

## 桜島における土石流河川の流出特性\*

地頭蘭 隆\*\*・下川悦郎\*\*・寺本行芳\*\*

### 抄 録

桜島は1955年以来活発な火山活動を続けており、山体頂部は火山灰や火山ガスにより植生が後退し、非常に荒廃した状態にある。新旧の火山噴出物からなる山体は侵食されやすく、降雨時には土石流・出水により多量の土砂が流出している。著者らは桜島で発生している土石流・出水の特性を明らかにするとともに、それらによる流出土砂量を予測するために、北岳山体の西道川と南岳山体の有村川において土石流・出水の観測を開始した。観測システムは、超音波式水位計による土石流・出水の水位観測、ビデオカメラによる動態観測、転倒ます型雨量計による雨量観測からなる。

本論では、1991～1996年に得られた観測結果に基づき、西道川および有村川の流出特性、流出土砂量について検討する。得られた結果をまとめると次のようである。

- (1) 西道川と有村川における土石流・出水の流出時間は、西道川1.4～16.6時間、有村川0.2～6.6時間であり、西道川は有村川に比べて流出時間が長い。ピーク流量は降雨条件が同程度でも西道川より有村川で大きく、その平均値は西道川 $9.2\text{ m}^3/\text{s}$ 、有村川 $20.6\text{ m}^3/\text{s}$ であった。一方、総流出量は有村川より西道川で大きく、その平均値は西道川 $34,868\text{ m}^3$ 、有村川 $19,972\text{ m}^3$ であった。これらは、地形、地質・地層構造、地表面の状態、侵食状況などの違いに関係している。
- (2) 西道川水位観測地点において出水のサンプルを採取し、その土砂濃度を測定した。その結果によれば、この場合の土砂濃度は流量の変化とよく対応し、両者の関係は両対数方眼紙上で直線で表された。
- (3) 土砂濃度－流量曲線が、1993～1996年の土石流・出水に適用されるものとして、土砂流量のハイドログラフを求め、個々の土石流・出水の流出土砂量を算出した。1993～1996年の4年間の比流出土砂量の平均値を求めると、西道川流域 $16,344\text{ m}^3/\text{km}^2$ 、有村川流域 $20,363\text{ m}^3/\text{km}^2$ となり、比流出土砂量は西道川より有村川で大きい。
- (4) 土石流・出水による総流出量の合計から土砂流出量を差し引き、雨水流出量を求めた。年流出率（年降水量に対する雨水流出量の比）は、西道川は11～27%の範囲で平均約16%、有村川は西道川より小さく3～8%の範囲で平均約6%であった。

キーワード：桜島，土石流，出水，流出特性，流出土砂量

### は じ め に

1955年以来火山活動を続けている桜島は、火山灰や火山ガスにより山腹の森林植生が破壊され、荒廃が著しい。また、浸透能の極端な低下により増大した表面流は山体を激しく侵食し、深く刻まれた溪流ではわずかな雨で土石流が発生している。著者らは、桜島においてこれまで侵食の実態や土砂量（下川・地頭蘭, 1987a, 1987b, 1987c）、表面流の特性（地頭蘭・下川, 1987, 1989）、土石流の特性（春山ほか, 1984；春山ほか, 1987；Jitousono and

Shimokawa, 1989；地頭蘭・下川, 1991）等に関する調査研究を行ってきている。その結果のひとつとして、桜島における侵食、表面流、土石流の特性は、火山活動の盛衰、火山活動の影響期間の差、流域の地形地質、流域の荒廃状況等によって流域ごとに異なることが推測された。

本研究は、活発な火山灰噴火を繰り返している南岳の山体と、南岳より相対的に古い火山であり、活動を休止している北岳の山体にそれぞれ試験流域を設け、その流出特性を比較したものである。この研究は、火山体にお

\* JITOSONO, T., SHIMOKAWA, E. and TERAMOTO, Y.:  
Runoff Characteristics of Debris Flows and Floods Surrounding Mt. Sakurajima

\*\* 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

ける水文特性を明らかにするだけでなく、火山地域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も重要である。

## 試 験 流 域

試験流域は北岳山体の西道川流域と南岳山体の有村川流域である (Fig. 1)。Fig. 2 は、両流域の5,000分の1地形図に50m間隔 (地形図上で10mm間隔) のメッシュをかけ、格子点の標高を求めて作成した流域の立体図である。流域面積は西道川流域1.43km<sup>2</sup>、有村川流域2.46km<sup>2</sup>である。

Fig. 3 は、5,000分の1地形図にかけられた50m間隔のメッシュにおいて、各グリッド内の等高線本数を数えて作成した傾斜分布図である。流域内グリッド数で平均して流域平均傾斜を計算すると、西道川流域31.5度、有村川流域29.0度であり、西道川流域の傾斜がやや大きい。

Fig. 4 は、5,000分の1地形図から求めた両流域の本川の縦断面図である。平均の縦断面勾配は両流域とも約17度である。しかし標高約300m以上の中上流部の縦断面勾配を求めると西道川約23度、有村川約27度であり、有村川の溪流勾配がやや大きくなっている。

地質に関しては、北岳山体に位置する西道川流域は火山碎屑物、新旧の溶岩、扇状地堆積物から構成されている (福山・小野, 1981)。また流域一帯では文明・安永・大正の大爆発による降下軽石層の厚い堆積物がみられる。南岳山体に位置する有村川流域も火山碎屑物、溶岩、扇状地堆積物から構成されているが、西道川流域に比べて相対的に新しい地質である。また活発な火山灰噴火を続けている南岳の影響を強く受けており、流域内には火山灰が厚く堆積していると思われる。

植生に関しては、西道川流域は標高500~700mを境にしてそれ以下ではクロマツ林と広葉樹林、それ以上は低木を散在状に含むススキ草地、さらに山頂付近は裸地となっている。有村川流域は標高400~500mを境にして、それ以下ではクロマツ林と広葉樹林、それ以上はススキ草地が少しみられ、あとは山頂まで裸地である。

## 方 法

### 1. 土石流・出水の観測

両試験流域の最下流に超音波式水位計を設置して土石流・出水の水位観測を西道川では1991年5月、有村川では1992年10月に開始した。両流域の超音波式水位計の設置状況を Photo. 1 に示す。超音波式水位計を設置している地点は両河川ともコンクリート三面張り水路であり、底面幅は西道川10m、有村川17mである。

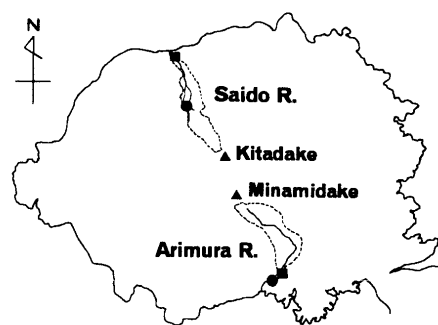


Fig. 1 Location of experimental basins.

■ Station of water level gauge ● Rain gauge  
図1 試験流域の位置  
■超音波式水位計 ●雨量計

超音波式水位計は、送受波器から発射された超音波が水面により反射してくる時間を測定し、水面を検出する非接触型の水位計であり、フロート式や水圧式等の水位計では観測が困難な土石や土砂を含む土石流の水位測定も可能である。

雨量は、西道川流域では流域中腹部の標高433m地点、有村川では下流部の標高47m地点で観測している。

### 2. 流出解析

超音波式水位計により測定された土石流・出水の水位は記録紙に連続的に記録される。記録された水位データはデジタイザによってコンピューターに入力し、流量に変換される。水位から流量への変換は、観測地点におけるビデオカメラによる土石流・出水の画像から求めた水位・流量関係を使用している。土石流・出水の流量と雨量から、次のような土石流・出水の流出に関わる諸量を算出した。①総雨量 (mm): 流出終了までの一連続降雨の総量。②降雨継続時間。③最大雨量 (mm): 10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10分間、20分間、30分間、60分間あたりの最大雨量。④総流出量 (m<sup>3</sup>): 土石流・出水の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流出継続時間: 流出が発生している間の継続時間。⑥流出率: 総雨量に対する土石流・出水の総流出量の比。⑦ピーク流量 (m<sup>3</sup>/s): ハイドログラフにおける最大流量。

### 3. 土石流・出水の土砂濃度の測定

土石流・出水による流出量は雨水流出成分と土砂流出成分から構成される。土石流・出水の土砂濃度がわかれば両成分が分離され、流出土砂量を算出できる。西道川下流において土石流・出水のスラリーのサンプルを採取し、その土砂濃度を測定した。サンプル採取方法は、水路を横断して張ったロープ中央部に滑車を取り付け、この滑車によりサンプラーを人力で上昇下降させ、土石流・

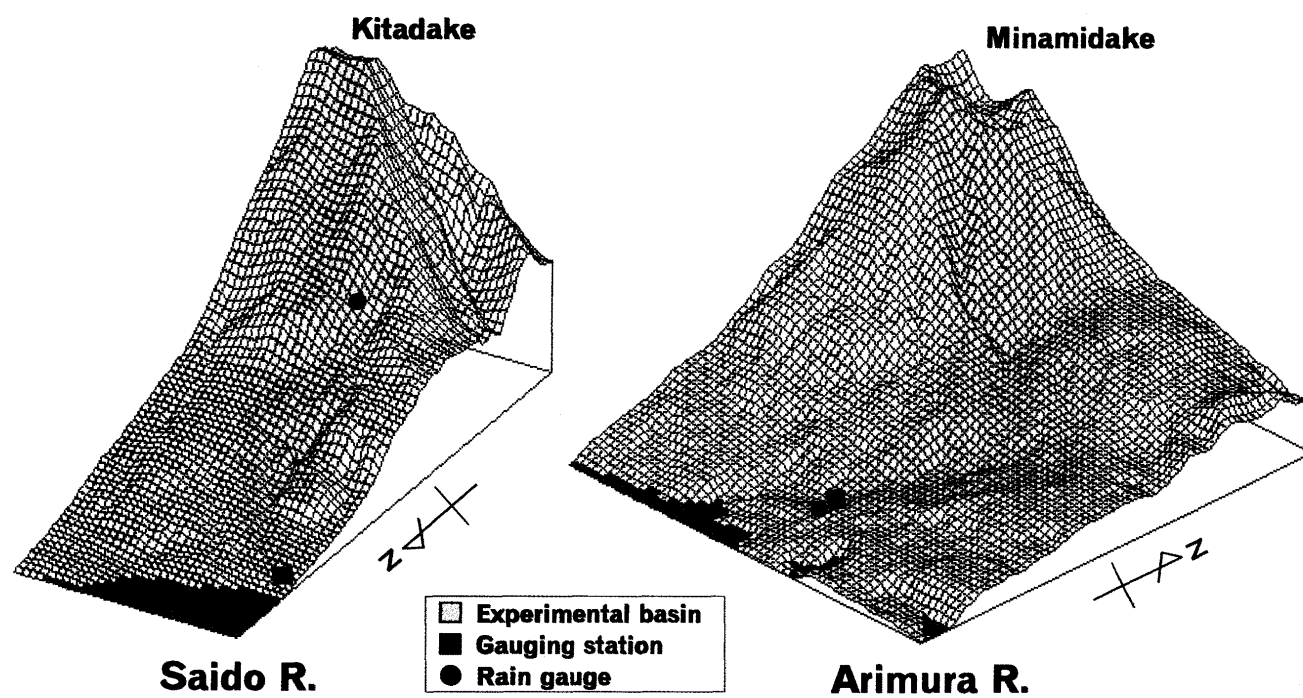


Fig. 2 Topography of experimental basins.  
Superposed grid is 50m × 50m.

図2 試験流域の地形  
メッシュ間隔は50m

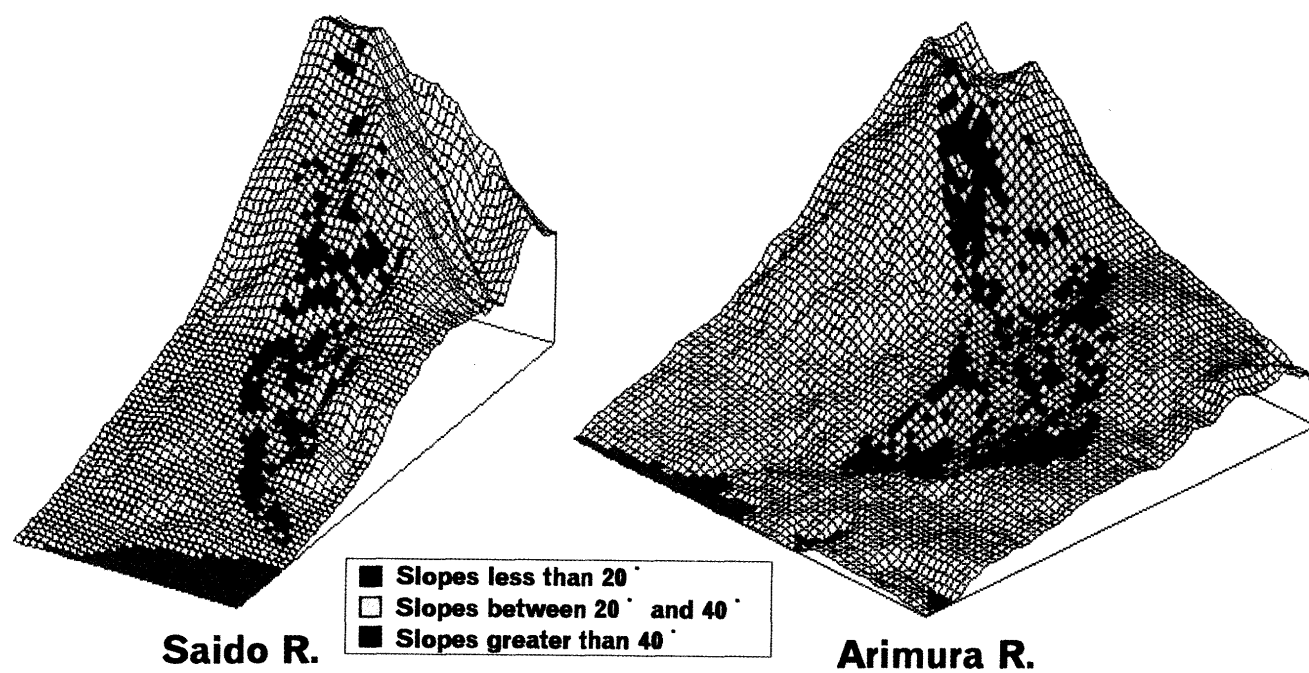


Fig. 3 Maps of experimental basins drawn in three dimensions by contour lines with three different slope gradient.

図3 試験流域の傾斜分布図

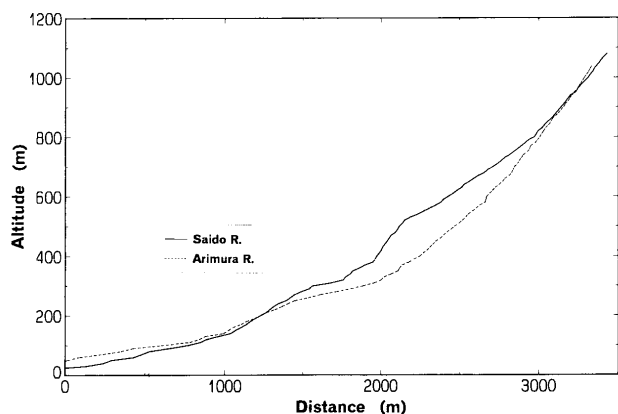
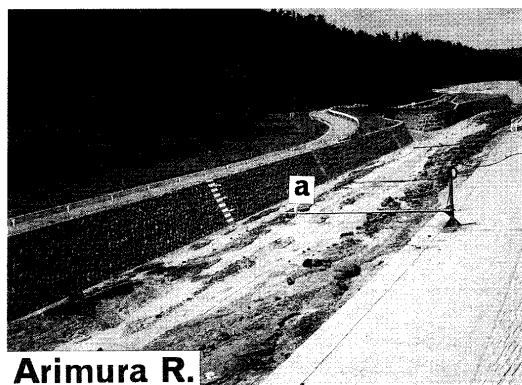


Fig. 4 Longitudinal profiles of main stream in the experimental basins.

図4 試験流域の本川の縦断面図



Saido R.



Arimura R.

Photo. 1 Gauging stations of experimental basins.

a: Water level gauge with sonic device

写真1 試験流域の水位観測地点の状況

a: 超音波式水位計

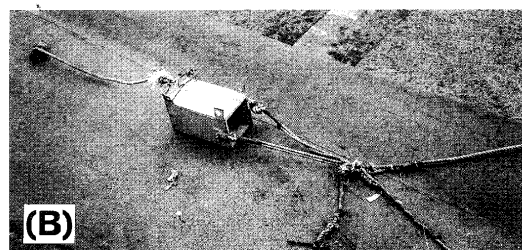


Photo. 2 Measurement of sediment concentration of debris flow and flood at the Saido river.

写真2 西道川における土石流・出水の土砂濃度の測定

(A)土石流・出水のスラリーのサンプル採取

(B)サンプラー (採取口15cm×15cm, 深さ30cm, 重量約22kg)

出水を採取するものである(Photo. 2)。サンプラーは採取口15cm×15cm, 深さ30cmの大きさの容器であり, 重量は約22kgである。土石流・出水体内へサンプラーを投下する際は, サンプラーの採取口が上流側を向くように工夫されている。採取後はサンプラーを人力でつり上げ, 左岸側壁側に手繰り寄せ, サンプルを採取する。採取したサンプルは室内で炉乾燥し, 土砂濃度(サンプルの全体積に対する土砂量の体積割合)を算出した。

## 結果および考察

### 1. 流出特性

1991年～1996年に観測された土石流・出水データは, 西道川115個, 有村川77個である。

Fig. 5は, これまで西道川および有村川で得られた土石流・出水の時間的変化を比較したものである。西道川の土石流・出水は有村川に比べて流出継続時間の長いものが多い。Fig. 6は, 流出継続時間を1時間間隔の度数分布に示したものである。西道川の流出継続時間は1.4～16.6時間の範囲(平均4.8時間)にあり, 3～4時間のものが多い。一方, 有村川の流出継続時間は0.2～6.6時間の範囲(平均1.7時間)にあり, 1時間未満のものが多い。

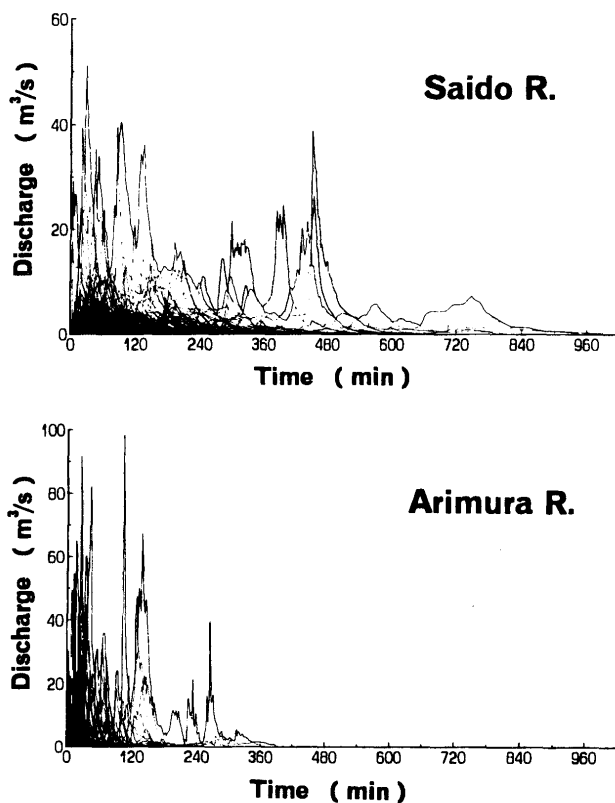


Fig. 5 Discharge variations of debris flows and floods with time.

図5 土石流・出水の流量の時間的变化

Fig. 7は、両河川で観測された土石流・出水のピーク流量 $Q_P$ を $10\text{ m}^3/\text{s}$ 間隔の度数分布図に示したものである。西道川の $Q_P$ は $1.7\sim 51.0\text{ m}^3/\text{s}$ の範囲(平均 $9.2\text{ m}^3/\text{s}$ )にあり、約70%が $10\text{ m}^3/\text{s}$ 未満である。有村川の $Q_P$ は $1.9\sim 98.2\text{ m}^3/\text{s}$ の範囲(平均 $20.6\text{ m}^3/\text{s}$ )であり、 $10\text{ m}^3/\text{s}$ 未満のものが約44%と最も多いが、西道川に比べて $Q_P$ の大きい土石流・出水が多い。Fig. 8は、土石流・出水の総流出量 $Q_T$ の度数分布図を $10,000\text{ m}^3$ 間隔で作成したものである。西道川の $Q_T$ は $10,000\sim 20,000\text{ m}^3$ のものが多く、有村川の $Q_T$ は $10,000\text{ m}^3$ 未満のものが多く、西道川では $Q_T$ は $4,954\sim 272,300\text{ m}^3$ の範囲(平均 $34,868\text{ m}^3$ )にあり、有村川では $2,059\sim 124,441\text{ m}^3$ の範囲(平均 $19,972\text{ m}^3$ )にあった。したがって、土石流・出水のピーク流量は西道川より有村川で大きく、総流出量は有村川より西道川で大きいことがわかる。

Fig. 9は、土石流・出水の総流出量 $Q_T$ とピーク流量 $Q_P$ の関係を西道川○印および有村川●印で示したものである。図中の実線および破線は最小自乗法で求めたそれぞれの回帰曲線であり、1991～1996年の期間については $Q_T$ と $Q_P$ の関係は次式で表された。

$$\text{西道川: } Q_T = 4535 \times Q_P^{0.878} \quad (r=0.81) \quad (1)$$

$$\text{有村川: } Q_T = 1418 \times Q_P^{0.800} \quad (r=0.73) \quad (2)$$

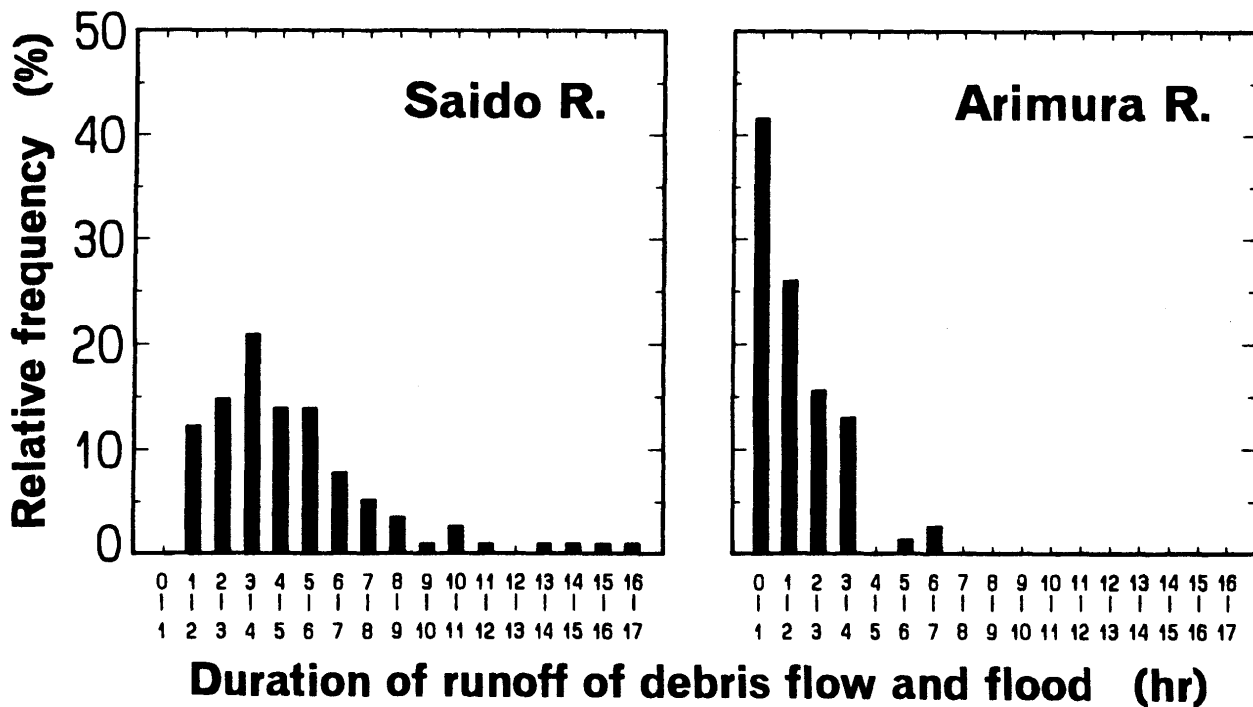


Fig. 6 Comparison of duration of runoff between the Saido river and the Arimura river.

図6 土石流・出水の流出時間の比較

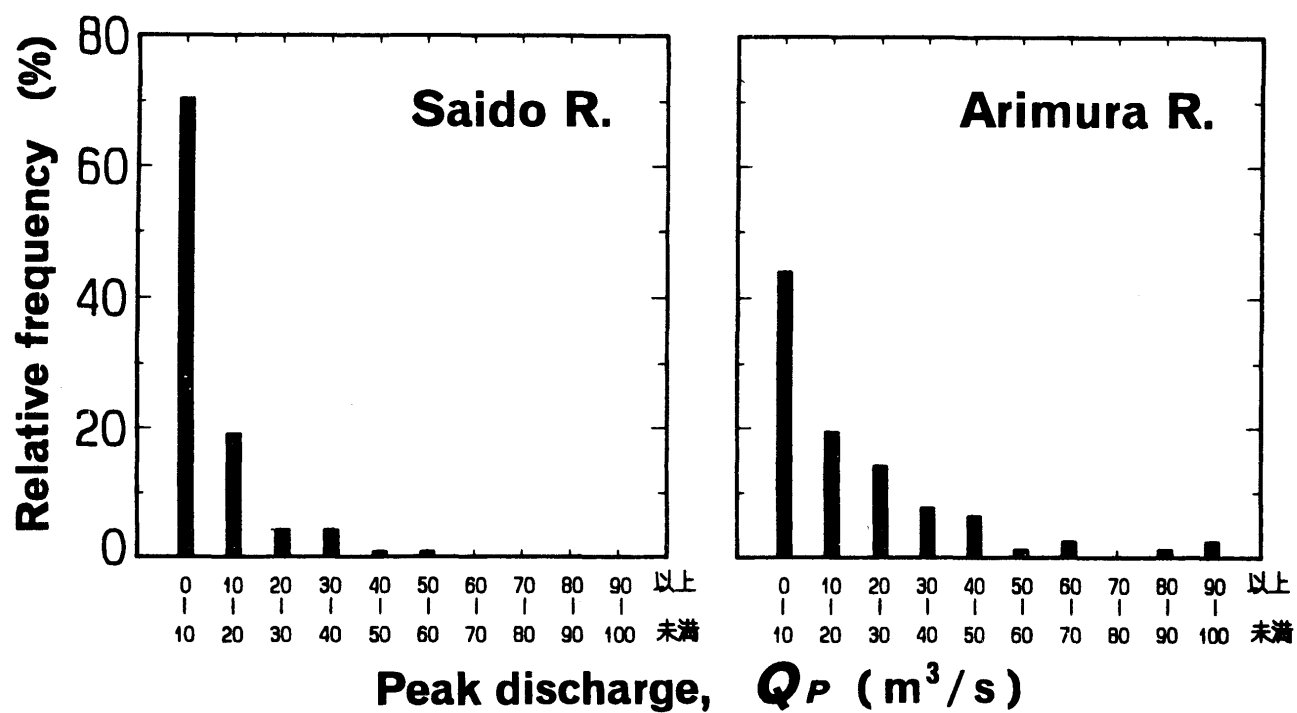


Fig. 7 Comparison of peak discharge between the Saido river and the Arimura river.

図7 土石流・出水のピーク流量の比較

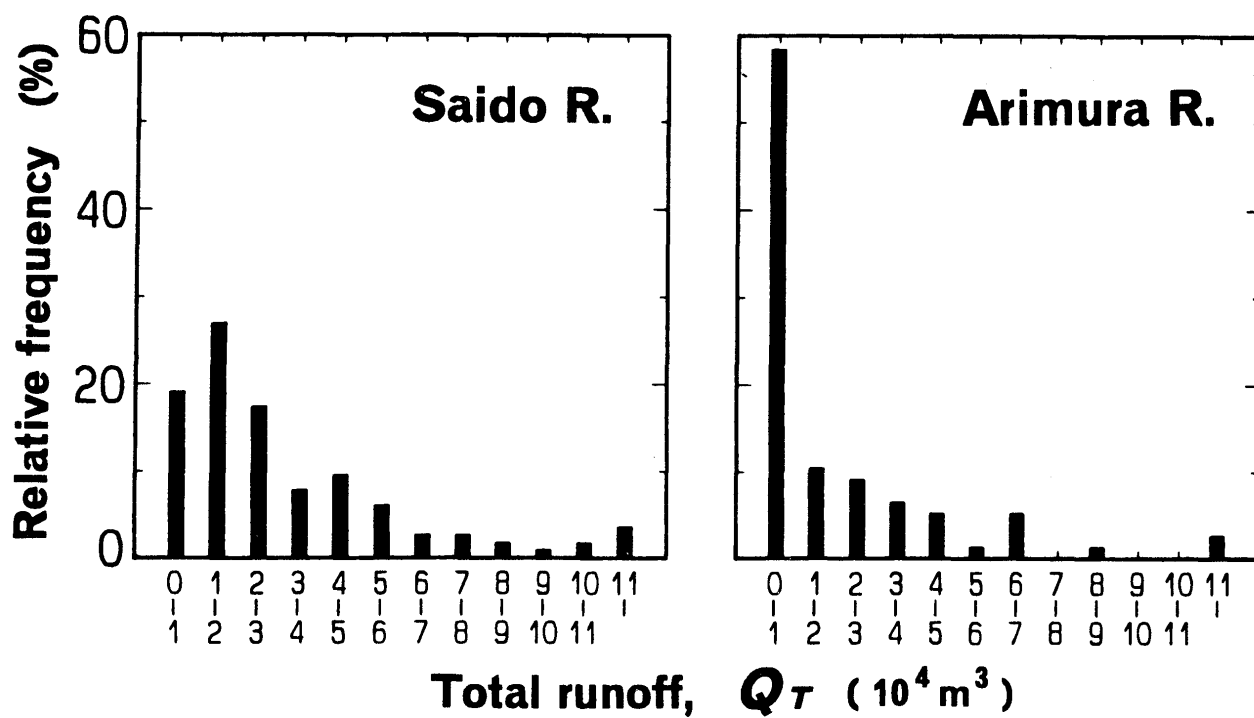


Fig. 8 Comparison of total runoff between the Saido river and the Arimura river.

図8 土石流・出水の総流出量の比較

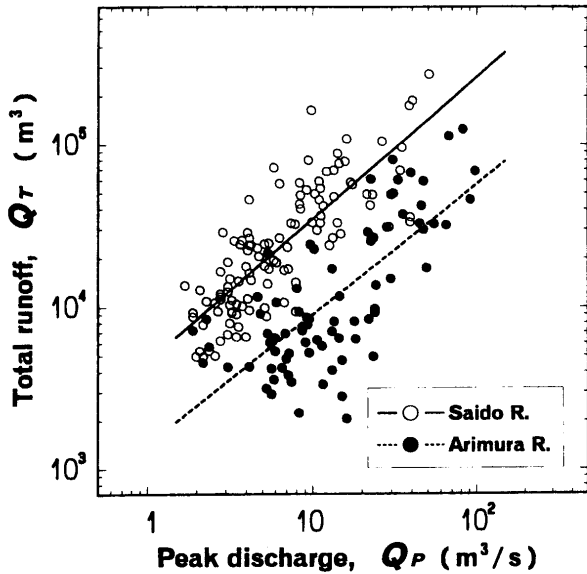


Fig. 9 Relationship between total runoff and peak discharge of debris flow and flood.

図9 土石流・出水の総流出量  $Q_T$  とピーク流量  $Q_P$  の関係

相関係数  $r$  は両河川とも危険率 0.1% で高度に有意であった。両河川とも  $Q_P$  が大きくなると  $Q_T$  も増大する傾向にあるが、両河川の間には違いがみられ、 $Q_P$  が同程度の場合、 $Q_T$  は西道川で大きく、有村川で小さい。

Fig. 10 は、流出率の度数分布図を作成したものである。西道川の流出率は 0.08~0.93 の範囲（平均 0.34）にあり、0.2~0.4 のものが多い。有村川の流出率は 0.03~0.59 の範囲（平均 0.17）にあり、0.1 未満のものが多い。

両河川のピーク流量および総流出量と降雨の関係を解析した。その例としてピーク流量  $Q_P$  と最大 10 分間雨量  $R_{10P}$  の関係を Fig. 11 に、総流出量  $Q_T$  と総雨量  $\Sigma R_T$  の関係を Fig. 12 に示す。有村川の  $Q_P$  は降雨条件が同程度でも西道川の  $Q_P$  より大きく、逆に有村川の  $Q_T$  は降雨条件が同程度でも西道川の  $Q_T$  より小さい。

以上のような西道川と有村川の流出特性の違いは流域の地形、地質・地層構造、地表面の状態などに関係している。すなわち、前述したように、両流域の流域平均傾斜はほぼ同じであったが、流域の中上流部における本川の縦断勾配は西道川より有村川で大きくなっており、このことが両河川の流出時間やピーク流量の違いに現れている。また、南岳から放出される火山灰は粗粒のものほど火口近くに降下堆積し、細粒のものほど遠くまで達する (Shimokawa *et al.*, 1989)。南岳に近い有村川流域

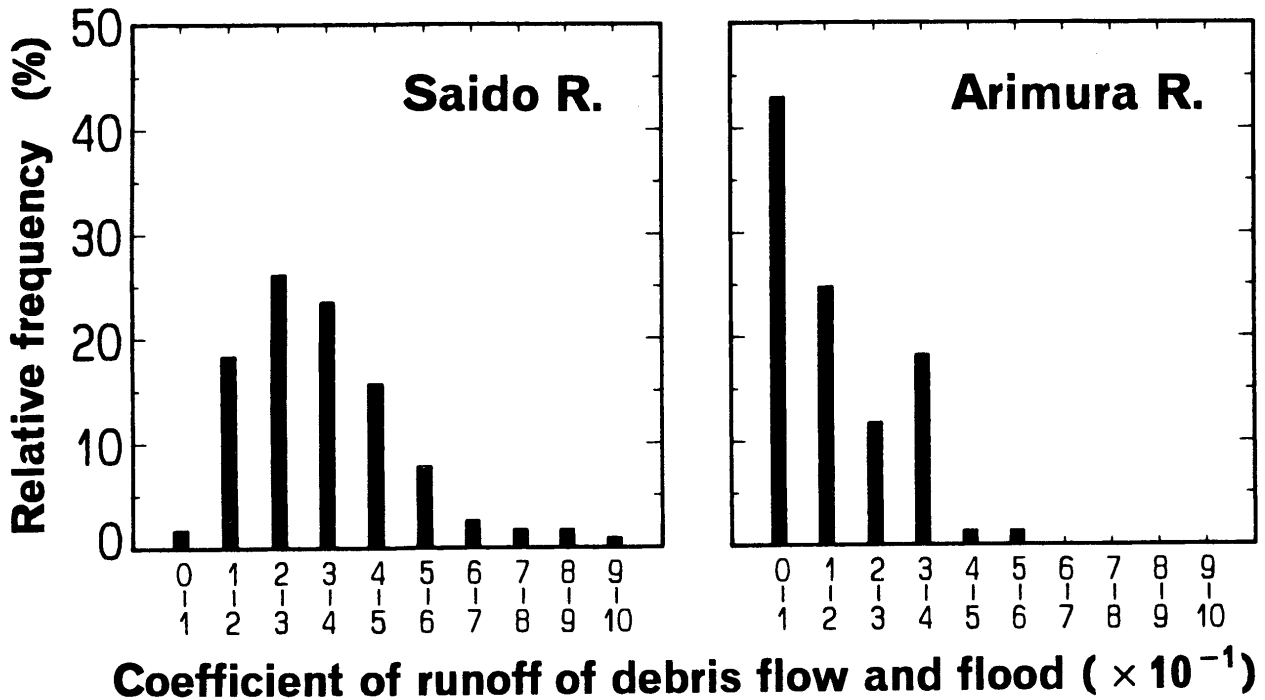


Fig. 10 Comparison of coefficient of runoff between the Saido river and the Arimura river.

図10 土石流・出水の流出率の比較

に降下する火山灰は西道川流域に降下するそれより粒子が大きいものと考えられる。その結果、相対的に粗粒の火山灰が堆積した有村川流域より細粒の火山灰が堆積した西道川流域において地表面の浸透能低下による表面流が発生しやすく、土石流や出水による流出量も多くなる。

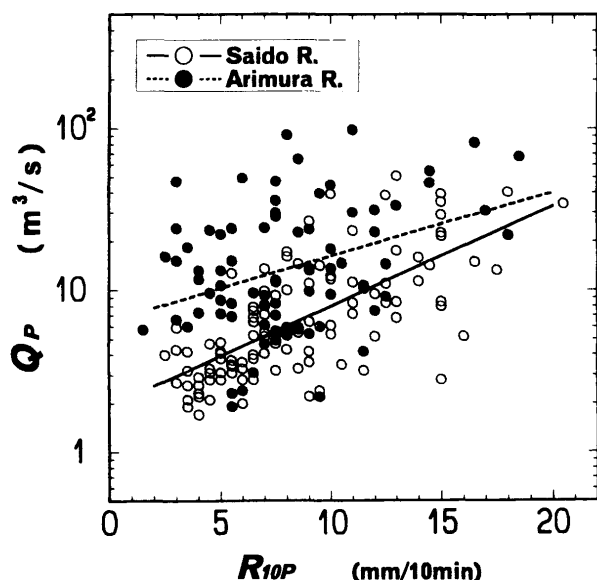


Fig.11 Relationship between peak discharge of debris flow and flood,  $Q_P$ , and maximum rainfall per ten minutes in that case,  $R_{10P}$ .

図11 土石流・出水のピーク流量  $Q_P$  と最大10分間雨量  $R_{10P}$  の関係

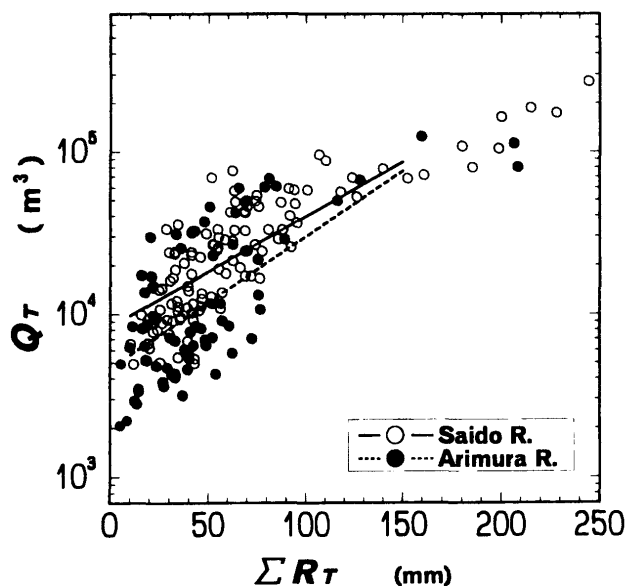


Fig.12 Relationship between total runoff of debris flow and flood,  $Q_T$ , and total rainfall in that case,  $\Sigma R_T$ .

図12 土石流・出水の総流出量  $Q_T$  と累加雨量  $\Sigma R_T$  の関係

さらに、有村川流域は南向斜面であることから地表面からの蒸発が大きく、北向斜面の西道川に比較してより乾燥していると思われる。有村川の流出率が小さいのはこのことにも関係している。

## 2. 土砂濃度

西道川下流の観測地点において出水のサンプルを採取した。1993年の6月～7月に大雨が予測された日に現地に出かけ、7月2日、4日および7日に出水のサンプル採取に成功した。出水のサンプルは流量の変化に対応させ数分おきに採取した。Fig. 13は、超音波式水位計データから求めたハイドログラフと出水の土砂濃度をそれぞれプロットしたものである。7月2日と4日についてはピーク流量時のデータがないのははっきりわからないが、7月7日については出水の土砂濃度は流量の変化と比較的よく対応していることがわかる。Fig. 14は、3回の採取試料から得られた土砂濃度と流量の関係を両対数方眼紙にプロットしたものである。実線は両者の回帰曲線であり、 $Q$ が $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の範囲においてはその関係式は次式で表された。

$$C = 0.342 \times Q^{1.23} \quad (3)$$

ここで、 $C$ は出水の土砂濃度(%)、 $Q$ は出水の流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )である。Fig. 14にみられる  $C$  と  $Q$  の関係の散らばりは、個々の出水により土砂濃度が異なること、また同一の出水においても増水時と減水時で濃度が異なることに関係していると思われる。

## 3. 流出土砂量

式(3)の濃度－流量曲線式が1993～1996年観測の土石流・出水の流量に適用されるものとして、その土砂濃度を求め、それぞれの流量に対する土砂流量のハイドログラフを作成し、このハイドログラフから土砂流量を積分して、個々の土石流・出水の流出土砂量を算出した。有村川においては土石流・出水の土砂濃度の測定が行われていないためここでは西道川の土砂濃度測定結果を代用する。

Table 1は、1993～1996年に両流域で観測された土石流・出水による年間の総流出量および流出土砂量を比較したものである。同時に流出土砂量を単位面積あたりに換算した比流出土砂量も示している。1993～1996年の4年間の比流出土砂量の平均値を求めると、西道川流域  $16,344 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 、有村川流域  $20,363 \text{ m}^3/\text{km}^2$  となり、比流出土砂量は西道川より有村川で大きい。ただし Table 1に示された土砂量は空隙を含まない土粒子のみの体積である。土石流・出水のスラリー内の土粒子とダムに堆積し



た状態のような空隙を含んだ土砂の単位体積重量を測定した結果、それぞれ $2.6\text{ g/cm}^3$ 、 $1.6\text{ g/cm}^3$ の値が得られた。したがって、Table 1に示された土砂量を $(2.6 \div 1.6)$ 倍（＝約1.6倍）するとダム等に堆積した状態の土砂量が計算できる。

Fig. 15は、1993～1996年間に土石流・出水による年間の比流出土砂量と年降水量の関係を西道川流域○印および有村川流域●印で示したものであり、図中の実線および破線は同期間の観測データから最小自乗法で求めたそれぞれの流域の回帰直線である。両流域の比流出土砂量

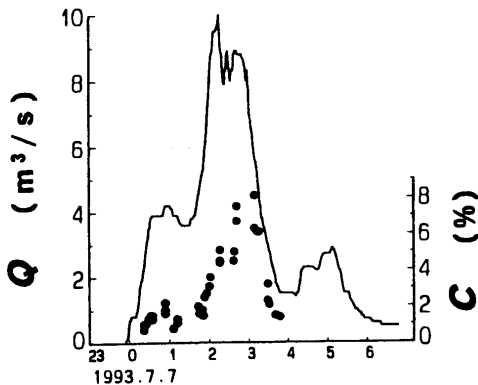
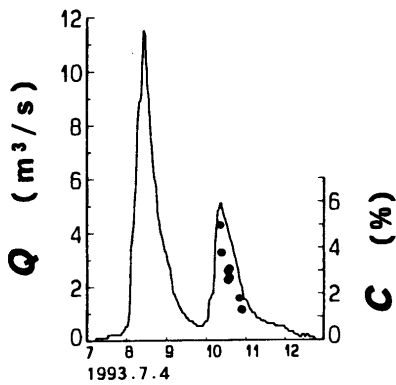
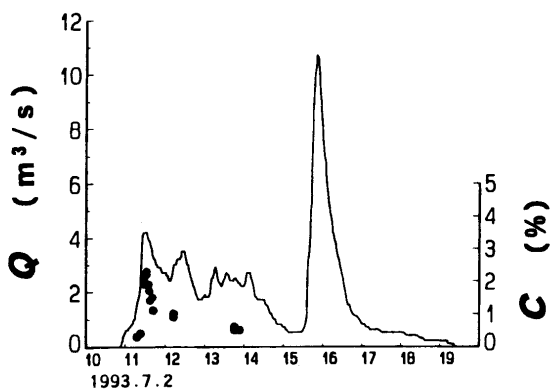


Fig.13 Sediment concentration,  $C$ , and hydrograph,  $Q$ , of debris flow and flood of the Saido river.

図13 西道川で測定された土石流・出水の土砂濃度  $C$  とハイドログラフ  $Q$

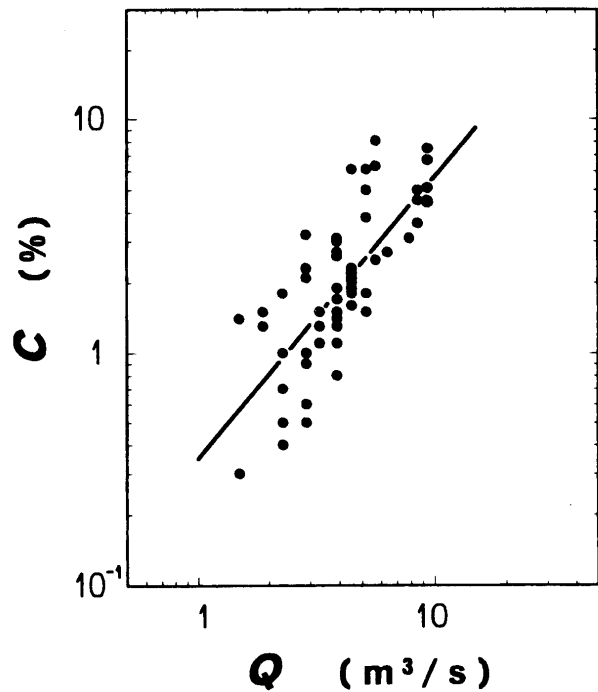


Fig.14 Relationship between sediment concentration,  $C$ , and discharge,  $Q$ , of debris flow and flood.

図14 土石流・出水の土砂濃度  $C$  と流量  $Q$  の関係

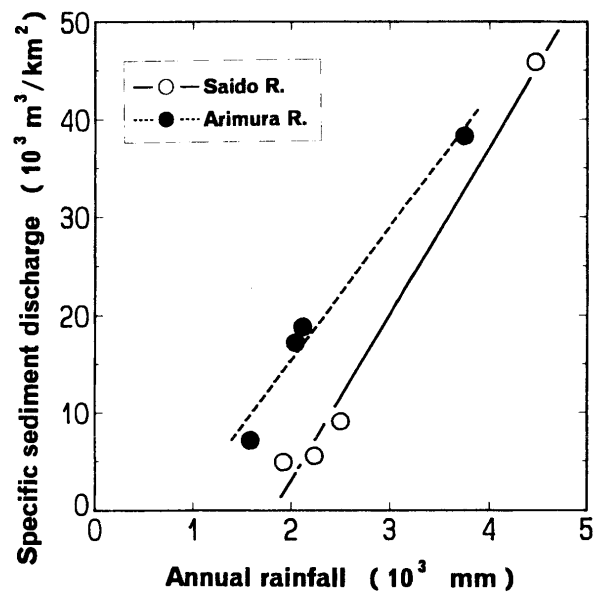


Fig.15 Relationship between annual amount of specific sediment discharge of debris flow and flood and annual rainfall.

図15 土石流・出水による年間の比流出土砂量と年降水量の関係

Table 1 Annual amount of total runoff and sediment discharge of debris flow and flood of the Saido river and the Arimura river.

表1 西道川および有村川における土石流・出水による年間の総流出量, 流出土砂量

| Year | Basin   | Rainfall<br>(mm) | Total<br>runoff<br>(m <sup>3</sup> ) | Sediment<br>discharge<br>(m <sup>3</sup> ) | Specific<br>sediment<br>discharge<br>(m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> ) |
|------|---------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1993 | Saido   | 4,465            | 1,798,990                            | 65,536                                     | 45,829                                                                  |
|      | Arimura | 3,742            | 788,268                              | 94,195                                     | 38,291                                                                  |
| 1994 | Saido   | 1,921            | 305,812                              | 7,053                                      | 4,932                                                                   |
|      | Arimura | 1,585            | 128,787                              | 17,576                                     | 7,145                                                                   |
| 1995 | Saido   | 2,498            | 565,074                              | 12,978                                     | 9,076                                                                   |
|      | Arimura | 2,113            | 435,960                              | 46,308                                     | 18,824                                                                  |
| 1996 | Saido   | 2,234            | 347,157                              | 7,918                                      | 5,537                                                                   |
|      | Arimura | 2,041            | 261,884                              | 42,295                                     | 17,193                                                                  |

を回帰直線で比較すると、有村川流域は年降水量2000mmにおいて西道川流域の約5倍、3000mmにおいて約1.5倍の値を示している。

#### 4. 水収支

一般に山地流域では一定期間について次の水収支式が成立する(中野, 1976)。

$$P = R + L + \Delta S \quad (4)$$

ここで、 $P$ は降水量、 $R$ は流出量、 $L$ は消失量、 $\Delta S$ は貯留量の変化量である。1水年を対象期間にとれば $\Delta S \div 0$ とみなせるため、式(4)は次のようになる。

$$P = R + L \quad (5)$$

1水年の降水量 $P$ と流出量 $R$ を実測すれば1水年の消失量 $L$ が算出される。消失量 $L$ には、蒸発量、蒸散量、深層透過量などが含まれる。

Table 1に示された土石流・出水による総流出量から土砂流出量を差し引いた残りは雨水流出量である。雨水流出量を雨量と同じ単位に換算して、式(5)から消失量 $L$ および $R/P$ で計算される年流出率を求めるとTable 2に示すとおりである。西道川の年流出率は10.6

～27.1%の範囲にあり、平均16.0%である。また、有村川の年流出率は西道川より小さく2.8～7.5%の範囲にあり、平均5.6%である。したがって、西道川では年降水量の約70～90%が、有村川では約90%以上が消失量となり、流域からの流出量にならなかったことになる。南九州における年蒸発散量は900～1000mm(金子, 1973)といわれていることから、西道川流域や有村川流域においてはかなりの量の雨水が深層透過量となっている。

桜島火山では山腹斜面が火山灰に覆われ浸透能が極端に低下し表面流が発生しやすくなっているが、流出期間を長期にとれば、深層透過している雨水が多い。この原因は、桜島火山が成層火山であることから軽石などの透水層と溶岩等の溶結した層の互層からなり地下部に空隙が多いこと、溶結層には急激な冷却に伴う割れ目(Photo. 3)が存在し、割れ目から多量の雨水が深層へ透過していることなどが考えられる。西道川より有村川の消失量が大きいの、前述したように、流域斜面の向きの違いによる蒸発量の差も関係していると思われる。

Fig. 16は、両流域の年流出量 $R$ と年降水量 $P$ の関係をプロットしたものである。両者の間には直線関係が認められ、年降水量が増加すると年流出量も増大している。しかし、北岳山体に位置する西道川流域と南岳山体に位置する有村川流域ではその傾向が異なっている。

Table 2 Water balance in the Saido river and the Arimura river basin.  
表2 西道川流域および有村川流域における水収支

| Year | Basin   | Rainfall<br>(mm) | Runoff<br>(mm) | Loss<br>(mm) | Runoff ratio<br>(%) |
|------|---------|------------------|----------------|--------------|---------------------|
| 1993 | Saido   | 4,465            | 1,212          | 3,253        | 27.1                |
|      | Arimura | 3,742            | 282            | 3,460        | 7.5                 |
| 1994 | Saido   | 1,921            | 209            | 1,712        | 10.9                |
|      | Arimura | 1,585            | 45             | 1,540        | 2.8                 |
| 1995 | Saido   | 2,498            | 386            | 2,112        | 15.5                |
|      | Arimura | 2,113            | 158            | 1,955        | 7.5                 |
| 1996 | Saido   | 2,234            | 237            | 1,997        | 10.6                |
|      | Arimura | 2,041            | 89             | 1,952        | 4.4                 |



Photo. 3 Observed cracks in the hillslopes of Sakurajima volcano.

写真3 (A)桜島山腹に観察される亀裂, (B)その拡大写真

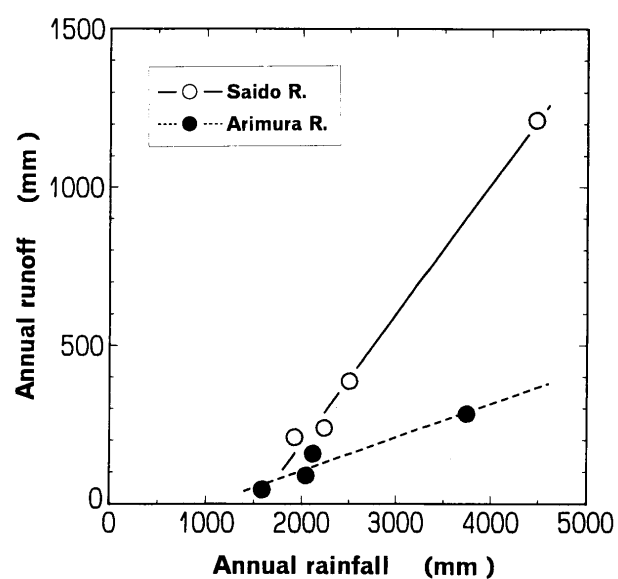


Fig.16 Relationship between annual runoff and annual rainfall.

図16 年流出量と年降水量の関係

## 謝 辞

末筆ではあるが、超音波式水位計や雨量計の設置においては熊本営林局鹿児島営林署ならびに建設省大隅工事事務所のご協力を頂いた。また、現地調査およびデータ整理の際は当時研究室に所属していた徳永博君、林田晃君、徳田謙治君、金子錦司君、川畑仁君らにご協力頂いた。ここに記して謝意を表します。

## 引用 文 献

- 1) 福山博之・小野晃司：桜島火山地質図，地質調査所(1981)
- 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) 金子 良：農業水文学，共立出版，286p.（1973）
- 9) 中野秀章：森林水文学，共立出版，228p.（1976）
- 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（1987a）
- 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（1987b）
- 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—桜島火山を中心にして—，地形，**8**(4)，269-286（1987c）
- 13) Shimokawa, E., Jitousono, T., Yazawa, A. and Kawagoe, R. : An effect of tephra cover on erosion processes of hillslopes in and around Sakurajima volcano, Proc. Int. Symp. on Erosion and Volcanic Debris Flow Technology, Indonesia, V32・1-35（1989）

## Summary

Located in the center of Kagoshima Bay in southern Kyushu, Mt. Sakurajima is one of the most active volcanoes in Japan. A stratovolcano, whose flanks are covered with both recent and older volcanic products, the mountain is extremely susceptible to erosion. Debris flows and floods have occurred frequently when it rains, and a great amount of sediment has been produced as a result. In order to research the characteristics of debris flows and floods, and the resulting discharges

of sediment, observation facilities were established near the Saido River on the northern flank and near the Arimura River on the southern flank. Water level gauges equipped with a sonic device were used to record the levels of debris flows and floods, video equipment was used to observe movements of the flows, and tipping bucket type rain gauges were used for recording rainfall amount.

In this paper, analyzing the hydrologic data obtained in the two basins during the period from 1991 to 1996, some characteristics of runoff of debris flows and floods were found, and the sediment discharges of them were estimated. The results are summarized as follows:

(1) Compared to the debris flows and floods near the Arimura River, those occurring near the Saido River lasted longer: debris flows and floods observed near the Saido River lasted between 1.4 and 16.6 hours; those near the Arimura, between 0.2 and 6.6 hours. On the other hand, the peak discharge near the Arimura River was greater even when the rainfall conditions were the same. The average peak discharge near the Saido River was  $9.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , while that near the Arimura River was  $20.6 \text{ m}^3/\text{s}$ . The total runoff near the Saido River, however, was larger: the average runoff being  $34,868 \text{ m}^3$  for the Saido River, and  $19,972 \text{ m}^3$  for the Arimura River. These differences can be accounted for in terms of differences in topography, geological structure, topsoil composition, and susceptibility to erosion in the two basins.

(2) Samples of the floods near the Saido River were collected, and the sediment concentrations of the samples were measured. The results showed a strong correlation between the sediment concentration and the discharge, revealing a straight line when the two factors were charted against each other.

(3) The amount of sediment discharge for each debris flow and flood between 1993 and 1996 was estimated by first examining the curved line charting the sediment concentration against the discharge and then creating a hydrograph which charted the sediment discharge. The average annual sediment runoff from the Saido River Basin during this four year period was found to be  $16,344 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . The average sediment runoff from the Arimura River Basin was found to be  $20,363 \text{ m}^3/\text{km}^2$ .

(4) The amount of rainwater runoff was calculated by subtracting the amount of sediment discharge from the total amount of debris flows and floods. The rate of annual water runoff (which is the ratio of annual water runoff to annual rainfall) in the Saido River Basin ranged from 11 to 27% for an average of about 16%. This was higher than that for the Arimura River Basin, which ranged from 3 to 8% for an average of about 6%.

**Key words** : Mt. Sakurajima, Debris flow, Flood, Runoff characteristics, Sediment runoff