

2 桜島野尻川における土石流発生条件の考察

国際航業(株) C前 海真司

(財) 砂防・地すべり技術センター 宮本邦明

鹿児島県砂防課 矢澤照夫

建設省大隅工事事務所 桑野修司

1. はじめに

桜島火山麓での砂防対策は頻発する土石流対策が最重要課題の一つとなっている。桜島諸河川での土石流発生条件の特徴は、桜島南岳の活発な山頂噴火活動に伴う断続的な降灰と、それら不安定堆積物の降雨による土石流化にあるといわれている。

本報告では、河川源頭部での降灰現象に着目し、降灰量と降雨(口雨量)との組合せで桜島野尻川の土石流発生条件について検討したものである。

2. 降灰分布モデル

降灰分布の予測は、桜島における土石流発生の際の条件を考えるうえで重要である。特に、土石流発生域となる河川上流域、つまり火口近傍の降灰分布を知ることが必要不可欠であるが、それに関するデータは得られていないのが現状である。

降灰分布の予測法としては従来から拡散モデルによる方法が知られている。拡散モデルでは火口から遠方での降灰量をよく説明できるが、火口近傍での適用には不適である。桜島では土石流頻発期には数日間土石流が連続して発生する場合もあり、短期間の降灰分布データが必要となる場合も多い。したがって、毎日の降灰データを使用して噴流による火口近傍の降灰モデル(ジェットモデル)を新たに検討した。

風の影響を無視した場合の火口から噴出した噴煙(フリューム)の鉛直方向の速度分布を模式的に示すと図-1のようになる。フリュームの境界A-A'からは外側から大気を取り込まれ噴煙との混合が生じる。そのため、噴煙の上昇速度は急速に減少する。また、境界A-A'では上昇速度が0となり火山灰は降下していく。このときの噴煙の上昇速度と外気を取り込み流速(連行速度)との間には次のような関係がある。

$$E = Ve/u = \text{const.} \quad (1) \quad \text{ここに、} E: \text{連行係数、} Ve: \text{連行速度、} u: \text{噴煙の上昇速度}$$

一方、フリュームに関する運動方程式と連続式は定常状態と仮定するとそれぞれ次のように示される。

$$\frac{\partial}{\partial z} (Au) + A \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (2) \quad \frac{\partial}{\partial z} (Au) = 2\pi r Ve \quad (3)$$

ここに、 z : 火口からの鉛直距離、 A : フリュームの断面積でフリュームの半径 r を用いて $A = \pi r^2$ で表される。(2),(3)式を連立して微係数について解くと、

$$u \frac{\partial r}{\partial z} = 2Ve \quad (= 2Eu) \quad (4) \quad r \frac{\partial u}{\partial z} = -2rVe \quad (5)$$

となる。上式の微分方程式を初期条件 $z=0 \rightarrow r=r_0, u=u_0$ について解くと、フリュームの形状および噴煙の上昇速度が、 $r = 2Ez + r_0, u = u_0 \frac{r_0}{2Ez + r_0} = u_0 \frac{r_0}{r}$ (6)と求められる。

ここに、 u_0 : 噴火による噴煙の初速 r_0 : 火口半径である。

フリュームから放出される土砂量は、フリューム内の土砂濃度が火山灰の降下に関する運動方程式と連続式により、 $\frac{d}{dz}(AuC) = -2ECW_0(2\pi r)$ (7) と表され、初期条件 $z=0 \rightarrow C=C_0$ で解いて、

$$C = C_0 \frac{r_0}{r} e^{(-2 \frac{W_0}{u_0} \frac{r-r_0}{r})} \quad (8)$$

ここに、 C : フリューム内土砂濃度、 C_0 : 噴火による火口からの噴出土砂濃度、 W_0 : 火山灰の空気中における下降速度である。

(8)式に噴火の継続時間 t および火山灰の密度 ρ_s をかけることにより、火口から半径 r の地点における降灰量を求めることができる。つまり、単位面積当りの降灰量質量 $W = \int_0^t W_0 t C \quad (9)$ である。

風速 v がある場合は図-2より、フリュームの中心線が風下に流されるとして表現すると中心線の軌跡が $\xi = \frac{V}{u_0 t_0} (EZ^2 + t_0 Z)$ (10) と表される。ただし、 ξ は図-2に示す座標系にしたがっている。

以上より、風向・風速・噴煙の初速・火口からの噴出土砂濃度・噴火の継続時間が与えられれば降灰量の分布が得られる。このうち、風向・風速は気象資料から既知であるが、その他のパラメータは独立に得ることはできない。そこで降灰量観測点の降灰資料から最小2乗法でこれらのパラメータを同定することとした。モデルの性質上、観測点は火口になるべく近くなければならない。選んだ観測点の位置を図-3に示す。

計算に必要なその他のパラメータは以下のように定めた。

火口半径 (r_0): 250m (地形図計測)、火山灰の下降速度 (W_0): 1m/s (平野ら¹⁾による 図-4)

火山灰の密度 (ρ_s): 2,500kg/m³、連行係数 (E): 0.15

本モデルにより算出した総噴出量を月毎に集計した結果を図-5に示した。

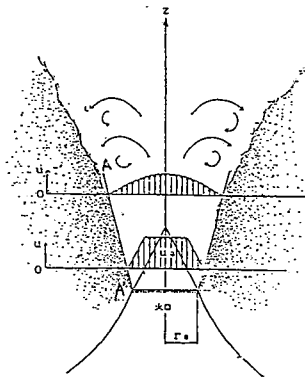


図-1 火口近傍の火山灰降下モデル

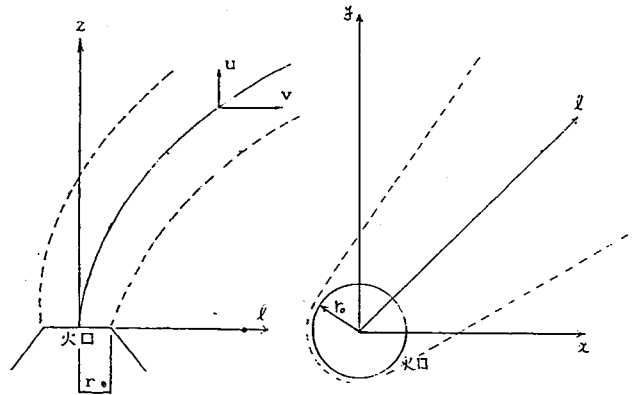


図-2 風によるフリュームの移動モデル

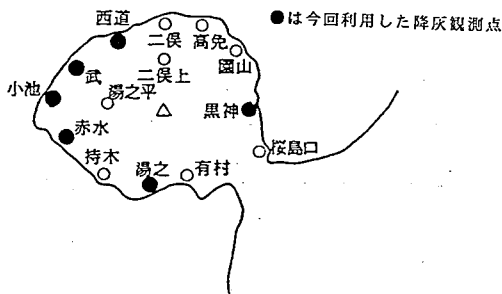


図-3 利用した降灰観測点

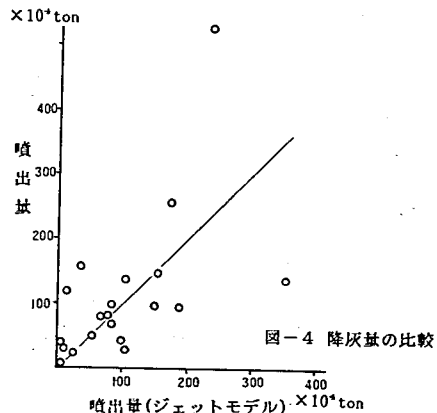


図-4 降灰量の比較

3. 野尻川における土石流の発生条件と降灰の影響期間

野尻川において昭和60～63年の4年間を対象に、降雨（日雨量）降灰量（日降灰量）と土石流発生実績との関連を整理し代表的な土石流発生パターンを抽出した。その一例を図-6に示した。

断続的な降灰が土砂生産源にあるような場合には、降雨と土石流発生斜面に新たに堆積する火山灰の2要素を指標とすることにより、降雨のみの場合よりも土石流発生・非発生パターンをよく説明することができる。野尻川における日降雨と日降灰量との関係（土石流発生パターン）は次のようである。

- (1) 降雨が50mm/1day程度以上では100%に近い確率で土石流が発生している。
- (2) 土石流発生源に新たに降灰があると、20mm/1day程度の少雨でも土石流が発生することがある。
- (3) 本モデルで1日当り数cmの降灰を記録した直後は土石流発生期間が長くなる。

一方、50mm/1day以下の降雨の場合、土石流が発生する場合と発生しない場合がある。この事実から、日雨量50mm以下のような場合の土石流発生を支配している要因としては、場の条件としての新規降灰現象に加え、短時間雨量が重要になることを示していると考えられる。

次に土石流発生条件に与える降灰の影響期間について考察した。降灰による土石流発生条件に与える影響は期間としての日数（時間）ではなく、その間の雨量総量に意味があると考えられる。そこで、降灰が影響を与えたと考えられる期間内の総雨量と、その降灰量の関係をプロットして図-7に示した。今後のデータ蓄積が必要であるが、図-7より1回の降灰量に比例したある総雨量に達するまでの期間、土石流が発生しやすい条件にあると考えられる。

野尻川の場合の土石流発生関与雨量（総雨量）は、降灰量が換算高10～20mmの場合は約380mm、5.0mmの場合が約120mm、1.0mm未満の場合が約20mmとなっている。

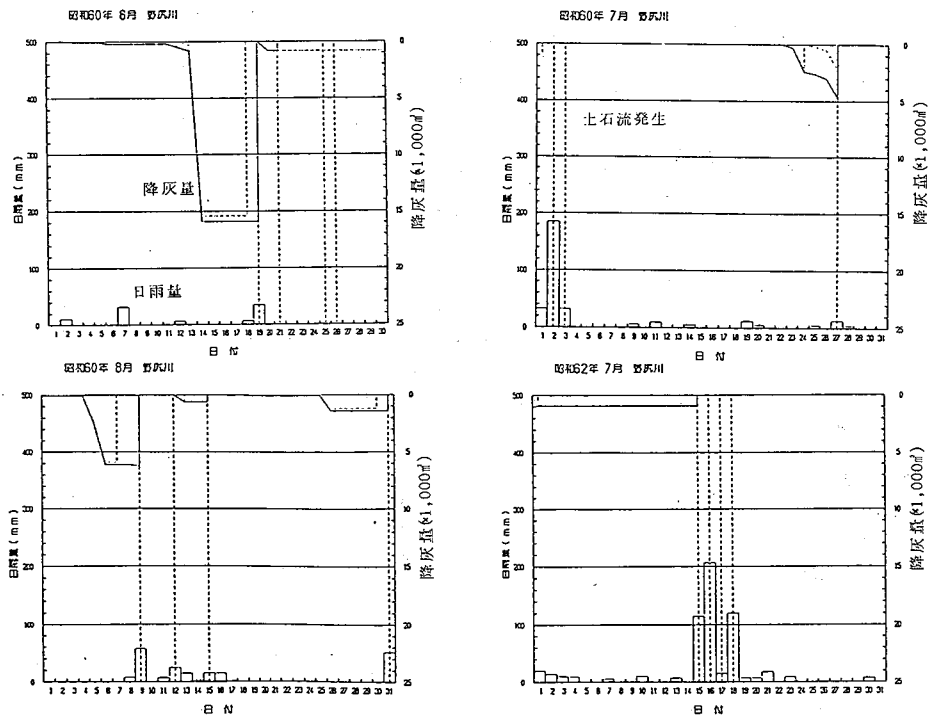


図-6(1) 日雨量・新規降下火山灰堆積量と土石流発生状況

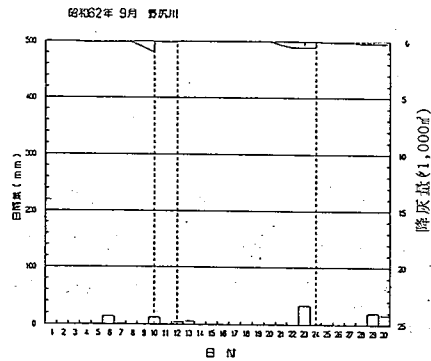
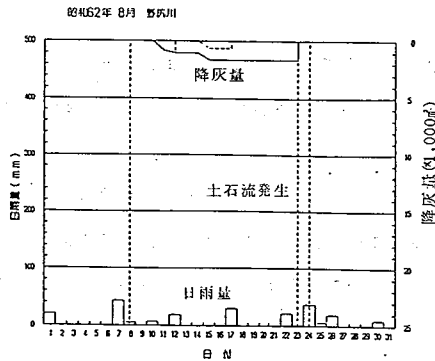


図-6(2) 日雨量・新規降下火山灰堆積量と土石流発生状況

表-1 新規降灰量の規模とその影響期間

case	1日の降灰量 (m^3)	土石流規模		影響期間 (総雨量)	事例 (土石流発生回数)
		総量	ピーク流量		
1	$n \times 10^4$ ($n=1 \sim 3$)	$n \times 10^5 m^3$ ($n=1 \sim 2$)	$n \times 10^2$ ($n=2 \sim 4$)	約2週間 (382.5mm)	s.60.6.19~7.3 (6)
2	$n \times 10^3$ ($n=5$)	$n \times 10^4 m^3$ ($n=2 \sim 4$)	$n \times 10^1$ ($n=5 \sim$)	約1週間 (123.5mm)	s.60.8.9~15 (3)
3	$< 1 \times 10^3$	-	-	約3日 (17.0mm)	s.62.9.10~12 (2)

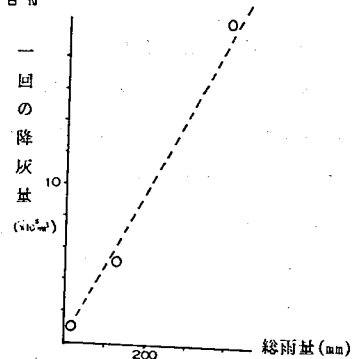


図-7 降灰量と土石流関与雨量の関係

4. おわりに

本報告では、火口近傍の降灰量の分布を推定するため、新たに噴流による降灰モデルを作成し、野尻川土石流発生源での毎日の降灰量と日雨量から土石流発生条件を検討した。降灰量と日雨量をもとにすると降雨のみの場合に比べ土石流発生条件をよく説明できた。また、降灰量に比例した土石流発生に關与する総雨量が規定される可能性のあることがわかった。

今回の降灰分布モデルを用いて土石流発生条件を検討する場合、降灰観測点の位置の問題から、小規模な噴火に伴う降灰現象を十分に表現できない点や、風向により有為なデータが少なくなり計算が困難になる点などがあるので降灰観測体制（毎日観測）の検討が望まれる。降灰分布を加味した土石流発生条件の検討についてはまだ検討の端緒についた状態であり、データの蓄積が望まれる。また、今後は土石流の発生条件と合わせ、その発達過程と規模の設定手法が必要となろう。

参考文献

半野宗夫、定田誠： 桜島周辺の降灰分布について

昭和61年度砂防学会研究発表会機要集 pp86~89, 1985