

火山噴煙における乱流の多次元構造と噴煙・大気の混合

Multi-dimensional Structures of Turbulent Mixing between Eruption Cloud and Air in Explosive Volcanic Eruption

鈴木 雄治郎[1], 小屋口 剛博[2]

Yujiro Suzuki[1], Takehiro Koyaguchi[2]

[1] 東大・新領域・複雑理工学, [2] 東大・新領域

[1] Frontier Sci, Tokyo Univ, [2] Frontier Sciences, Univ Tokyo

<http://www.gaea.k.u-tokyo.ac.jp/~yujiro/Study/study.html>

はじめに

爆発的火山噴火において、大気は上昇する噴煙中に取り込まれ、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。この噴煙と大気の混合の程度は、噴煙と大気の境界で発生する乱流に依存する。従来の噴煙モデル(例えば、Woods[1988]による準1次元モデル)は、噴煙の平均的上昇速度に比例して周囲の大気を取り込むといったエントレインメント仮説(e.g. Morton et al. [1956])に基づいている。しかし、この仮説を検証するためには、多次元数値モデルによって乱流混合を再現する必要がある。本研究は、鈴木ほか[2001, 合同大会]で報告した数値モデルを改良して、噴煙と大気の混合メカニズムを理解することを目的とした。

計算手法

モデルは、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一般的に用いられている風上差分法の一つである 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(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。

噴煙と大気の混合メカニズムを解析する上では、(1)流れの多次元構造・非対称性、(2)固体粒子を含むことによる状態方程式の非線形性、(3)乱流における大スケールの渦から小スケールの渦へのエネルギー輸送、を再現することが重要となる。一般に、乱流ジェットや乱流ブリュームによる混合の大局的な性質は、大きなスケールの渦の性質によって決定されており、subgrid model の詳細には強く依存しないことが知られている。本モデルでは、計算領域を細かく分割することで空間精度を十分に上げ、混合の大局的な性質がメッシュサイズに依存しないことを確認したうえで、直接数値シミュレーション(DNS:Direct Numerical Simulation)によって計算した。

計算結果・考察

今回は特に上記(1)に注目し、噴煙を軸対称と仮定した2次元計算と、3次元直交座標での計算による混合の様子の比較に焦点を合わせた。

3次元計算では噴出流体が水平方向にゆらぐ内部構造が確認され、ジェットの噴出角度が一定になるというエントレインメント仮説の特徴が再現された。また、数値計算結果は、エントレインメント係数が約 0.1 という室内実験 [Papanicolaou & List, 1988]の結果とよい定量的な一致をみた。一方、軸対称2次元計算でのジェットは、中心軸付近に沿う細長い流れとなり、エントレインメント係数は3次元の場合に比べ有意に小さな値となった。この違いは、2次元軸対称計算では、ジェットの水平方向の変動が中心軸に拘束されることに関連していると考えられる。つまり、非対称性や中心軸のゆらぎが、ジェットと周囲の大気との混合に本質的な役割を果たしていることが分かった。したがって、噴煙と大気の混合の正確な見積りには、3次元の数値モデルで計算することが今後必要不可欠であり、3次元構造・非対称性のさらなる解明が非常に重要であることが示された。

参考文献

A.W.Woods, Bull.Volcanol., 50, 169-193, 1988.

B.R.Morton, S.G.Taylor and J.S.Turner, Proc.Roy.Soc., A234, 1-23, 1956.

鈴木, 小屋口, 小河&蜂巢, 合同大会要旨集, Jq-007, 2001.

P.N.Papanicolaou & E.J.List, J.Fluid Mech., 195, 341-391, 1988.