

火砕流の流動状態の遷移に関する実験的研究

Transition of flow pattern in pyroclastic density currents

小暮 昌史 [1]; 谷口 宏充 [2]; 石峯 康浩 [3]

Masashi Kogure[1]; Hiromitsu Taniguchi[2]; Yasuhiro ISHIMINE[3]

[1] 東北大・理・地学; [2] 東北大・東北アジア研セ; [3] 防災科研・固体地球

[1] Faculty of Sci.Tohoku Univ.; [2] CNEAS, Tohoku Univ.; [3] Solid Earth Group, NIED

火砕流は高温の火砕物粒子と気体からなる固気混相流である。その堆積物総量、到達距離、構成粒子の粒度分布、堆積構造などは多様性があることが知られている。

その中でも特に重要な特徴は堆積構造の多様性であり、その構造は大きく分けて成層構造と塊状構造の2つに分類される。2つの堆積構造の違いは、堆積する直前の流動状態を反映していると考えられている。成層構造は粒子が乱れによって支持される流れ（火砕サージ）によるものであり、塊状構造は粒子間衝突などによって支持される流れ（火砕流本体部分）によるものである（以後上記の流動状態をそれぞれ懸濁流、粒子流と呼ぶ）。しかし、各流動状態の成立条件については十分に検討されているとは言いがたく、それが堆積物の多様性を統一的な流動モデルで解釈することを困難にしている。

これらの流動モデルの成立条件や妥当性を検証するためには、模擬流体を用いたアナログ実験に基づき、固気混相流のガス成分の流動状態と構成粒子の運動状態との関連性（例えば Burgisser & Bergantz, 2002）を解明していくことが重要になる。本研究では、流動状態の成立条件に関する定性的な理解を目的として、流体運動と粒子運動の相対的な関係の変化に着目したアナログ実験を行った。

実験は、火砕流の発生様式のひとつである噴煙柱崩壊を想定し、水槽中の任意高度に設置した容器から粉粒体を落下させることで流れを発生させた。使用した固体粒子は珪砂、ガラスビーズであり、作業流体は真水である。実験では粒子の運動状態については粒子レイノルズ数 (Rep) で評価し、粒子と流れの運動状態との関係については各運動のスケール比（粒子の終端速度と流れの流速の比）を用いて評価した。本実験では、出発容器の口径及び設置高度、粉粒体の重量及び平均粒径を変化させ、流れの挙動をカメラで記録した。実験後、実験で得られた動画から流速や体積の変化を算出するため、画像解析を行った。

本実験結果から以下のことが求められた。粒径の変化に対応して、流れの様子は大きく3つに分類することができ、(1) 明瞭な渦構造が確認されず水平移動が発達しない流れ、(2) 流れ頭部で渦構造が確認されるが水平移動時に伴流が発達しない流れ、(3) 流れ頭部で渦構造が明瞭に確認され水平移動時に伴流が発達する流れ、が観察された。また堆積構造も流れの分類とほぼ対応して、(1) 比較的近傍での塊状の堆積分布、(2) 近傍での塊状の堆積分布とローブ状に遠方まで薄く分布、(3) 遠方まで薄くほぼ均一に分布の3パターンが観察された。

混相流の頭部の流速は距離変化せずほぼ一定の傾向を示し、粒径変化の影響は顕著ではない。これと堆積構造の変化を踏まえると、粒子運動が堆積機構にのみ影響しており、流動機構にはほとんど影響を与えていない (Roche et al., 2004; Lube et al., 2004) と考えられる。また、粒径が小さくなるほど、混相流のみかけ体積は増加し、堆積物の到達距離も増加した。このことは、細粒な粒子ほど流れ内部の渦運動に追従しやすくなり、粒子が堆積し難くなるためと考えられる。

本実験条件と計測結果から、粒子レイノルズ数 (Rep) と速度比を求めた。その際粒子運動を代表する速度として、作業流体中での単一粒子の終端速度を用いている。これら2つの無次元数と堆積構造を使って、懸濁流および粒子流の流動状態を系統的に整理することができた。本実験条件と先行研究を比較すると、粒子レイノルズ数が1~10オーダー付近で流れの流動状態が遷移すると考えられる。このことは、堆積物の構成粒子粒径を用いることで、流動状態の定性的な分類が行える可能性を示唆している。今後はさらに実験データを蓄積し、流れの状態の比較を行うことによって、遷移条件を正確に求める必要がある。