

## 多流体近似に基づく噴煙柱のラージエディシミュレーション - 噴煙柱発達に及ぼす乱流モデルの影響 -

## Large-eddy simulation of eruption column based on multi-fluid approximation - Effects of turbulent model on development

須藤 仁<sup>1\*</sup>, 服部 康男<sup>1</sup>, 土志田 潔<sup>1</sup>

SUTO, Hitoshi<sup>1\*</sup>, HATTORI, Yasuo<sup>1</sup>, TOSHIDA, Kiyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (財) 電力中央研究所

<sup>1</sup> Central Research Institute of Electric Power Industry

爆発的な噴火に伴う噴煙の運動において、乱流は、その運動様式（噴煙柱、火砕流等）を決定づける重要な要素の一つである。従来の定常一次元噴煙柱モデルは、乱流の効果を理論式における定数として取り扱うが、火口に近い領域の評価や噴煙崩壊条件の推定において、十分な精度を有していないとの指摘もある。近年、その効果をより直接的に取り扱う非定常三次元噴煙柱モデルの開発が進んでいる（例えば、Neri et al. 2007, Suzuki and Koyaguchi 2010）。しかし、気体と火砕物に対する乱流のモデリングについては不明な点が残されている。本報では、多流体近似に基づく非定常三次元の噴煙柱解析コードを新たに構築する。二種類の乱流モデル（サブモデル）を用いた解析結果と定常一次元モデルによる解析結果との対比を通じて、乱流モデルの影響を議論する。

本コードでは、多様な噴煙柱形状への適用性、様々な大きさの火砕物の運動の再現性に優れた Neri et al. (2007) のモデルの概念を採用する。また、オープンソースコード FrontFlow/red (Ver.3.0) を利用し、乱流の表現としてサブグリッドスケール (SGS) モデルに基づくラージエディシミュレーション (LES) を採用する。気体成分と様々な粒径の火砕物を複数の相に分類して、それぞれの相に対する質量保存式、運動量保存式、エネルギー保存式を基礎方程式とする。SGS モデルは、基礎方程式内の応力項、拡散項のサブモデル式の一部となる。気体相の SGS モデルとしては、一般に広く用いられている Smagorinsky モデルおよび、SGS における抗力の影響を加味した Yuu モデル (Yuu et al. 2001)、粒子相の SGS モデルとしては、粒子の緩和時間と気流の渦の持続時間との関係を考慮した Hinze (1975) の提案式を用いる。方程式の空間離散化には、粒子相の各保存式の移流項に三次精度 TVD スキーム、その他に二次精度中心差分法を用いる。時間積分には、オイラー陰解法と三次精度 Adams-Moulton 法を組み合わせた fractional step 法を適用する。

初めに、単純体系（単相の浮カブルーム、固気混相噴流）での既往の実験データとの対比により、本コードの妥当性を部分的に評価した。その結果、本解析値は、浮カブルームの相似則を満足し、単相流の実験値と良く対応すること、気体相と粒子相の速度差に起因する速度の変化や粒子相の乱流強度等についても実験値と良く対応すること、規模の小さな室内実験体系において SGS モデルの効果は小さいことを確認した。次に、プリニー式噴火の噴煙柱を対象に、定常一次元モデルの結果 (Woods 1988) との対比を行った。その結果、噴出速度に応じた噴煙柱の形状変化に対して、一次元モデルと本解析は良く対応した。さらに、SGS モデルの選択により噴煙柱高さ等の特性に変化が生じたことから、実規模の噴煙柱解析においては、SGS モデルが結果に無視できない影響を及ぼすことが示唆された。

キーワード: ラージエディシミュレーション, 多流体近似, 噴煙柱, 乱流モデル

Keywords: large-eddy simulation, multi-fluid approximation, eruption column, turbulent model