

粉粒体を用いた火砕流ダイナミクスに関する実験的研究

東北大学大学院 理学研究科 小暮昌史

東北大学 東北アジア研究センター 谷口宏充

防災科学技術研究所 石峯康浩

1 はじめに

火山噴火で生じる火砕流は高温の火砕物と気体からなる混相流であり、地表を這うようにして流れる現象である。火砕流の発生機構は、爆発的噴火において生じる噴煙柱が崩壊することによって生じるものと、非爆発的噴火において生じる溶岩ドームの不安定崩壊によって生じるものなどがある。このようにして発生した火砕流の堆積物は、総体積や分布範囲、構成粒子や堆積構造などにおいて多様性があることが知られている。

堆積構造は、成層構造が発達するものから塊状構造に至るまで様々な構造をとる。これらの堆積構造の違いが生じる原因として、粒子濃度の違いにより大きく二つの火砕流の流動モデルが提唱されている。ひとつは、粒子間相互作用が無視できるほど希薄な流れ（火砕サージ）から成層構造が形成されたとするモデル[1]である。もうひとつは粒子間相互作用が支配的である濃密な流れ（狭義の火砕流）が一斉停止することで塊状構造を形成するとするモデル[2]である。近年ではこれら二つのモデルを端成分として統一的に解釈しようとする考え方が一般的であり、それに基づいた流動モデル[3]も提唱されている。しかし、これら二つのモデルはそれぞれ異なる流体力学的な仮定に基づいているため、モデルの遷移条件についての定量的な議論は進んでいない。

本研究では、火砕流の模擬流体として固体粒子と流体を用いた流体実験を行うことで、流動状態と粒子特性との関係に着目して観察した。

2 実験方法

実験装置は、粒子と流体を混合した模擬流体を水槽に供給するための出発容器（アクリル製）と、アクリル製の水槽（30×75×5cm）から成り立つ。出発容器の底部には膜を設けており、この膜を針で急に破ることで、模擬流体を落下させ流体運動を発生させる。

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模擬流体を落下させることで流れを発生させた。まず、流体になじませたガラスビーズ粒子を出発容器に入れ、出発容器の底部に設けた膜を針で急に破ることで模擬流体を静止流体中に落下させた。模擬流体の落下運動や、模擬流体が水槽底面衝突後に水平方向に運動す

る様子は、デジタルビデオカメラを用いて撮影した。

本実験では、火砕流の模擬流体としてガラスビーズと真水の混合液を用いた。各実験で使用するガラスビーズの粒径は均一であり、粒径は 1mm、0.8mm、0.6mm、0.4mm、0.15mm、0.05mm の範囲で変化させて実験を行った。

3 実験結果

出発容器から模擬流体が落下してから水槽底面を流動、定置するまでの挙動をデジタルビデオカメラで撮影した結果を図 1 に示す。図 1 より、出発容器から落下した模擬流体の頭部両端で渦を発生させながら体積を増加している様子がわかる。図 2 は図 1 より、模擬流体の頭部先端の位置の時間変化を画像解析にて算出したグラフである。このグラフから、模擬流体の頭部の位置は、時間に対してほぼ線形的に距離変化していることがわかった。また、粒径が変化しても模擬流体の頭部の移動速度はほとんど変化しないことがわかった。この速度は、模擬流体が鉛直方向から水槽底部に対して水平方向に運動を変えた後もほぼ一定である。実験の観察から、流体運動の様子は大きく 3 つに分類することができる。粒径が小さくなるに従い、(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から、(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、そして(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、と変化した。

また、運動停止後の粒子の堆積物の構造を観察すると、堆積構造も流れの分類とほぼ対応して、(1) 遠方まで薄くほぼ均一に分布、(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、そして(3) 比較的近傍での塊状の堆積分布、の 3 パターンが観察された(それぞれ図 3 中の(a)、(b)、(c)に対応)。粒径が小さくなるほど、堆積物の最大到達距離は大きくなった。これは小さ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。

図 4 は、本実験結果を粒子レイノルズ数(Re_p)、および粒子の終端速度と流れの流速の比 U^* の二つを用いて整理したものである。ここでの粒子の終端速度とは、作業流体中での単一粒子の終端速度を用いている。本実験条件では、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様子が求められた。今後さらに粒子特性に着目した実験データを蓄積し、流れの状態と堆積物の構造との比較を行うことによって、各流動モデルの適用範囲を正確に求めていく必要がある。

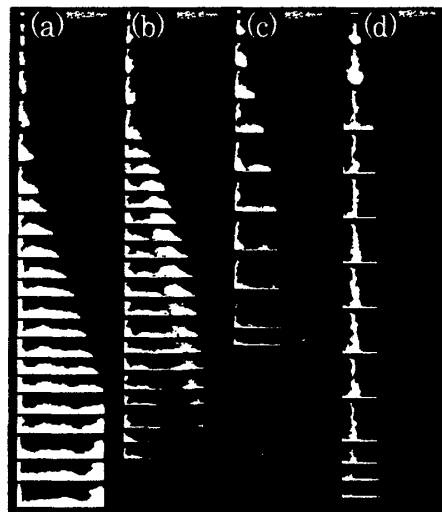


図1：流れの形態の変化。各画像は、粒径が(a) 0.05mm、(b) 0.15mm、(c) 0.4mm、(d) 0.6mm の実験で発生した流れを示す。各画像は 1/30sec.毎の流れの様子を示している。

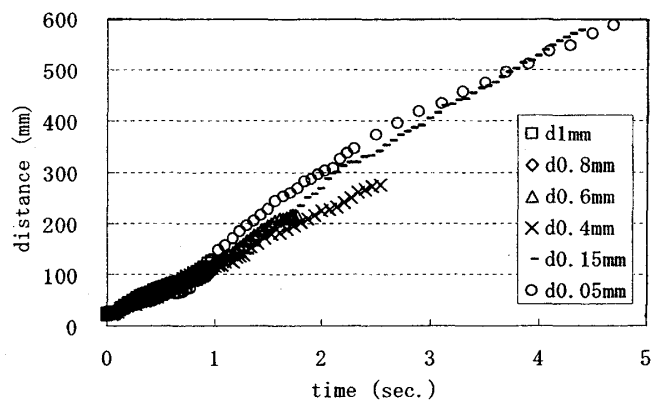


図2：流れ頭部の移動距離の時間変化。

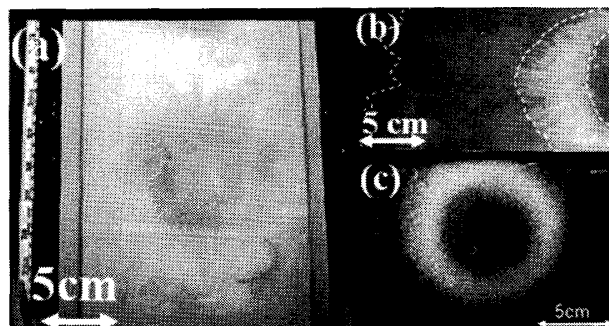


図3：実験で形成された堆積物の表面形態。それぞれ粒径が(a) 0.05mm、(b) 0.15mm、(c) 1mm の場合を示す。

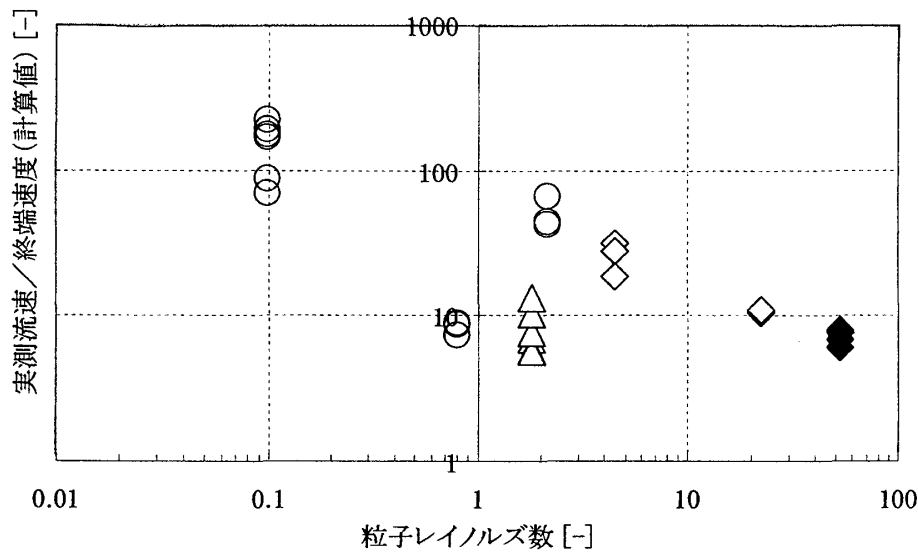


図4：無次元化した速度と粒子レイノルズ数との関係。丸印、灰色ダイヤモンド、黒色ダイヤモンドはそれぞれ堆積構造(1)、(2)、(3)の区分を示している。また灰色ダイヤモンドは、同一実験装置における、大気中において均一粒径の珪砂を用いた流れの堆積構造を示している。

4 結論

本研究では、火砕流の模擬流体として固体粒子と流体を用いたアナログ実験を行った。その結果、粒径が小さくなるに従い、流動状態は粒子運動が支配的な流れから、流体運動が支配的な流れへと遷移することがわかった。これらと堆積物の特徴を、粒子レイノルズ数と無次元速度を用いて整理した結果、流動状態を統一的に表現することができた。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。

参考文献

- [1] G.A. Valentine, Bull. Volcanol. **49**, 616-630 (1987).
- [2] R.S.J. Sparks, Sedimentology, **23**, 147-188 (1976).
- [3] A. Burgisser, and G.W. Bergantz, Earth Planet. Sci. Lett. **202**, 405-418 (2002).