

九州大学・工学部 正員 平野宗夫
 鹿児島工業高等専門学校 正員 ○正田 誠

1. まえがき

昭和47年頃より活発化した桜島の火山活動は、近年になっても衰えを見せず、鹿児島地方気象台における桜島の新規火山灰の堆積量は、昭和60年には一年間に $15.9\text{kg}/\text{m}^2$ に達し、昭和30年以降最高の昭和53年($4.5\text{kg}/\text{m}^2$)の約3.5倍であった。鹿児島県の降灰観測所27地点の比較でも、同様の比較で約2.9倍に達し、過去の観測記録値を更新している。また、昭和60年の爆発回数も記録最大の年間474回に達し、多量の火山灰や噴石を島内だけでなく、その周辺部へ放出し、当地域の農作物に大きな被害を与えている。更に、山腹に堆積した火山灰や噴石は、各河川を土石流となって流下して住民の脅威となっている。流域における火山灰の分布を知ることは、土石流の流出予測及び災害防止のために不可欠であるが、激しい火山活動のために、火口より半径2km以内は立入り禁止区域となっており、その範囲の降灰量の観測は実現不可能な状況下であり、降灰モデルに関する理論的研究を必要としている。

既報¹⁾においては、降灰量を桜島上空の風向・風速・爆発高度と結びつけ、その確率頻度分布を考慮し、鹿児島県下の降灰観測所資料を用い、県内の堆積厚分布及び火口における放出火山灰量の推定法を提案している。本報は、地球観測衛星(LANDSAT-4)のMSS画像の収集資料²⁾より噴煙の拡がりについて調べ、更に、降灰量については既報の理論を拡張し、粒度特性の計算式を与えた。桜島南岳火口から同一方位に、著者らの設置した降灰観測所による資料を用いて、その粒度分布特性に関する理論的考察を行った。

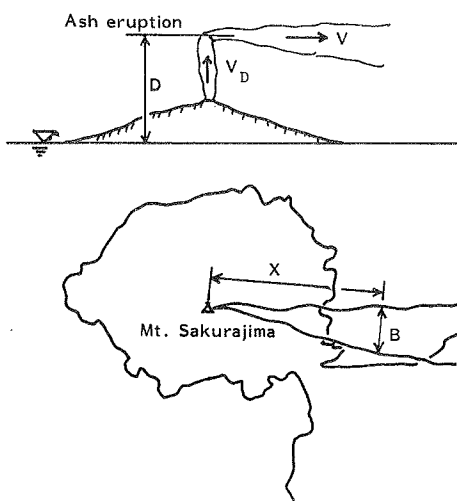


図-1 桜島の降灰の模式図

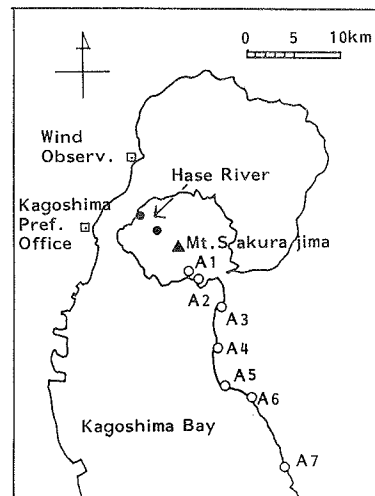


図-2 降灰観測所の設置位置

2. 降灰の堆積量及び粒度分布の式

図-1は桜島火山からの火山灰放出時のパターンモデルを示したものである。通常、爆発時の放出火山灰は高温でブリュームとなって浮上し、上空においては冷却作用のため上昇が停止する。最高高度に達すると上層風により吹送され、火山灰の自重で自然落下し地上への堆積に至る過程をたどる。

ある噴煙高度Dと風速vの状態において、 $w_a/v = D/x$ が成立するものとする。火口から距離xの範囲に落ちる火山灰量Q(x)は

$$Q = Q_0 \int_{Dv/x}^{\infty} f(w_a) dw_a \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 Q_0 は火口における放出火山灰量、 $f(w_a)$ は噴出火山灰の沈降速度の密度関数、 w_a は火山灰の終末沈降速度、 v は風速、 D は噴煙高度である。

ある沈降速度 w_a の粒子が単位面積当りに落ちる割合 $q(x, w_a) \Delta w_a$ は

$$q(x, w_a) \Delta w_a = \frac{Q}{b(x) \cdot x} \cdot f(w_a) \Delta w_a \int_0^{\infty} g\left(\frac{x w_a}{D}\right) \cdot \frac{x w_a}{D} h(D) dD \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 $g(v)$, $h(D)$ は v , D の確率密度関数である。

同一方位の地点xにおける火山灰の沈降速度の分布関数は

$$F(x, w_a) = \int_0^{w_a} q(x, w_a) dw_a / \int_0^{\infty} q(x, w_a) dw_a \quad \text{----- (3)}$$

いま、 $f(w_a)$, $g(v)$, $h(D)$ をそれぞれ対数正規とみなすと

$$F(x, w_a) = \int_{-\infty}^{x_a} \frac{1}{\sqrt{2\pi} S_1} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S_1^2}\right] dx \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 w_m , v_m , D_m 及び S_w , S_v , S_D はそれぞれ $\log w_a$, $\log v$, $\log D$ の沈降速度の中央値及び標準偏差、 $S^2 = S_w^2 + S_v^2 + S_D^2$, $S_1 = S_w \sqrt{S_v^2 + S_D^2} / S$, $\bar{x} = -(S_x/S)^2 \cdot \log(x w_m / D_m v_m)$, $x_a = \log_0(x w_a / w_m)$ である。式(4)より、堆積火山灰の粒度分布は標準偏差 S_1 、平均 \bar{x} の対数正規分布をなすことがわかる。また、 S_1 はxに無関係であり、沈降速度の中央値 w_{50} は、 $\bar{x} = x_a$ とおくと、

$$\begin{aligned} \log \frac{w_{50}}{w_m} &= -\frac{S_x^2}{S^2} \cdot \log \frac{x w_m}{D_m v_m} \\ \therefore \frac{w_{50}}{w_m} &= \left(\frac{x w_m}{D_m v_m} \right)^{-S_x^2/S^2} \quad \text{----- (5)} \end{aligned}$$

ここに、 w_m と w_{50} はそれぞれ噴出物及び堆積物の中央値である。すなわち、降灰の沈降速度の分布は、標準偏差が一定で中央値が距離とともに両対数紙で直線的に通減することを示している。

次に噴煙のたなびく方向の角を θ 、 θ の確率密度関数を $\phi(\theta)$ とすると、 θ 方向の降灰量 $P(x, \theta)$ は、

$$\begin{aligned} P(x, \theta) &= \int_{\theta-\Delta\theta/2}^{\theta+\Delta\theta/2} \int_0^{\infty} q(x, w_a) \cdot dw_a \cdot \phi(\theta) d\theta \\ &\doteq \int_0^{\infty} q(x, w_a) \cdot dw_a \cdot \phi(\theta) \Delta\theta \quad \text{----- (6)} \end{aligned}$$

ここで、 $b(x) = x \cdot \Delta\theta$, $\int_0^{2\pi} \phi(\theta) d\theta = 1$ であることを考慮し、風向の頻度を $W_a(\theta+\pi) = 2\pi \phi(\theta)$ 、 $f(w_a)$, $g(v)$, $h(D)$ を対数正規とすると

$$\frac{P(x, \theta)}{W_a(\theta+\pi)} = \frac{Q_0}{(2\pi)^{3/2} x^2 c S} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2S^2} \left(\log \frac{x w_m}{v_m D_m}\right)^2\right] \quad \text{--- (7)}$$

ここに、 $c = \log 10$ である。

3. 降灰の観測結果に関する考察

3.1 降灰観測所の設置位置

図-2は桜島周辺の着者らの降灰観測所の位置を示したもので、方位は北を 0° として右回りに約 150° の方角に設置している。また、鹿児島県砂防課により土石流観測システムが設置されている長谷川流域に対しても土砂生産量を推定するために降灰観測を実施中である。

3.2 降灰の平面的な拡散幅について

風下距離 x における火山灰の拡散幅 B はLANDSAT写真²⁾より、測定してプロットすると図-3のようになる。かなりバラツキが大きいが、平均的には B は \sqrt{x} に比例し、一様等方性の乱れの場合における多数回の瞬間放流の幅の拡がりと同じ結果になる。

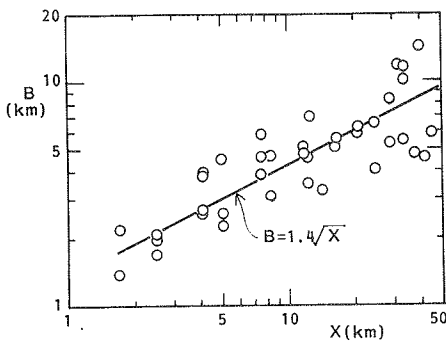


図-3 降灰の拡散幅

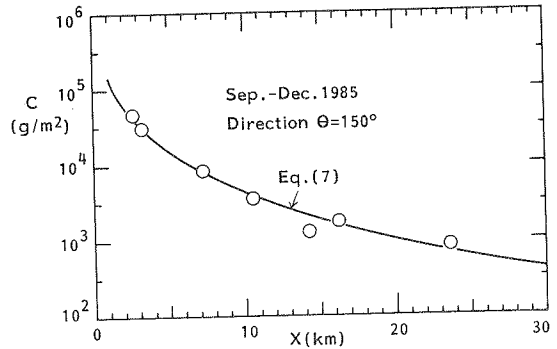


図-4 降灰の堆積量

3.3 降灰の堆積量について

図-4はA1～7地点における昭和60年9月から12月（4ヶ月分）の降灰堆積量 C （単位 g/m^2 、容器の断面積 $0.07645 m^2$ ）を、火口よりの距離 x （ km ）に対して示したもので、式（7）による理論値と実測値はよく一致している。

3.4 降灰の粒度特性について

図-5は、火口からの距離 x （ km ）に対応する各降灰の粒度分布の変化を対数確率紙で表示したものであるが、曲線の傾斜はほぼ一定である。

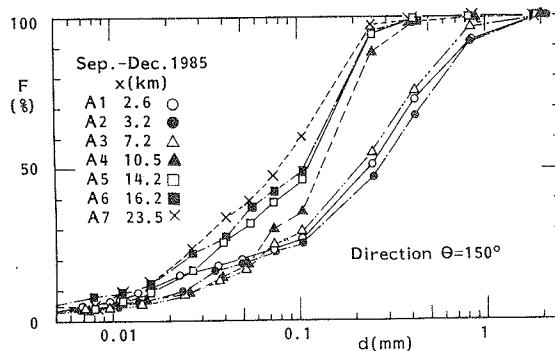


図-5 降灰の粒度分布

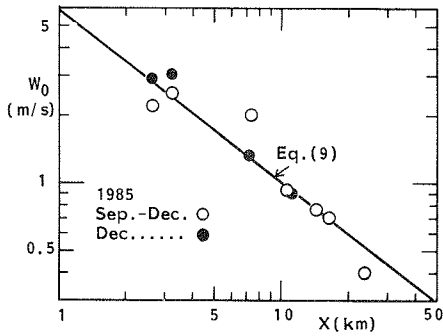


図-6 降灰の沈降速度と距離の関係

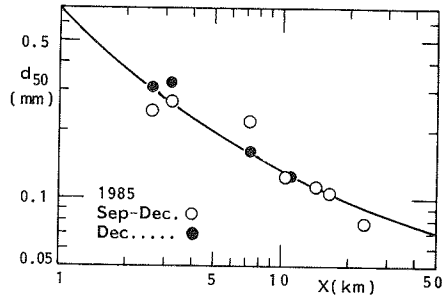


図-7 降灰の中央粒径と距離の関係

一方、粒径と沈降速度の関係は、

$$w_0 = \sqrt{\frac{4}{3} (\rho_s / \rho - 1) \frac{g}{C_D} d} \quad \text{----- (8)}$$

ここに、

$$C_D = \frac{24}{\sqrt{Re}} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34, \quad Re = \frac{w_0 d}{\nu}, \quad \rho_s = 2.69 \text{ g/cm}^3$$

図-5において、降灰は火口より遠方になるにしたがって細粒化し、その中央値 d_{50} を読み取ると、式(8)より沈降速度 w_0 に換算でき、火口からの距離 x (km) に対する沈降速度 w_0 (m/sec) の変化を示せば図-7のようになる。描点はほぼ直線的に減衰しており式(5)が成立つことがわかる。これより式(5)のパラメータを決めると

$$x = \frac{10}{w_0^{1.32}} \quad \text{----- (9)}$$

同様に、 x に対する d_{50} (mm) の変化を示せば図-7のようである。図から実測値と計算曲線の関係はよく一致していることが分かる。

3. 5 土石流の粒度特性による土石流発生域の推定

田原³⁾は野尻川の土石流の採取資料より、土石流中の粒度分布を与えている。同資料の中央粒径 d_{50} は0.24mmから0.7mmと時間的に増大している値を与えているが、今、対応する x の値に式(8)、(9)が適用できるものと仮定して計算すると $x = 2.98 \sim 0.98$ kmとなる。即ち、土石流は最初下流(3km付近)の流域の火山灰が落下し、次第に火口近く(1km付近)の火山灰が落下してきたと推定することができる。一方、春山・下川・井上⁴⁾は、黒神川(地獄河原)及び長谷川で溪床土砂に対して $d_{50} = 2.1, 0.32$ mmを与えているが、これらの値は同様に $x = 0.39, 2.4$ kmとなり、土石流発生場の位置を示唆している。

4. むすび

桜島の降灰観測資料から、新規堆積火山灰の中央粒径の沈降速度は距離に対してほぼ式(5)が成立することを明らかにした。また、土石流の粒度分布から土石流発生場の位置推定方法を示した。

謝辞：本研究をすすめるに際して、鹿児島県消防防災課より火山灰の観測資料を、鹿児島地方気象台より高層風の観測資料を提供いただいた。ここに、謝意を表する次第である。

参考文献：

- 1) 平野宗夫・疋田誠：桜島周辺の降灰量の推算、第21回自然災害科学総合シンポジウム講演要旨集、1984.10、pp.491-494.
- 2) 堤毅一・今堀信昭：リモートセンシングによる桜島の火山灰の拡散調査、鹿児島高専研究報告17号、1983.2、pp.109-115.
- 3) 田原正清：桜島の土砂流出の特性、第23回土木学会水理講演会論文集、1979.2、pp.69-74.
- 4) 春山元寿・下川悦郎・井上利昭：桜島火山灰砂の物理的性質、鹿児島大農学部演習林報告-第5号、1977.2、pp.65-92.