

火山噴煙の3次元モデルによる数値実験: 噴煙柱の乱流混合効率

Numerical experiments of a volcanic eruption cloud: Efficiency of turbulent mixing in an eruption column

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

爆発的火山噴火において、大気は上昇する噴煙に取り込まれ、火砕物の熱で膨張する。この膨張によって獲得された浮力が、噴煙上昇の原動力となる。したがって、上昇中の噴煙がどれだけ周囲の大気と混合するかが噴煙のダイナミクスを決定する重要な要因となる。Morton et al. (1956) は、密度成層のない流体中での乱流ジェットや乱流ブルームにおいて周囲流体の取り込み速度は平均上昇速度に比例すると仮定し、乱流ジェットや乱流ブルームの挙動を説明した。この仮定において、エントレインメント係数 (k) とよばれる比例係数は取り込みの効率を表し、一定値 (乱流ジェット: 0.07, 乱流ブルーム: 0.10) をとる。近年、実験的研究 (Carazzo et al., 2006) や数値的研究 (Pham et al., 2006) によって、 k の値は噴出口からの距離によって変化することが明らかになってきた。噴煙においても k の値の変化が噴煙高度や火砕流発生条件に大きく影響する可能性がある。したがって、本研究では、噴煙を数値シミュレーションによって再現し、 k の値を火口からの距離の関数として具体的に求めることを目指す。

噴煙再現のための3次元数値モデルは Suzuki et al. (2005) に従い、平坦な地表面にある円形の火口から噴煙が高速噴出する場合を想定した。噴煙内の火砕物と火山ガスの速度差はゼロとし、噴煙は一つ流体として振舞うと仮定した。噴煙と大気が混合した場合については、その混合比によって比熱比を変化させて、噴煙と大気の混合流体を新たに一つの流体として状態方程式・エネルギー式を与えた。これにより、火口では大気密度より大きい噴煙密度が大気を取り込み膨張することによって大気密度よりも小さくなる性質を再現することができる。支配方程式は圧縮性流体のナビエ・ストークス方程式を適用し、計算スキームは一般的な圧縮性流体解析法の一つである Roe 法を用いた。計算精度を上げるためグリッド間の流束計算には MUSCL 法を適用した。時間積分は時間分割法を用いた。噴煙内外で生じる乱流混合が数値粘性に依存しない十分に細かなグリッドサイズを用いた。

比較的小規模なプリニー式噴火 (噴出率 10^6 - 10^7 kg/s) について計算し、噴煙柱が成長する様子を再現した。計算結果から体積流量 ($V=UL^2$)、速度流量 ($W=U^2L^2$)、質量流量 ($Q=mUL^2$)、運動量流量 ($M=mU^2L^2$) を測定し、それに基づき k の局所的な値を求めた。ここに m , U , L はそれぞれ各高度における平均密度、上昇速度、特徴的長さスケールである。上記の流量から求められる U , L , Q を質量保存式 (Morton et al., 1956) に代入することで、 k を火口からの距離の関数で表すことができた。予備的な計算では、火口付近で k の値は小さく (~ 0.05)、距離とともに 0.1 に漸近することが分かった。従来の数値的研究 (Suzuki et al., 2005) や実験的研究 (Kaminski et al., 2005) では、噴煙の大局的な振る舞いから間接的に k の値を求め、火砕流発生条件から決まる k の値が噴煙柱高度から決まる k の値よりも小さいことを示した。局所的な k の値を求めた本結果は、従来の間接的に求められた k の値の変化をサポートする結果である。