

中規模火山噴煙の数値シミュレーション：噴煙の内部構造と乱流混合

Numerical simulation of medium-scale volcanic eruption clouds: Inner structures and turbulent mixing

鈴木 雄治郎 [1]; 小屋口 剛博 [2]

Yujiro Suzuki[1]; Takehiro Koyaguchi[2]

[1] JAMSTEC,IFREE; [2] 東大・地震研

[1] JAMSTEC,IFREE; [2] ERI, Univ Tokyo

爆発的火山噴火では、火山ガスと火山灰からなる噴出物が周囲の大気を混合し、取り込んだ大気を火山灰の熱で膨張させることで浮力を得て上昇する。この噴煙の最高到達高度や水平方向の広がり・火砕流の発生条件は、大気を取り込み量を決める乱流混合に支配され、水蒸気の相変化・火山灰粒子の分離などのメカニズムにも依存する。水蒸気の相変化と火山灰粒子の分離は、特に小さな噴火の規模の場合に重要性が増す。本研究では、将来的にこれらの物理を系統的に解析することを視野に入れ、小中規模噴煙（ 10^7 kg/s 以下の噴出率）を定量的に正しく再現する数値モデルの開発に取り組んでいる。今回は特に、中規模噴煙における乱流混合の性質に焦点を当てた。噴火の規模が小さくなるほど噴煙高度に対する火口径の比は小さくなるため、必要となる計算グリッド数と計算分解能が増加する。噴煙の非定常3次元モデル (Suzuki et al., 2005) に一般座標系を導入することで計算の効率化を行い、中規模噴煙においても火口付近の細かな乱流構造と噴煙全体の挙動を同時に再現できるようにした。

一般に、乱流ジェットや乱流プルームでは、平均上昇速度に対する周囲流体の取り込み速度の割合を混合効率の指標とし、エントレインメント係数 (k) と呼ぶ (Morton et al., 1956)。密度成層のない流体中での乱流ジェットや乱流プルームは自己相似性を持ち、 k は一定値をとることが知られている (乱流ジェット: 0.07, 乱流プルーム: 0.10)。大気が成層構造を持ち、非線形な密度変化をする噴煙の場合では、その混合効率は場所によって変化し、 k の値が一定とはならない可能性がある。数値計算結果からは k を求める方法としては以下の3通りが考えられる: (1) 噴煙高度や火砕流発生条件から噴煙全体もしくは火口付近の k の空間平均値を求める (Suzuki et al., 2005), (2) 鉛直方向の質量流量 Q や流量の高さ変化 dQ/dz などから実効的な k の値を高さの関数として求める (鈴木・小屋口, 2008, JPGU), (3) 半径方向の大気流入量 m_{in} を直接測定することで取り込み速度と平均上昇速度の比から k の値を高さの関数として求める。今回は、より正確な見積もりである (3) の手法を用い、(1) や (2) で求めたこれまでの結果と比較した。

計算の結果、火口より十分に離れた高度では時間平均・規格化した上昇速度はほぼ同じ Gaussian 分布で近似できることが分かった (標準偏差 $L \sim 0.1$)。大気流入量 m_{in} は中心軸から $2L$ 以上離れた領域でほぼ一定値を取り、その高さにおける dQ/dz とほぼ一致した。各高さにおける m_{in} の測定値に基づくと、 k の値は火口付近で小さく (~ 0.04)、距離とともに増加して単純な乱流プルームの値 (~ 0.1) に漸近することが分かった。今回の (3) による k の正確な見積もりは、(1), (2) による結果とも整合的であり、噴煙柱内での乱流混合効率が火口からの距離によって変化することが確かめられた。