

火道・噴煙統合モデルの構築に向けて(その4)3次元数値計算による噴煙の内部構造の解析

A combined model of conduit flow and eruption cloud dynamics. Part 4. Internal structure of eruption cloud

小屋口 剛博^{1*}, 鈴木 雄治郎¹
KOYAGUCHI, Takehiro^{1*}, SUZUKI, Yujiro¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

我々は、噴煙のダイナミクスとマグマ溜りの条件を統一的に理解することを目標として「火道・噴煙統合モデル」を構築している。このモデルは、ある開き角で上方に広がる火口をもつ火道を想定し、マグマ溜りの深さと圧力を境界条件として与えたときの火道流と噴煙のダイナミクスについて、1次元定常火道流モデル(Koyaguchi, 2005; Koyaguchi et al. 2010)と3次元噴煙モデル(Suzuki et al., 2005)に基づいて数値計算するものである。本研究では、当面の課題として、このモデルを用いて、マグマ溜りや火口の条件が火砕流発生条件に与える影響を明らかにすることを目標とする。

従来、爆発的噴火における火砕流発生(噴煙柱崩壊)条件は、マグマの性質(例えば含水量・温度)が与えられた場合、主に噴出率のみによって決定されると考えられてきた(例えば, Carazzo et al., 2008)。それに対して、Koyaguchi et al. (2010)は、火口の形状が火砕流発生条件に大きな影響を与えると主張した。前回の発表(小屋口・鈴木 2011年合同学会)では、「火道・噴煙統合モデル」に基づいて、Koyaguchi et al. (2010)の主張を確認するとともに、このモデルによる火砕流発生条件が、1次元定常火口減圧モデル(Woods and Bower, 1995; Koyaguchi et al., 2010)と1次元定常噴煙モデル(Bursik and Woods, 1991)の組み合わせから求められる条件と概ね一致することを示した。本発表では、両者が一致する物理的根拠を明らかにするために、火口形状の変化に伴う噴煙の内部構造変化について詳細に検討する。

Koyaguchi et al. (2010)によると、一定噴出率で火口から噴出する流れのタイプは、火口上端の径と噴出圧力というパラメータスペース上で、(1)火口上端において大気圧以上の噴出圧力を持つ音速流、(2)火口底部で音速に達した後、火口上端で大気圧以上の噴出圧力をもつ不足膨張超音速流、(3)火口底部で音速に達した後、火口上端で大気圧以下の噴出圧力をもつ過膨張超音速流、(4)火口上端において大気圧で噴出する亜音速流、の4領域に分かれる。(2)、(3)の境界では、火口上端で大気圧になる適合膨張超音速流としてマグマが噴出する。火口上端の径の増加、噴出圧力の減少とともに、流れのタイプは(1)から(4)に向けて変化する。(1)(2)の流れにおいては火口直上で膨張波を伴う加速によって上昇速度が増加するのに対し、(3)の流れにおいては火口直上で衝撃波を形成し上昇速度が著しく減少する。その結果、同じ噴出率でも、火口上端の径が大きく、あるいは、噴出圧力小さくなると、(3)または(4)の流れになり、より火砕流を発生しやすくなる。

3次元数値シミュレーション結果から、(1)(2)の流れと(3)の流れで、噴煙の内部構造が著しく異なることが明らかになった。(1)(2)の流れにおいては、火口直上に「パレルショック」と呼ばれる構造が形成される。パレルショックの上端ではマッハディスク衝撃波が形成され、軸部の上昇流が急減速する。一方、ジェット周縁部ではマッハ3程度の高速度を保って上昇する。周縁部高速領域では、圧力変動を伴う不安定な流れが発生し、その流れが大気と噴煙の効率的な混合を促進することによって、安定な噴煙柱が形成される。(3)の流れにおいては、火口直上に「斜め衝撃波」と呼ばれる構造が形成される。超音速で噴出したジェットは斜め衝撃波で減速される。火口上端の径が増加するに従って斜め衝撃波の角度が水平に近づき、上昇速度の減少率が大きくなる。その結果、噴煙柱が崩壊し火砕流が発生しやすい状態になる。「斜め衝撃波」の角度によっては、噴煙柱から火砕流への遷移状態において噴煙が部分的に崩壊して小規模な火砕流を発生する現象が観察される。

キーワード: 火山噴煙, 火道流, 数値シミュレーション, 圧縮性流体力学

Keywords: eruption cloud, conduit flow, numerical simulation, compressible fluid dynamics