#### 博士(理学)宝田晋治

### 学位論文題名

Flow and deposition mechanisms of debris avalanches and pyroclastic flows

(岩屑流と火砕流の流動・堆積機構)

# 学位論文内容の要旨

山体の巨大崩壊によって発生する低温の岩屑流と本質物質を主体をする高温の火砕流 の流動・堆積機構は、この数十年間さまざまな議論が続いている興味深いテーマの一 つである.本論文では、これらの高速重力流のメカニズムを、野外調査・重力流の観 測・流動化実験・シミュレーション・過去のモデルの再検討などによって議論する. ここでは、岩瀬川岩屑流堆積物(田代岳火山)と開田岩屑流堆積物(御嶽火山)の野 外調査結果にもとづいて、これらの岩屑流がプラッグフローモデルでうまく説明でき ることを示す.また、北海道駒ケ岳1929年火砕流堆積物と長崎県雲仙岳1991-93年火砕 流の堆積物の特徴・降伏強度の推定・流動化実験・シミュレーションなどにもとづい て、これらの火砕流の流動・堆積機構が密度緩和型粒子流モデルでうまく説明できる ことを示す.

岩瀬川岩屑流堆積物(0.1 km<sup>3</sup>)は、秋田県田代岳火山の南東麓に分布する.堆積物は、 少なくとも12種類のもろい物質からなる岩屑流岩塊(DB)と、それらの間を埋める海 汰の悪い岩屑流基質(DM)でできている.この堆積物には、岩片の正級化構造と木片 の逆級化構造が見られる.DM中の311本の木片の卓越方向は、堆積物の分布から推定 できる岩屑流のローカルな流れの方向と一致する.堆積物の基底部では、(1)基盤物質 のとり込みのようす、(2) DM中の高いとり込み岩片の割合、(3) 岩片の逆級化構造が観 察できる.開田岩屑流堆積物(>0.3 km<sup>3</sup>)は、長野県御嶽火山の東麓に分布する.堆積 物中には、少なくとも5種類のもろいDBが含まれている.DBには、引きのばし・折り たたみ、共役断層・多くの小断層などの変形構造が見られる.DM中の岩片の構成比は、 露頭周辺に分布している基盤のとり込み岩片が多い傾向がある.

これらの岩屑流の流動・堆積機構は、プラッグプローモデルでうまく説明できる.も ろいDBは、プラッグ内部でDMの降伏強度と粘性によって運ばれ、強い剪断力による破 壊を受けなかっった.岩屑流は、高速度で斜面を流走するときに、強い剪断力によっ て層流境界層から基盤の物質をとり込む.DMは、DBどうしやDBと基盤の間の剪断力 や摩擦力によって生産される.高速度で谷壁などと衝突したときに、衝撃によってDB にクラックができる.層流境界層からとり込まれた木片は、剪断力によって流れの方 向を向く.岩片と木片の密度級化構造は、DMとの密度差によって形成される.DBの引 きのばし構造は、境界層中の剪断力によってできる.基底部の逆級化構造は、境界層 中の岩片どうしの衝突による上向きの分散圧力によってできる.層流境界層にかかる 剪断力が流れの降伏強度を下まわったとき、岩屑流はチキソトロピックに運動を停止 する.

駒ケ岳1929年火砕流堆積物(0.14 km<sup>3</sup>)は、西南北海道駒ケ岳火山の周囲に広く分布 する. 北西斜面の堆積物において53枚のローブと37の自然堤防を計測し, Moore et al. (1978)の方法で、降伏強度を推定した結果、10<sup>2</sup>-10<sup>4</sup> Pa となった、北麓の堆積物では、 多くの炭化木片と含むローブの断面が、下から順に、細粒物に乏しい層(DL)、細粒物に 「富む層(FL), 軽石濃集層(PL)の3層に分かれている、火砕流堆積物の物質とさまざまな サイズのガラスビーズを使った流動化実験では、細粒物が脱ガスパイプを通って上部 へ濃集することによって、DLとFLが形成されることがわかった.この実験では.1 mm 以上の粒子はガスの上昇流に対して全く反応しなかった. 雲仙岳1991-93年火砕流堆積 物(総計0.2 km<sup>3</sup>)は、地獄跡火口から流出した溶岩ドームからの8600回以上の崩落に よって形成され、雲仙火山の東麓に広く分布している。各々の火砕流の体積を、火砕 流に伴って地震計に記録された振動波形の解析によって求めた、また、被災範囲の予 測のために、個々の火砕流の体積と流走距離との相関を調べた、映像や現地観察によっ て,火砕流堆積物が,厚さ数mの淘汰の悪い火砕流本体(basal avalanche)と,厚さ数cmの 淘汰の良い灰雲サージ(ash-cloud surge)堆積物 からなることがわかった. ビデオ映像で は, Wilson and Walker (1982) が主張したような流れの先端部からの空気のとり込みは観 察できなかった.1991年6月8日の火砕流堆積物の発掘調査では、厚さ4mの火砕流本体 の下部に、厚さ5 cm以下のサージ堆積物(layer 1)と、厚さ15 cmのlayer 2a (Sparks et al.,

**—** 48 **—** 

1973)が観察できた、実測した火砕流の流速は、最大でも42 m/sであった、エネルギー ライン/コーンモデルとビンガムフローモデルを使ったコンピューターシミュレーショ ンを行ない、被災範囲・流速・到達時間の再現を試みた、ビンガムフローモデルでは、 火砕流の降伏強度は850-2000 Pa、粘性は50-90 Pasとなった。

これらの火砕流の流動・堆積機構は密度緩和型粒子流モデルでうまく説明できる.実 測した流速では,乱流によって運搬できる粒子の最大径はせいぜい0.1から1.0 cmであ る.したがって,これよりも小さい粒子は乱流によって浮遊して希薄な灰雲サージや 降下物を形成する.しかし,これよりも大きい数mまでの岩片は基底部に濃集して火砕 流本体を形成する.流動化の理論曲線によれば,流動化によって運搬できる粒子の最 大径は,火砕流先端からの空気のとり込みが起こらない場合は,せいぜい1 cmである. したがって,火砕流中のこれよりも大きい岩片は,Wilson (1980, 1984)が主張した流動 化ではなく,粒子の相互作用やマトリックス強度によって運ばれていると考えられる. このような流れは,密度緩和型粒子流と呼ばれる(Lowe, 1976).火砕流堆積物中の岩片 や軽石が円磨されているのは,岩片や軽石どうしの激しい衝突や摩擦が起こったこと を示す.また,2つの火砕流は大きい岩片を支えるのに十分な降伏強度(10<sup>2</sup>-10<sup>4</sup> Pa)をも つ.火砕流堆積物基底部のサージ堆積物は,急斜面基底部でハイドローリックジャン プによって火砕流本体から分離・先行し堆積した灰雲サージ堆積物である可能性が高 い.

# 学位論文審査の要旨

主	査	教	授	荒	牧	重	雄
副	査	教	授	石	原	舜	Ξ
副	査	教	授	藤	野	清	志

#### 学位論文題名

Flow and deposition mechanisms of debris avalanches and pyroclastic flows

(岩屑流と火砕流の流動・堆積機構)

山体の大規模崩壊によって発生する低温の岩屑洗と火山本質物質を主体とする高温 の火砕流の流動・堆積機構は、火山学的に重要な研究課題の一つであり、最近活発な 議論が続けられている.本論文ではこれらの高速重力流のメカニズムを、堆積物の野 外調査,流れ現象の観測,流動化実験,数値シミュレーション,既存のモデルの再検 討などを通じて議論している.特に集中的に調査した岩屑流の実例は、田代岳火山の 岩瀬川岩屑流堆積物と御岳火山の開田岩屑流堆積物の2例であるが、筆者の結論は、 これらの岩屑流が plug flow のモデルで最もうまく近似できるとした.また、高温の 小規模火砕流の実例としては、北海道駒ケ岳火山 1929 年火砕流堆積物と長崎県雲仙 岳 1991 - 93 年火砕流の堆積物をとりあげ、堆積物の特徴、降伏強度の推定、流動化 実験、シミュレーションなどにもとづいて、これらの火砕流の流動・堆積機構が密度 緩和型粒子流モデルでうまく説明できることを示した.

岩瀬川岩屑流堆積物は、少なくとも 12 種類の脆い物質からなる岩屑流岩塊 (DB) と、それらの間を埋める淘汰の悪い岩屑流基質 (DM) から成る. 堆積物に含まれる岩 片は正級化構造を、木片は逆級化構造をそれぞれ示す. 堆積物の基底部では、基盤物 質のとり込みの様子、 DM 中のとり込み岩片の高い割合、岩片の逆級化構造が顕著であ る. 開田岩屑流堆積物には少なくとも 5 種類の脆い DB が含まれる. DB には、引き のばし・折りたたみ・共役断層・多くの小断層などの変形構造が見られる. DM 中の岩 片の構成比の特徴は、露頭の近くに分布している基盤のとり込み岩片を多く含むこと である. これらの岩屑流の流動・堆積機構は plug flow モデルで統一的に説明可能である. 脆い DBは、plug 内部で DM の降伏強度と粘性によって運ばれ、強い剪断力による破 壊を受けなかっった。岩屑流は、高速度で斜面を流走するときに、強い剪断力によっ て底部の層流境界層から基盤の物質をとり込む. DM は、DB 同志や DB と基盤の間に 剪断力や摩擦力が働いて生産される. 層流境界層からとり込まれた木片は、剪断力に よって流れの方向に向く. 基底部の逆級化構造は、境界層中の岩片相互の衝突による 上向きの分散圧力によってできる. 層流境界層にかかる剪断力が流れの降伏強度を下 まわったとき、岩屑流はチキソトロピックに運動を停止する.

駒ケ岳 1929 年火砕流堆積物については、 53 枚のローブと 37 の自然堤防を計測し、 降伏強度を推定した結果, 10<sup>2</sup> - 10<sup>4</sup> Pa を得た. 堆積物は, 典型的に下から順に, 細 粒物に乏しい層 (DL), 細粒物に富む層 (FL), 軽石濃集層 (PL)の 3 層に分けられ る、火砕流堆積物の物質とさまざまなサイズのガラスビーズを使った流動化実験では、 細粒物が脱ガスパイプを通って上部へ濃集することによって、DLとFLが形成される ことがわかった. 雲仙岳 1991 - 93 年火砕流堆積物は, 溶岩ドームからの 8600 回以 上の崩落によって形成され、雲仙火山の東麓に広く分布している.各々の火砕流の体 積を,火砕流発生時に地震計に記録された振動波形の解折によって求めた.映像や現 地観察によって、火砕流堆積物が厚さ数 mの淘汰の悪い火砕流本体(basal avalanche) と, 厚さ数 cm の淘汰の良い灰雲サージ (ash - cloud surge) 堆積物から なることがわかった. 火砕流の降伏強度は 850 - 2000 Pa, 粘性は 50 - 90 Pas とな った. 実測した流速(<40 m/s)では, 小さい粒子は乱流によって浮遊して希薄な灰 **雲 サ ー ジ 降 下 物 を 形 成 す る. 大 き い 岩 片 は 基 底 部 に 濃 集 し て 火 砕 流 本 体 を 形 成 す る.** 火砕流に含まれるより大きな岩片は、 Wilson(1980. 1984)が主張した流動化ではな く, 粒子の相互作用やマトリックス強度によって運ばれていると考えられる. このよ うな流れは, Lowe(1976)によって定義された密度緩和型粒子流に相当する. 火砕流 堆積物基底部のサージ堆積物は,急斜面基底部で hydraulic jump によって火砕流本 体から分離・先行し堆積した灰雲サージ堆積物である可能性が高い。

以上の結果は一見見かけの違う種々の粉体流を統一的なモデルにより説明しようと する筆者の試みがかなりの程度に成功していることを示している. このレベルにまで 達した筆者の基礎学力, 調査・実験の成果, 推論のオリジナリテイなどを勘案して, 博士(理学)の学位を与えるに充分な成果であると判断する.