

3次元数値モデルによる傘型噴煙形成のシミュレーション その2: 観測可能量の評価

3-D numerical simulation of umbrella clouds (2): Validation of the observable data

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

噴煙の到達高度や傘型噴煙の高度・拡大速度は、爆発的噴火の規模を知るうえで数少ない情報源となる。火口から出た噴煙は固体粒子である火山灰を多く含むため周囲の大気よりも重い。しかし、乱流混合によって大気を取り込むと火山灰の熱で取り込んだ大気を急激に膨張させ、噴煙全体の密度は周囲の大気よりも低下する。浮力を得た噴煙柱や灰かぐらは高度数十 km まで上昇する。噴煙柱・灰かぐらは密度が成層大気と釣り合う中立高度になっても余分な運動量を持つためさらに上昇し、最高到達点で運動量を失うと重力流として流れ下り、中立高度で水平方向に傘型噴煙として拡大する。

Woods [1988] は、大気圧と平衡状態にある噴煙が水平方向に均質であると仮定した鉛直 1 次元モデルを構築し、噴出率が大きくなるほど単位時間当りに大気に注入される熱エネルギーが大きくなるため、噴煙到達高度と傘型噴煙高度は系統的に高くなると予想した。Sparks et al.(1997) は傘型噴煙が大気圧と平衡状態にあると仮定した水平 1 次元モデルを構築し、傘型噴煙の体積膨張率と半径の関係を求めた。しかし、噴煙柱・灰かぐらが大気圧と平衡であること、水平方向に均質であることは自明ではない。したがって、3 次元的な構造をもつ実際の噴煙では、噴煙到達高度・傘型噴煙高度・拡大速度と噴出率の関係は 1 次元モデルの見積もりと異なる可能性がある。そこで、3 次元数値モデルによって灰かぐら・傘型噴煙を再現し、圧力・不均質性の効果を検討した。今回は特に、観測可能量である到達高度・傘型噴煙高度・拡大速度の相互の関係について鉛直・水平 1 次元モデルの結果とより定量的な比較を行った。

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を正確に再現するために、十分に細かなグリッドサイズを用い、噴煙と大気の混合が数値粘性に依存しないようにした。

火口半径 1km、噴出率 $10^8 8.9 \text{ kg/s}$ の噴出条件で計算した結果、火砕流・灰かぐら・傘型噴煙が形成する様子を噴火開始後約 1500 秒まで再現できた。火口から出た噴煙は周囲の大気よりも重く、運動量を失うと大気とほとんど混合しないまま火砕流として地表面を流れた。火砕流は 300 秒で約 8km まで到達し、その上面で大気と混合して軽くなった噴煙が灰かぐらとして上昇した。上昇した灰かぐらは成層大気中で周囲の大気と釣り合い、高度約 30km で傘型噴煙として水平方向に拡大した。

最高到達高度・中立高度・傘型噴煙高度・拡大速度・体積流量の相互関係について 1 次元モデルとの比較を行った結果、次のことが分かった。(1) 3 次元モデルにおける最高到達高度は鉛直 1 次元モデルで見積もられる最高到達高度よりも高い。(2) 3 次元モデルにおける傘型噴煙高度は鉛直 1 次元モデルで見積もられる中立高度とほぼ一致する。(3) 3 次元モデルにおける中立高度は鉛直 1 次元モデルで見積もられる中立高度より低い。(4) 3 次元モデルにおける傘型噴煙での水平方向の体積流量は、鉛直 1 次元モデルで見積もられる中立高度を通過する鉛直方向の体積流量とほぼ一致する。(5) 同じ体積流量を与えた場合でも、3 次元モデルにおける傘型噴煙の拡大速度は水平 1 次元モデルで見積もられる拡大速度よりも小さい。(1) と (3) で見られる 3 次元モデルと 1 次元モデルの違いは、噴煙柱の一部で高圧領域が存在することが原因と考えられる。(2) と (4) は、傘型噴煙の圧力が大気圧と平衡状態になっていることを示す。(5) については、フィールドデータの傘型噴煙拡大速度から水平 1 次元モデルを使って得られる体積膨張率、さらに鉛直 1 次元モデルを使って得られる噴出率は実際よりも小さいことを示唆する。