下流中央には比較的明瞭なリルが発達している。試験流域の縦断勾配は約12度である。

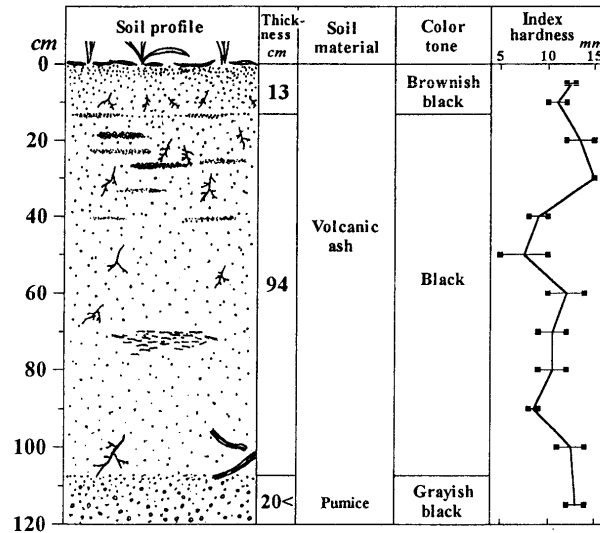


Fig. 4 Soil profile in Hikinohira experimental basin.

図4 引ノ平試験流域の土層断面

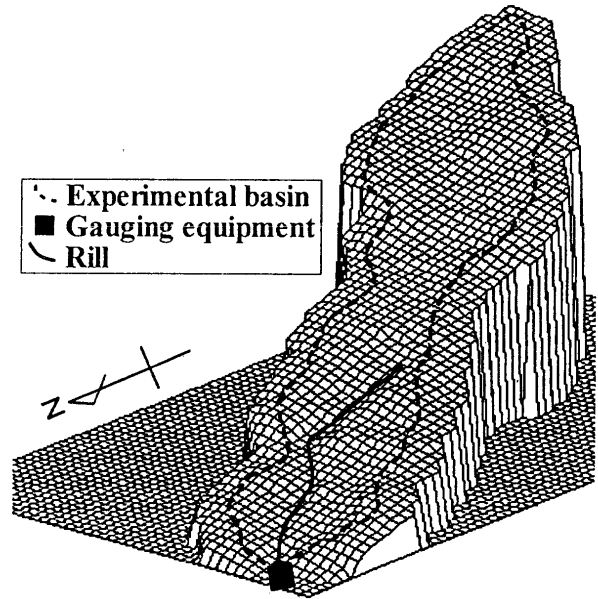


Fig. 5 Topography of Saido experimental basin. Superposed grid is 1m \times 1m.

図5 西道試験流域の地形
メッシュ間隔は1m

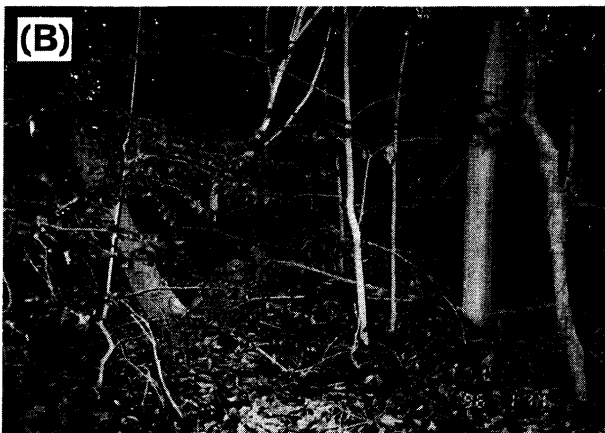
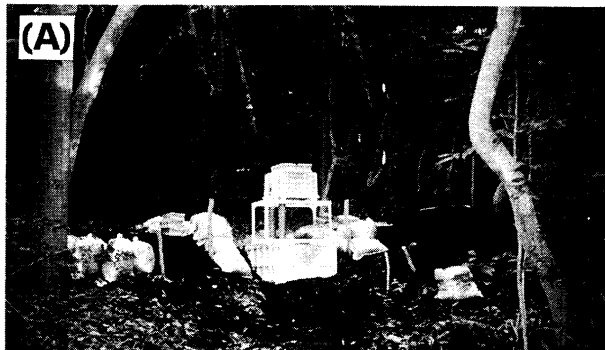


Photo. 2 Saido experimental basin.

写真2 西道試験流域

(A)全景 (B)流域内の植生(マテバシイ、ヤブツバキなど)

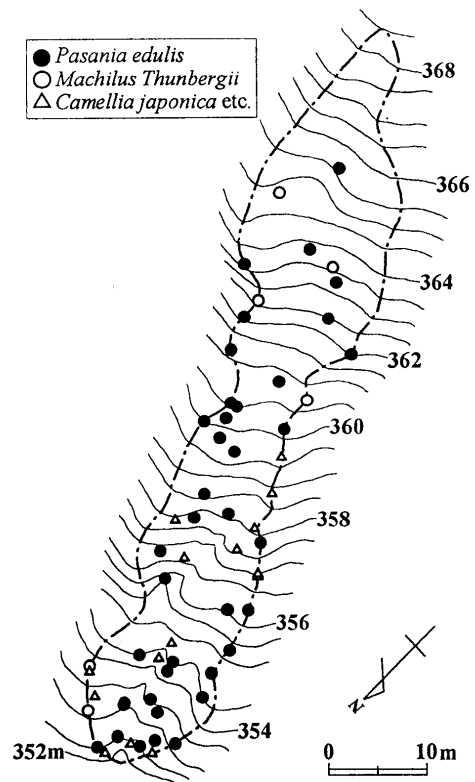


Fig. 6 Spatial distribution map of vegetation in Saido experimental basin.

図6 西道試験流域の植生分布

試験流域の主な樹木は、高木のマテバシイ、タブノキ、低木のヤブツバキ、ヒサカキ、ネズミモチ、ハクサンボク、クロキ等である（Fig. 6）。地表面は厚さ3～5cmの落葉層に覆われている。

Fig. 7は試験流域の土層断面を示したものである。1955年以降の火山灰層厚は約50cmであり、引ノ平試験流域に比べて薄い。また土層内には樹木の根が発達し、土壌硬度は引ノ平試験流域よりやや小さい。

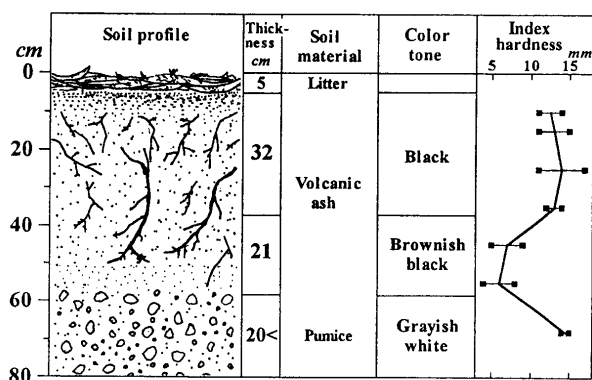


Fig. 7 Soil profile in Saïdo experimental basin.

図7 西道試験流域の土層断面

観測方法

2つの試験流域においてそれぞれ降雨量および表面流出量の観測を行った。

表面流の観測に用いている量水装置をPhoto. 3に示す。量水装置は、大型のプラスチックコンテナ（長さ100



Photo. 3 Gauging equipment of surface runoff.

写真3 表面流観測装置

cm, 幅70cm, 深さ60cm)を2台連結し、下流側のコンテナに頂角90度の刃型三角せきを取り付けたものである。下流側のコンテナにフロート式の自記水位計を取り付け、三角せきの越流水深を測定している。上流側のコンテナは沈砂池の役割と同時に表面侵食による土砂量の測定に利用している。2台のコンテナの連結部分には波消しのために金網の仕切り板を設けている。

雨量観測は、それぞれの試験流域の近くに設置した1回転倒0.5mmの転倒ます型雨量計で行い、測定間隔は1分とした。

また、火山活動の指標値として、降下火山灰量を雨量計の横に設置したプラスチックコンテナ（長さ61cm, 幅41cm, 深さ31cm）で採取した。43日ごとの水位計の記録紙交換時にコンテナ内に堆積した火山灰を採取し、その炉乾燥重量を求めた。

火山活動と降下火山灰量

桜島の現在の火山活動は火山灰噴火であり、1955年の開始以来40年以上続き、特に1972年以降一層活発となってきている。Fig. 8は1955年から1997年までの桜島火山の年間爆発回数（鹿児島地方気象台, 1955～1997）の推移を示したものである。1972年以降の年間爆発回数はほとんどが100回以上という高い数字で推移しており、特に1985年には年間爆発回数474回を記録、1955年以降最高の値となった。表面流の観測を開始した1996年の年間爆発回数は171回、1997年のそれは1972年以降の最も少ない35回を記録している。

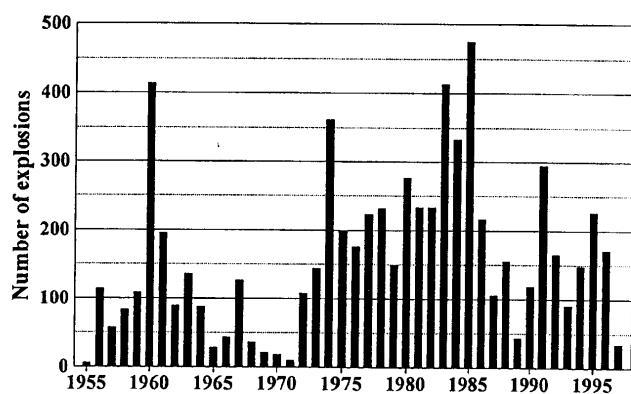


Fig. 8 Change in number of explosions of Sakurajima volcano.

図8 桜島の爆発回数の推移

Fig. 9は試験流域で観測している降下火山灰量を観測時から累加して経時的に示したものである。図中には年間爆発回数の推移も示している。1996年の1月から3月までは

火山活動が活発であり、両試験流域とも急激に火山灰量が増加している。その後は穏やかな状態が続き、火山灰量はゆるやかに増加している。2試験流域の火山灰量を比較すると、南岳に近い引ノ平試験流域が西道試験流域より多くなっている。

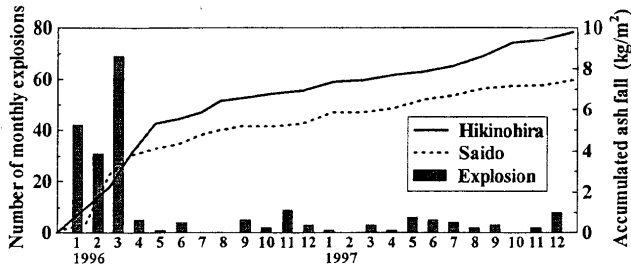


Fig. 9 Variations of ash fall in experimental basins.

図9 試験流域における降下火山灰量の推移

表面流の発生と流出

1. 解析方法

量水装置で測定された水位は水位・流量関係式により流量に変換され、流域からの流出量が計算される。水位の流量への変換は直角三角せきの流量算定式より算出した。直角三角せきの流量算定式は次式で与えられる（土木学会，1985）。

$$Q = Ch^{5/2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$C = 1.354 + \frac{0.004}{h} + \left[0.14 + \frac{0.2}{\sqrt{W}} \right] \left[\frac{h}{B} - 0.09 \right]^2 \quad \dots (2)$$

ここで、 Q ：越流量（ m^3/s ）， h ：越流水深（ m ）， C ：流量係数（ $\text{m}^{1/2}/\text{s}$ ）， W ：水路底面からノッチ下端までの高さ（ m ）， B ：水路の幅（ m ）である。なお、 $W = 0.3\text{m}$ ， $B = 0.7\text{m}$ である。

2試験流域とも普段は流水がなく、降雨時のみ流出が生じている。したがって、得られるハイドログラフはほとんど表面流出による成分であると考えられる。この表面流出ハイドログラフは変動が激しいことから1分単位で作成し、以下の諸量を求めた。①総雨量（ mm ）：流出が発生している期間内の降雨総量。②降雨継続時間（ min ）。③最大雨量（ mm ）：1分単位で測定した降雨記録から求めた流出期間内における1分間、2分間、3分間、5分間、10分間あたりの最大雨量。④表面流出量（ mm ）：表面流出ハイドログラフにおいて流量を積分して求められる流出量。⑤表面流出継続時間（ min ）：流出が発生している間の継続時間。⑥表面流出率（ $\%$ ）：総雨量のうち表面流として流出する割合。⑦ピーク流量（ mm/hr ）：ハイドログラフにおける最大流量。⑧先行雨量（ mm ）：表面流発生前の60分間、24時間および10日間の降雨量。

2. 表面流発生の降雨条件

表面流発生時の10分間雨量を求め、経時的に示した（Fig. 10）。図中の記号の大きさは表面流発生前の24時間先行雨量の大きさに対応させている。先行雨量が大きいとき、すなわち流域が湿っているときの方が表面流発生の降雨条件が小さい。2試験流域の表面流発生の最小限界降雨強度は $1.5\text{mm}/10\text{min}$ 前後である。引ノ平試験流域と西道試験流域を比較すると西道試験流域がわずかに小さい。西道試験流域の地表面にはマテバシイ等の落葉が厚さ3～5cm堆積しており、量水装置近くの落葉層に滴下した雨水がそのまま装置内に流入することもある。これを表面流発生と記録している場合があり、今後検討を要する。

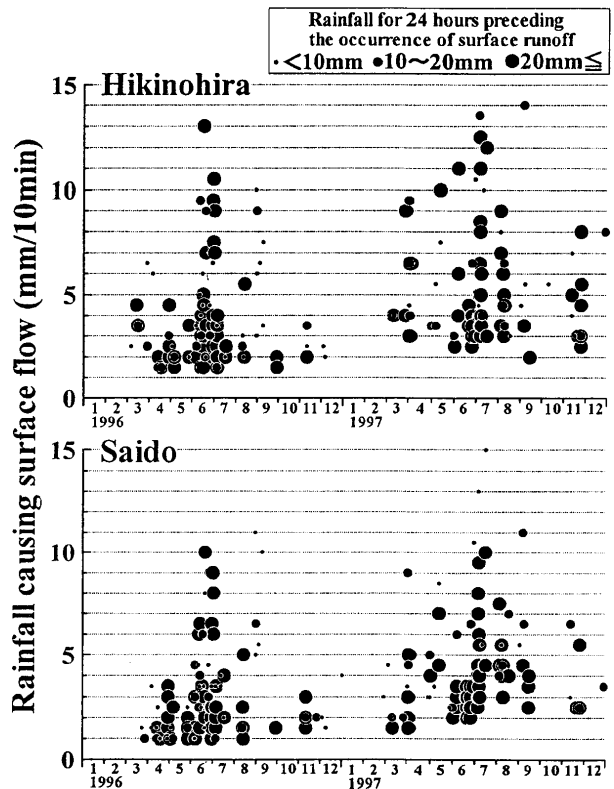


Fig. 10 Variation of rainfall causing surface flow.

図10 表面流発生時の10分間雨量の経時変化

桜島山腹のクロマツ林と広葉樹林においては、1985年と1987年に表面流の観測を行っている（地頭菌・下川，1987，1989）。この時の表面流発生の最小限界降雨強度は $1.5 \sim 2.0\text{mm}/10\text{min}$ の値が得られており、今回も同様の値となった。

Fig. 10において、1996年と1997年の表面流発生の最小限界降雨強度を比較すると1997年がやや大きい。Fig. 9に示したように、表面流観測を開始した1996年の初めは火山活動が活発であり、両試験流域とも急激に火山灰量が増加

し、その後は穏やかな状態が続いている。2年間とまだ観測期間が短い、降下火山灰量の変化が1996年と1997年の表面流発生最小限界降雨強度の変化に関係していると思われる。

3. 表面流の流出特性

1996年および1997年に得られた一雨ごとの表面流出データは、引ノ平試験流域で1996年104個、1997年85個、西道試験流域で1996年111個、1997年94個であった。

Fig. 11は引ノ平試験流域と西道試験流域で得られた同期間のハイドログラフを比較した例である。両試験流域ともハイドログラフとハイレートグラフの波形がよく対応している。しかし、両試験流域のハイドログラフの形状には違いがみられる。このことを詳細にみるために、2年間に得られた表面流の比流量の時間的変化を起点を同じにして示した (Fig. 12)。引ノ平試験流域は表面流出量、ピーク流量ともに西道試験流域に比較して大きいことがわかる。

表面流出と降雨の関係を解析した。その例として、表面流出量と総雨量の関係を Fig. 13に、表面流のピーク流量と最大10分間雨量の関係を Fig. 14に示す。両試験地とも総雨量の増加に伴い表面流出量も増加し、また降雨強度の増加に伴いピーク流量も増加している。両試験地の関係分布を比較すると、引ノ平試験流域は西道試験流域に比較して同じ総雨量や降雨強度でも表面流出量やピーク流量が大きくなっている。

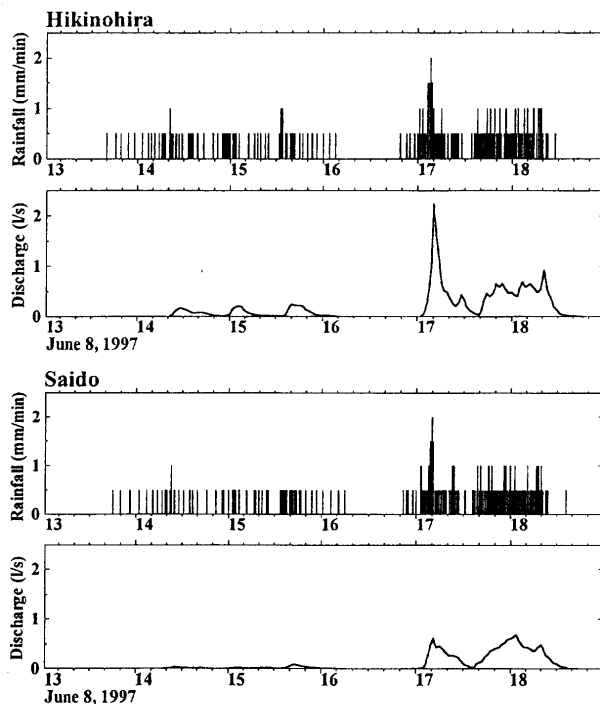


Fig. 11 Examples of observed hydrographs of surface flows

図11 表面流出ハイドログラフの例

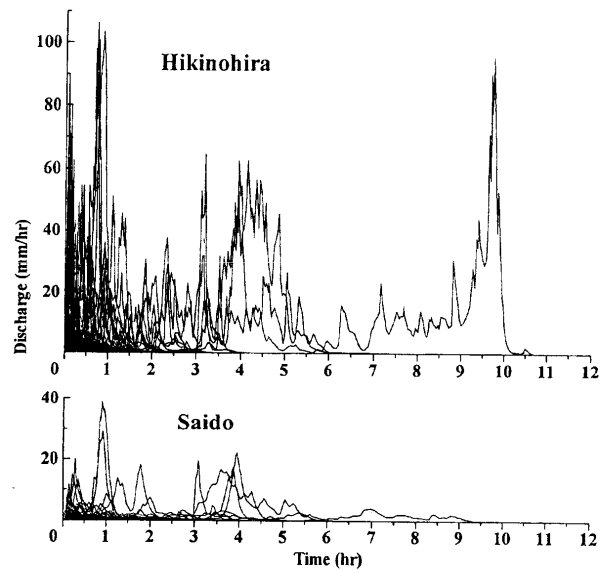


Fig. 12 Discharge variations of surface flow with time.

図12 表面流の流量の時間的変化

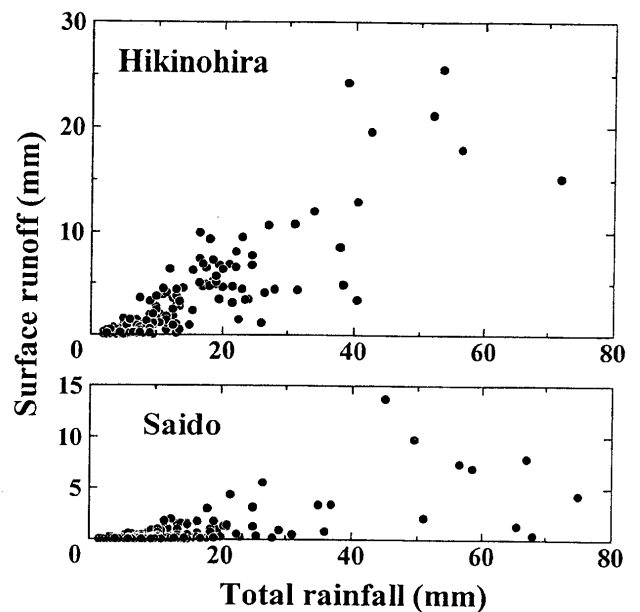


Fig. 13 Relationships between surface runoff and total rainfall.

図13 表面流出量と総雨量の関係

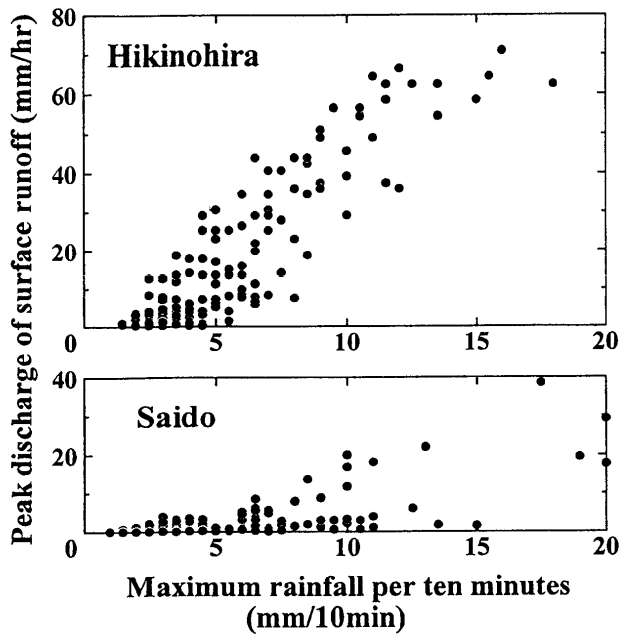


Fig. 14 Relationships between peak discharge of surface flow and maximum rainfall per ten minutes.

図14 表面流のピーク流量と最大10分間雨量の関係

Fig. 15は表面流出率を総雨量の大きさで分類して経時的に示したものである。引ノ平試験流域は西道試験流域に比較して同じ程度の総雨量でも表面流出率が高くなっている。1996年と1997年の表面流出率を比較すると、同じ程度の総雨量でも1997年より1996年の方が高い。

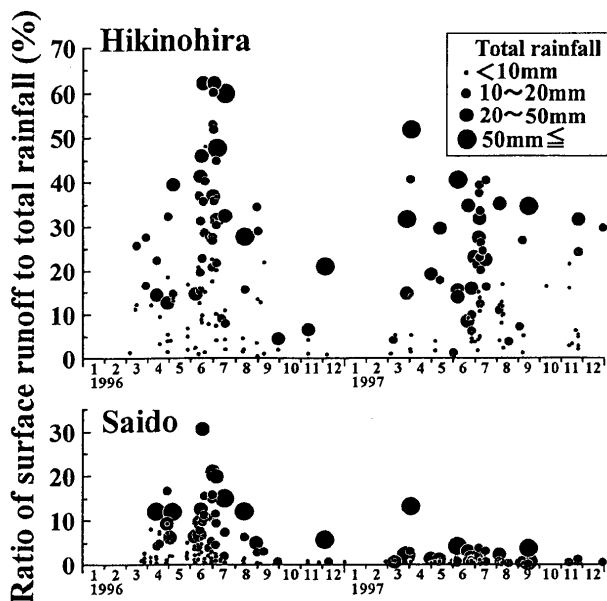


Fig. 15 Variation of ratio of surface runoff to total rainfall.

図15 表面流発生時の10分間雨量の経時変化

以上のような引ノ平試験流域と西道試験流域の表面流出特性の違いは土層構造や植生の違いに関係している。前述したように、引ノ平試験流域は低木のヒサカキとススキがまばらに分布した流域であり、地表面には落葉層がほとんどなく、火山灰が露出して固い状態にある。一方、西道試験流域はマテバシイ、タブノキ等の高木の林であり、地表面には厚さ3~5cmの落葉層が発達している。表層の火山灰層内には樹木の根系が発達している。また、高木の林である西道試験流域では、樹冠遮断による降雨損失や雨水流出の遅れもある。今回の2試験流域の観測結果からみるかぎり、こうした降灰のある活火山地域における表面流の発生やその流出特性は上述したような流域条件にかなり強く影響されるのではないかと考えられる。

おわりに

桜島は1955年から40年以上にわたって火山ガスや火山灰を放出している。観測機器が常時火山灰や火山ガスにさらされる場所で水文気象観測を継続することは非常に困難を伴う。今回、表面流の観測装置を長期観測に耐えたるように改良して桜島の2箇所に設置した。ここでは、表面流の観測流域の概要、観測方法、2年間の観測データについて中間報告した。表面流の観測は今後も継続し、表面流の発生・流出と火山活動の盛衰との関係等を解析する予定である。

謝 辞

末筆ではあるが、表面流観測装置や雨量計の設置においては熊本営林局鹿児島営林署のご協力を頂いた。また、表面流観測装置設置の際は当時研究室に所属していた金子錦司君、千田浩司君、岩元賢司君にご協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 土木学会：水理公式集—昭和60年版—，土木学会，284-285 (1985)
- 2) 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，砂防学会誌（新砂防），37(2)，22-27 (1984)
- 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 II，鹿児島大学農学部演習林報告，15，39-50 (1987)
- 4) 地頭蘭隆・下川悦郎：桜島山腹斜面における表面流出特性，鹿児島大学農学部演習林報告，15，51-61 (1987)
- 5) 地頭蘭隆・下川悦郎：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), 42(3), 18-23 (1989)
- 6) Jitousono, T. and Shimokawa, E.: Debris flows in northern flank of Sakurajima volcano, Proc. Int. Symp. on Erosion and Volcanic Debris Flow Technology, Indonesia, V24・1-20 (1989)
 - 7) 地頭蘭隆・下川悦郎: 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), 43(6), 9-15 (1991)
 - 8) 地頭蘭隆・下川悦郎・寺本行芳: 桜島における土石流河川の流出特性, 鹿児島大学農学部演習林研究報告, 25, 9-20 (1997)
 - 9) 鹿児島地方気象台: 桜島火山観測資料 (1955～1997)
 - 10) 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, 砂防学会誌 (新砂防), 39(6), 11-17 (1987 a)
 - 11) 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, 砂防学会誌 (新砂防), 40(1), 19-24 (1987 b)
 - 12) 下川悦郎・地頭蘭隆: 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, 8 (4), 269-286 (1987 c)

Summary

The present volcanic activity of Sakurajima volcano started in 1955 and for more than 40 years since then eruptions with emission of ash have been continuous. As a result, infiltration capacity has become lower and surface runoff has increased on the mountainsides covered by ash fall deposits. Erosion, slope sliding and debris flow caused by the surface flow have frequently occurred at the time of rainfall. In order to research the rainfall conditions causing surface flow and the characteristics of surface runoff on mountainsides covered by ash fall deposits, and the effects of the temporal variation of ash fall activity on them, observation facilities of surface flow were established in the Hikinohira and Saido river basins of Sakurajima volcano.

In this paper, the environmental conditions (topography, geology, soil and vegetation) of the experimental basins based on a field survey and the method of surface flow observation are described. Also, analyzing the hydrologic data obtained in the two basins during the period from 1996 to 1997, some characteristics of surface runoff were found.

Key words: Sakurajima volcano, Ash fall, Surface flow, Infiltration capacity, Field survey