

平成 26 年 8 月口永良部島で発生した火砕流の到達範囲に関する基礎的研究

国立研究開発法人土木研究所 ○高橋 佑弥, 泉山 寛明\*, 野池 耕平, 藤村 直樹, 水野 秀明

\*) 現 国土交通省国土技術政策総合研究所

1. はじめに

口之永良部島では平成 26 年 8 月 3 日に小規模な水蒸気噴火が発生した。噴火規模が小さかったため崩壊した噴煙柱は火砕流へと変化せず、希薄な乱流流れである火砕サージとして山腹を流下した。火砕サージの到達範囲内では爆風による建造物の倒壊、熱風による家屋の焼損などが起こり、住民等がとどまっていた場合は重大な被害が想定される。したがって火砕サージが到達する範囲を精度良く推定することが望ましいが、その流下過程や停止条件などといった未解明な部分が多い。そこで本研究では噴煙柱崩壊により発生する単独の火砕サージの到達範囲を推定する数理モデルを開発し、口永良部島の事例に適用して精度を検証することを目的とする。

2. 口永良部島平成 26 年 8 月噴火

本研究では平成 26 年 8 月 3 日の口永良部島火山噴火に伴い発生した火砕サージを対象とした。火山活動解説資料<sup>1)</sup>によると、噴火は 12 時 24 分ころ新岳山頂火口付近より発生し、噴煙は少なくとも火口上空 800 m 以上にまで達した。現地調査結果<sup>2)</sup>では明確な火砕流堆積範囲は示されておらず、崩壊噴煙柱は火砕流本体部を形成せずに希薄な火砕サージとして単独で流下したと考えられる。この火砕サージと思われる熱風により火口から 1 km の範囲で樹木の倒伏が見られ、枯死や変色が見られる範囲は最大で 2 km の距離まで達した<sup>2)</sup> (図-1)。平成 26 年 8 月 6 日に実施した現地調査により火口北側で採取された火山灰の粒径は細かく、およそ 0.1 mm から 2 mm 程度であった。火砕サージ影響範囲の特徴としては西南西方向で火砕サージが比較的長距離にわたって流下している点が挙げられる。

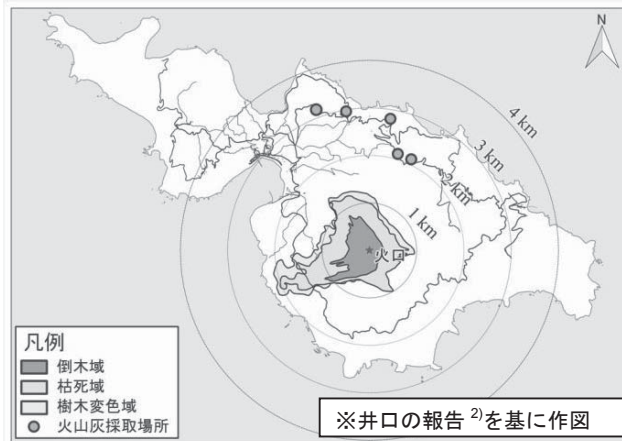


図-1 口永良部島全体図と火砕サージ影響範囲

3. 火砕サージ到達範囲推定式の導出

火砕サージの到達範囲を推定するためには周辺大気との密度差により流下する密度流として取り扱うことが一案として挙げられる。円柱状の噴煙柱が崩壊し、勾配  $i$  の斜面上を放射状に火砕サージとして流下するボックスモデルとし (図-2)、座標系として円柱座標系を採用した際の基礎式は以下に示す質量保存則と運動方程式である。

$$q_0 = \pi r_0^2 h = \pi r_0^2 h_0 \tag{1}$$

$$d\phi/dt = -w_s \phi/h \tag{2}$$

$$dr/dt = u = \sqrt{0.75/m g'(\phi) h i} \tag{3}$$

ここに、 $q_0$ : 初期体積、 $r_0$ : 噴煙柱の半径、 $h_0$ : 噴煙柱崩壊高度、 $r$ : 噴煙柱中心位置からの流動距離、 $h$ : 流動深、 $\phi$ : 火砕物の容積濃度、 $w_s$ : 沈降速度、 $t$ : 時間、 $m$ : 抵抗を表す係数、 $g'$ : 浮力加速度、 $i$ : 斜面勾配である。(2) 式の粒子の保存式中に表れる沈降速度  $w_s$  は乱流中を落下する粒径  $d$ 、抗力係数  $C_d (=0.44)$  の球体の終端速度とした。(3) 式の数値式は乱流状態を前提とした Ellison and Turner の式<sup>3)</sup>であり、係数 0.75 は密度欠損を表す定数である。また、 $m$  は抵抗を表す係数で小規模な実験施設では約 0.02 であるとされている。 $g'$  は大気と火砕サージの密度差が小さく、浮力を考慮した重力加速度であり、重力加速度  $g$  を用いて以下のように表される。

$$g'(\phi) = g(\rho_c(\phi) - \rho_{a0})/\rho_c(\phi) \tag{4}$$

$$\rho_c(\phi) = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_{a1} \tag{5}$$

ここに、 $\rho_c$ : 火砕サージの密度、 $\rho_{a0}$ : 火砕サージ周辺大気の密度、 $\rho_p$ : 火砕物の密度、 $\rho_{a1}$ : 火砕サージ内部の大気密度である。なお、火砕サージと大気との密度差は無視できない程度の差があるため、Boussinesq 近似は適用できず (4) 式の分母に  $\rho_{a0}$  を置くことはできない。

火砕サージは内部の粒子を沈降速度  $w_s$  で堆積させ、初期濃度  $\phi_0$  から濃度を低下させながら流下すると仮定した。したがって、 $\rho_c$  は徐々に低下し、いずれは  $\rho_{a0}$  に等しくなる。この時  $g'$  はゼロとなり、火砕サージは灰神楽へと遷移する。本研究ではこの時の濃度  $\phi_\infty$  より導かれる距離  $r_\infty$  を火砕サージの到達半径とした。火砕サージ到達範囲推定式は基礎式を整理し、範囲  $[0, r_\infty]$  で定積分することで式 (6)、(7) のように与えられる。

$$\int_0^{r_\infty} (r^3/\sqrt{i}) dr = (G(\phi_0) - G(\phi_\infty)) \sqrt{0.75 q_0^3 / \pi^3 m w_s^2} \tag{6}$$

$$G(\phi) = \sqrt{g} \left( \frac{2(1 - \rho_{a0}/\rho_{a1})}{\sqrt{1 - \rho_{a0}/\rho_{a1}}} \arctan \left( \frac{\sqrt{g'(\phi)}}{\sqrt{1 - \rho_{a0}/\rho_{a1}} g} \right) - \log \left| \frac{\sqrt{g'(\phi)} - \sqrt{g}}{\sqrt{g'(\phi)} + \sqrt{g}} \right| \right) \tag{7}$$

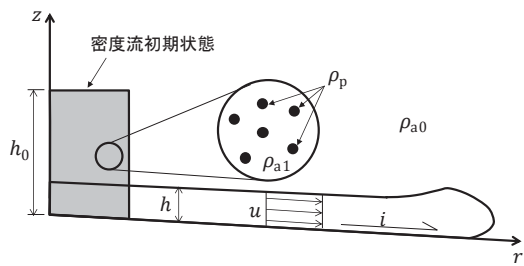


図-2 密度流模式図

式 (6) の右辺は初期の条件より一意に定まり、また容易にわかるように  $G(\phi_0)$  はゼロとなる。左辺は地形条件を考慮して数値積分可能であるので、等号が成り立つ到達半径  $r_0$  を探索することにより火砕流の到達範囲を推定することができる。なお、逆勾配区間 ( $i < 0$ ) では火口に向かう速度が算出されてしまう。本研究では簡単のため、逆勾配区間では最小勾配  $i_{\min}$  ( $=0.01$ ) を設定して火砕サージは常に火口から離れる方向に流れると仮定した。

#### 4. 火砕サージ到達範囲の推定

本研究では火砕サージが火口を中心として放射状に流動すると仮定し、火口から 16 方向に直線を引き、この直線上で 50 m ピッチに火口から 3 km の範囲で標高値を抽出し地形条件とした。標高値は国土地理院基盤地図情報の 5 m 数値標高モデルより抽出した。屋久島気象観測所発表の噴火時の気象情報より大気密度は  $1.159 \text{ kg/m}^3$  とした。また、火砕サージの温度は雲仙普賢岳において直接計測された火砕サージ温度<sup>4)</sup>を参考にセ氏 350 度であったと仮定して、 $\rho_{a1}$  を  $0.566 \text{ kg/m}^3$  とした。火砕サージ内を浮遊する粒子の粒径は平成 26 年 8 月 6 日に実施した現地調査の際に採取された火山灰より 1 mm と設定し、火砕物の密度は軽石程度を想定して  $2,000 \text{ kg/m}^3$  とした。国土交通省九州地方整備局撮影の映像から噴煙柱のおおよそ半分程の高さの部分から火砕物が落下している様子が観察されたため、 $h_0$  は 400 m とした。火砕サージの火口噴出時の火砕物容積濃度は  $1.0\text{e-}4$  から

$1.0\text{e-}2$  程度であることを参考に、 $\phi_0$  として  $1.0\text{e-}3$  を設定した。抵抗係数  $m$  は小規模な実験水路では 0.02 であるが、この値をそのまま用いると過小評価となったため実績値と推定値の比較から試行錯誤的に決定し  $1.0\text{e-}5$ 、 $1.0\text{e-}6$ 、 $1.0\text{e-}7$  の 3 パターンとした。解析結果を図-3 に示す。西南西方向の評価は逆勾配や火口壁の形状などの地形的要因を受けてやや過小評価となったが、火砕サージの主たる到達範囲は推定することができた。

#### 5. おわりに

本研究では噴煙柱の崩壊より発生する単独の火砕サージの到達範囲を推定する数理モデルを開発し、口永良部島で発生した火砕サージに適用して精度を検証した。本手法により口永良部島平成 26 年 8 月噴火の際に発生した火砕サージについて現地調査などから得られた物性値を用いて再現計算を実施し、概ね火砕サージの到達範囲を再現することができた。今後、より確からしい到達範囲を算出するため各パラメータの感度解析などを実施していきたい。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり九州地方整備局よりご提供いただいた噴火直後に採取された火山灰試料を参考にさせていただきます。ここに深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 気象庁 (2014): 火山活動解説資料, 平成 26 年 8 月 7 日 11 時 00 分発表
- 2) 井口正人 (2015): 続発する日本の水蒸気噴火, DPRI NEWSLETTER, Vol. 75, pp. 3-6
- 3) T. H. Ellison and J. S. Turner (1959): Turbulent entrainment in stratified flows, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 6, pp. 423-448
- 4) 谷口宏充・中田節也・松島健・鎌田桂子・三軒一義 (1993): 流走中における雲仙岳火砕サージのキャラクターゼーション, 日本火山学会講演予稿集, Vol. 1993, No. 2, p. 59

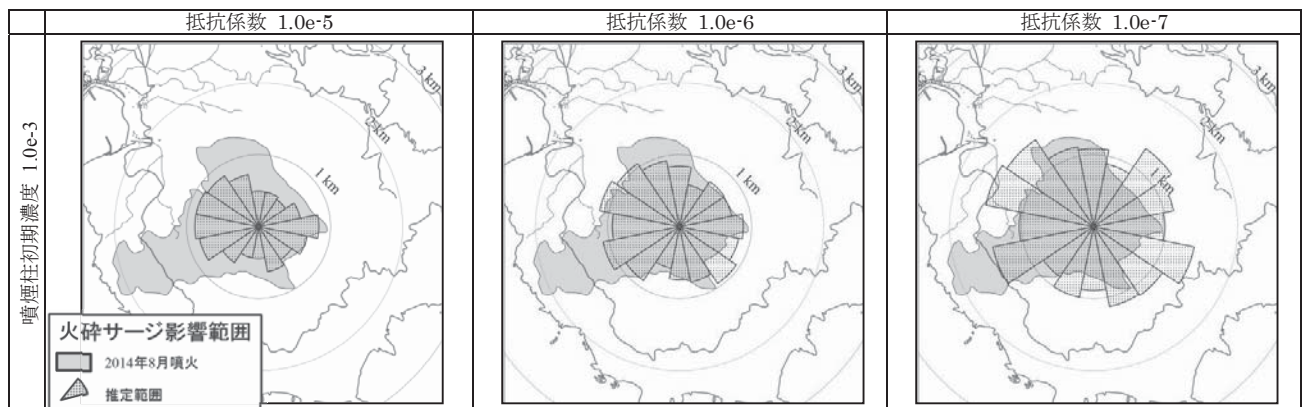


図-3 解析結果一覧