

雲仙普賢岳の火砕流流動予測シミュレーション

長崎大学工学部 学生員 ○山田 邦晴

長崎大学大学院 学生員 西田 渉

長崎大学工学部 正 員 野口 正人

1. まえがき

1990年11月17日、雲仙普賢岳は「島原大変肥後迷惑」で知られる寛政4年(1792年)の大噴火以来、実に198年ぶりに活動を再開した。普賢岳は、その火山の性格から火砕流を発生させ、1991年6月3日のものでは死者43人を出すに至った。これは、一つには、火砕流が火山噴火に必ずしも付随しないために良く知られていなかったことと、その危険性ゆえに詳細な観測がされてこなかったためである。現在(1992年1月時点)でも、雲仙普賢岳火砕流発生の危険性は去っておらず、島原・深江両住民の生活は困難を極めている。この種の大規模な自然災害に対処するためには、防災対策もさることながら、取りあえぬ減災対策が適切に実行に移されることが不可欠である。

以上のことから本研究では、火砕流の流動機構について検討し、住民の警戒・避難行動が少しでも円滑になされるように、その流動範囲の予測シミュレーションを行った。

2. 火砕流流動予測モデル

前項でも述べられたように、火砕流の流動機構については未だ解明されていない部分が多い。しかし、火砕流の特性を考えれば、火山噴出物を含んだ固・気混相流としての取り扱いが必要であり、また、高温流体が周囲の空気との温度差で密度流的流動特性を示すことは容易に推察される。これらのことから本研究では、火砕流のシミュレーションを行うために、以下に示される連続方程式、運動量方程式、熱拡散方程式、火山噴出物の拡散方程式を状態方程式と共に2次元解析することにした。勿論、火砕流内部のことをより詳細に知る目的からは3次元解析が避けられないが、火砕流の流下に伴う容積変化等については、周囲流体の連行現象との係わりで検討することにした。

連続方程式

$$\frac{\partial(\bar{\rho}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_{(j)}\bar{\rho}M_j)}{\partial x_j} = E\rho_a U \quad (1)$$

x, y 軸方向の運動量方程式

$$\frac{\partial(\gamma_{(i)}\bar{\rho}M_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\xi_{(i,j)}\bar{\rho}M_iM_j/h)}{\partial x_j} = -\rho_0gh \frac{\partial H}{\partial x_i} - \tau_{ib} + E\rho_aUU_i + gY_i \quad (i=1,2) \quad (2)$$

熱量の保存式

$$\frac{\partial(\bar{T}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\xi_{(j)}\bar{T}M_j)}{\partial x_j} = ET_aU \quad (3)$$

火山噴出物の質量保存式

$$\frac{\partial(\bar{C}h)}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_{(j)}\bar{C}M_j)}{\partial x_j} = EC_aU \quad (4)$$

状態方程式(温度と密度の関係式)

$$\bar{\rho} = \frac{1.293}{1 + 0.00367\bar{T}} \cdot \frac{p}{760} \quad (5)$$

状態方程式(混合流体密度)

$$\bar{\rho} = (1-C^*)\rho_r + C^*\rho_a \quad (6)$$

なお、実際の数値シミュレーションを実行するにあたっては、火砕流の流下速度が非常に大きいことや、周囲空気が多量に連行されること等を考慮して、本計算では、熱ならびに火山噴出物の拡散方程式における拡散項の影響を無視した。また、連行係数の見積りは次式に依った。

$$E = AR_i^{-1} \quad \text{ただし、} R_i = \frac{\Delta\rho/\bar{\rho}gh}{U^2} \quad (7)$$

3. 雲仙普賢岳の火砕流の数値シミュレーション

(1) 計算条件

前述された流動予測モデルにより、雲仙普賢岳の火砕流のシミュレーションを実行するため、国土数値情報の標高データを用いた。図-1には、「島原」の南半分、「雲仙」の北半分を処理した結果を合成したものが示されている。この地域では、各格子点は緯度方向に約 23.1m、経度方向に約 29.3mの大きさを持っているので、それぞれの方向に4×4の格子点を集め、数値計算に対する計算格子とした。したがって、計算格子の平均地盤高は16個の標高データの平均値として与えられた。また、計算に用いられたマンニングの粗度係数は、山林部、谷筋ならびに平野部（主として畑）のそれぞれに対して、0.018、0.015、0.012 s/m^{1/3}とされた。また、図-1に示された処理画像中には、建設省で測量された火砕流痕跡も同時に表示されている。なお、実際の計算を実行する際の境界条件として、発生源での火砕流の温度を 700℃、また、火山噴出物の体積濃度を 0.05%としたが、これらについては、今後実際現象を説明し得る妥当な値にする必要がある。

(2) 計算結果と考察

数値シミュレーションにより求められた結果を図-2に示す。これらは、火口から流下開始後2分30秒、4分、そして7分後の到達範囲を示したものであり、温度の流下方向への低減分布については図-3に示されている。先ず流下範囲については、火口から山肌を下り、谷筋に沿って平野部に至っている。これは実際の流下傾向に類似しているが、流下範囲の先端部において差異が見られる。原因としては、火砕流本体へのガス供給や、浮力効果によるエネルギー逸散の評価の違いなどが考えられる。次に温度については、火口付近において、高温であったが、流下とともに周囲流体の連行現象により次第に冷やされていくことがわかる。しかし先端部においても未だ高温を保っている。

4. あとがき

ここでは、雲仙普賢岳で発生した火砕流の流動特性を密度流としての連行効果を用いて検討した。先に示されたように本モデルによってある程度までの火砕流の到達範囲の予測が可能であることが示された。今後は、更に実測資料に基づいた物理諸量の評価を行い、予測精度の向上に努める必要があると考えている。

最後に、本研究を行うにあたって資料を提供して戴いた建設省河川局と国土地理院に深甚の謝意を表します。

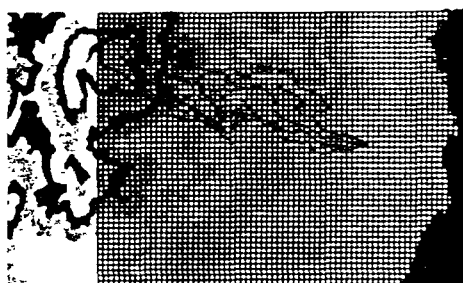


図-1 6月14日現在の火砕流堆積状況

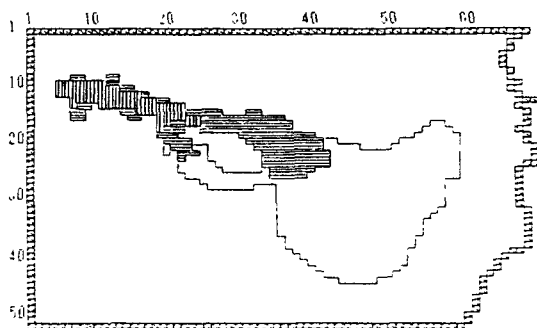


図-2 流下範囲の計算結果

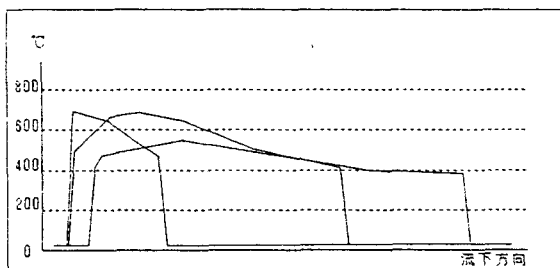


図-3 流軸方向の温度の計算結果