

噴煙の2次元数値シミュレーション : 火山灰の熱とエントレインメントの効果

2-D Numerical Simulation of Eruption Clouds : Effects of Ash's Heat and Entrainment

鈴木 雄治郎[1], 小屋口 剛博[2], 小河 正基[3], 蜂巢 泉[4]

Yujiro Suzuki[1], Takehiro Koyaguchi[2], Masaki Ogawa[3], Izumi Hachisu[4]

[1] 東大・新領域・複雑理工学, [2] 東大・新領域, [3] 東大、教養、宇宙地球, [4] 東大・総合文化・広域

[1] Frontier Sci, Tokyo Univ, [2] Frontier Sciences, Univ Tokyo, [3] Dept. of Earth Sci. & Astronomy, Univ. of Tokyo at Komaba, [4] Arts and Sci, Tokyo Univ

<http://esa.c.u-tokyo.ac.jp/~suzuki/>

要旨(日本語)

はじめに

噴煙が火砕流となるか噴煙柱となるか、という問題には、噴煙と大気がどれだけ混ざるか、そして取り込んだ大気を火山灰の熱によってどの程度膨張させることができるかが重要であるとされる(Sparks, 1986)。この問題に定量的にアプローチする手段として数値モデルが非常に有効であり、Woods[1988]に代表される準1次元モデルによって、噴出率と噴出速度で噴煙の挙動が決定されることが定量的に示されてきた。しかし、噴煙と大気の混合の大きさは、噴煙と大気の境界で発生する乱流に依存するが、その乱流をより現実的に再現するためには、3次元もしくは2次元での見積もりが必要とされる。これまで、火山灰の熱的影響に注目した2次元での数値シミュレーションは非常に少ないが、Ishimine[2000]がその代表として挙げられる。現在の計算機能力では噴煙を3次元的に再現することはまだ難しいので、本研究では、まず噴煙を2次元的な構造を持つと仮定した上で、Ishimine[2000]にならぬ、火山灰の効果を含めた軸対称2次元の数値モデルの構築を試みた。本モデルの特徴は火口での高圧状態を再現することができることと、計算分解能が非常に高いことである。

計算手法

モデルは、現実中存在する火山体の複雑な地形は無視し、平坦な地表面に存在する円形の火口から、鉛直上向きに噴煙を噴出させることを想定する。圧縮性流体としての噴煙は、支配方程式にEuler方程式を用い、衝撃波のシミュレーションでよく用いられている風上差分法の一つのRoe法を利用した。噴煙内の火山灰と火山ガスの速度差はないとし、一つの流体として振舞うと仮定した。噴煙は噴出直後90~97wt%が火山灰で構成されているため、非常に密度が大きく、比熱の大きい流体として振舞う。噴煙の(火山灰と気相の混合物)の状態方程式は、気相の体積分率が高いことから、近似的に理想気体の状態方程式と同様の形式で表現される。そこで、噴煙と大気の混合物に対して、単位体積中に含まれる噴煙が多い程、分子量と比熱が大きくなるように比熱比を変化させることによって、噴煙と大気の混合物の状態方程式を近似的に再現することができる。このように定義した噴煙と大気の運動や混合過程の計算は直接数値シミュレーション(DNS:Direct Numerical Simulation)によって行なった。

計算結果・考察

計算結果から、噴煙の境界で渦が発生し、大気との混合が行なわれている様子が見られた。混合した流体は高温火山灰の存在によって膨張し、密度が低下して浮力を獲得し上昇した。この結果は、噴煙と大気の混合過程が噴煙のダイナミクスに対して果たす役割を定性的に再現しているものと考えられる。

高度20km, 30kmまで上昇する噴煙の内部構造の様子からは、噴煙と大気が非常に効率的に混合することが確認された。噴煙は高度10km程度では、中心軸付近でも十分に大気と混合し、ほぼ均一に浮力を獲得する。このことから、噴煙の乱流状態が大気に取り込みに非常に強く影響していることが分かる。

また、火口付近では、高速ジェットに特徴的な複数の衝撃波を再現することもできた。噴出圧力の違いによって、それらの衝撃波と流れのパターンは変化することが分かった。

今後の課題

現時点では、噴煙内の火山灰の効果を実験的に再現できるようになった段階である。今後、Woods[1988]の準1次元モデルから得られる結果と比べ、2次元の計算では噴煙柱と火砕流のどちらが形成されやすいか、噴煙柱・火砕流の規模の見積もりがどの程度ことなるのか、について定量的に調べていくことが必要となる。

また、噴出圧力の違いによる流れのパターンの変化、そして混合する大気の変化についても詳細に調べるのが課題となる。

参考文献

R.S.J.Sparks. The dimensions and dynamics of volcanic eruption columns. Bull.Volcanol.,48,3-15,1986.
A.W.Woods. The fluid dynamics and thermodynamics of eruption columns. Bull.Volcanol.,50,169-193,1988.
Y.Ishimine. Numerical study of volcanic eruption columns. 博士論文, 東京大学大学院,2000.