

火山噴煙における乱流混合の数値計算での再現

Turbulent Mixing between Eruption Cloud and Air in a Numerical model of Explosive Volcanic Eruption

鈴木 雄治郎[1], 小屋口 剛博[1]
Yujiro Suzuki[1], Takehiro Koyaguchi[1]

[1] 東大・新領域
[1] Frontier Sciences, Univ Tokyo

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

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。この噴煙と大気との混合の程度は、噴煙内外で発生する乱流の性質に依存する。Dobran et al. [1993]に代表されるこれまでの噴煙の数値モデルの多くは Large Eddy Simulation (LES) などの subgrid スケールモデルを用いて異なるスケールの渦からなる乱流混合を再現した。一方で、これまでの研究の多くは乱流の 3 次元構造や非対称性を無視し、噴煙を軸対称 2 次元空間で解析していた。また、それらは空間 1 次精度のスキームを用いていた。そこで、これまでのモデルの妥当性を検証するために、本研究では、鈴木ほか [2001, 合同大会] で提案した数値モデルを用い、噴煙の乱流混合における多次元構造・非対称性と数値スキームの空間精度の影響を評価した。

利用した数値モデルは、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している。噴煙内の火山灰と火山ガスの速度差はないとし、噴煙(火山灰と気相の混合物)は一つの流体として振舞うと仮定した。モデルでは、この噴煙と大気との混合を考えるが、噴煙は気相の体積分率が高いことから、大気とともに理想気体の状態方程式で表した。火山灰を多く含む噴煙は、比熱と分子量が大きい理想気体として振舞う。噴煙と大気が混合した場合、単位体積中に含まれる噴煙が多い程、比熱と分子量が大きくなるように比熱比を変化させることによって、噴煙と大気と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。噴煙の支配方程式には圧縮性流体の Euler 方程式を適用し、差分化した Euler 方程式は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の Roe 法で数値的に解いた。

まず乱流の多次元構造と非対称性に注目した。数値計算は 3 次元直交座標で行い、噴煙と大気との混合の様子を観察した。その結果、火口付近のガススラスト域では大気をほとんど取り込まない領域(Fountain)が形成され、そこでは流れの軸対称性が維持されていることが分かった。しかし、対流域では噴煙の中心軸の水平方向のゆらぎが噴煙・大気との混合や噴煙の広がり大きく影響することが明らかになった。つまり、火砕流の発生条件に直接影響するようなガススラスト域の構造は軸対称 2 次元計算で十分再現できるが、対流域の乱流混合の再現には 3 次元計算が必要であることが示唆された。

次に、計算の上での空間分解能が乱流混合へ及ぼす影響を調べた。一般に、乱流ジェットや乱流プルームによる混合の大局的な性質は、乱流中の大きなスケールの渦の性質によって決定されており、小スケールの渦には強く依存しないことが知られている。そこで我々は、噴煙の大局的な乱流混合を正確に記述できるような空間分解能を見積もった。計算の結果、100m オーダーの渦が大局的な乱流混合に影響していることが分かった。また、そのようなサイズの渦は空間 3 次精度の計算スキームではセルサイズが 50m の時でも再現することができるが、1 次精度のスキームではセルサイズが小さくても (~10m) 分解することができないことも分かった。さらに、subgrid scale model として一般的に知られる Large Eddy Simulation を用いた計算と、直接数値シミュレーション(DNS)での計算結果を比較し、乱流混合の様子は subgrid スケールにほとんど依存しないことが分かった。以上より、subgrid scale model よりむしろ、十分に小さなセルサイズで高精度のスキームを用いることが噴煙の乱流混合を考える上で重要である、ということが明らかになった。

参考文献

Dobran, F., A. Neri, and G. Macedonio, *J. Geophys. Res.*, 98, 4231-4259, 1993.

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