

## 1-14 堆積構造・シミュレーションによる火砕流の流動堆積機構

宝田晋治

Emplacement mechanism of pyroclastic flows  
based on depositional features and simulation

Shinji Takarada

Geological Survey of Japan, AIST, Site 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba 305-8567 Japan.

E-mail: s-takarada@aist.go.jp

### 1. はじめに

火砕流は、高温高速であることが多く、火山体周辺に多大な被害をもたらす。インドネシアクラカタウ火山 1883 年噴火では火砕流と津波により 36,000 人の犠牲者がでていいる。火砕流の流動堆積機構については、これまでにさまざまなモデルが提案されているが、まだ不明な点が多い。ここでは、小規模火砕流として雲仙 1991-95 年火砕流堆積物、中規模火砕流として北海道駒ヶ岳 1929 年火砕流堆積物、大規模火砕流として阿蘇 4 火砕流堆積物を対象に、堆積構造に基づいた火砕流の流動堆積機構を議論する。また、1991 年雲仙火砕流と 2015 年口永良部島火砕流について、エネルギーコーンモデルと Titan2D モデルによって数値シミュレーションを実施した。

### 2. 火砕流の堆積構造

雲仙 1991-95 年火砕流堆積物では、VEI2-3 クラスの合計 9800 回以上の溶岩ドーム崩壊型火砕流が発生した。火砕流堆積物は、上部に直径 15 cm~1 m の比較的サイズの大きい岩塊が並んだ、層厚 30 cm~2 m 程度のフローユニットに区分することができる。また、しばしば境界部には層厚数 cm 程度の火砕サージ堆積物が挟まれている。フローユニットの内部には、さらに直径 5~20 cm 程度の岩片が、層厚 10~30 cm 程度の間隔で、ユニット境界とほぼ平行に並んでいることが観察できることがある。また、火砕流堆積物の表面はローブ状の地形を示し、表面は直径 15 cm~1 m 程度の岩塊で覆われていることが多い。

北海道駒ヶ岳 1929 年火砕流堆積物の北西側の斜面や山麓では、VEI=4 クラスの良好な火砕流堆積物の断面を観察できる。ここでは、層厚 30 cm~5 m 程度のフローユニットが見られる。各フローユニットの上部には、直径 5~60 cm のクラストサポートした軽石が集まった軽石濃集層がみられる。軽石濃集層の下に比較的多量の火山灰を含む火山灰濃集層、フローユニット下部に直径 10 cm 以下の岩片が

集まった岩片濃集層が見られる場合がある。フローユニット内部には、しばしば直径 5~15 cm 程度の軽石が、層厚 10~50 cm 程度の間隔で、ユニット境界と平行に並んでいることを観察できることがある。比較的伸びた軽石の伸張方向を計測した結果、軽石の伸張方向は、フローユニット内部のどの部分でも、火砕流の流走方向とほぼ一致しており、その傾向は基底部の方が強いことが分かった。火砕流堆積物の表面は、ローブ状を示し、しばしば自然堤防が見られる。各ローブは直前に堆積したローブとローブの間を埋めるように分布している。

阿蘇 4 火砕流堆積物 (VEI=7) は、阿蘇カルデラ周辺に広く分布しており、最大で給源から 160 km 以上の山口県萩市付近でも堆積物を確認できる。フローユニット境界ははっきりしないことが多いが、層厚 1~20 m 程度のフローユニットが確認できる場合がある。給源から 26 km の小国町付近では、直径 30~85 cm の軽石を含む比較的粗粒な火砕流堆積物が分布している。比較的大きい軽石は、層厚 30 cm ~2 m の間隔で横方向に並ぶ傾向がある。

### 3. 火砕流の流動堆積機構

これら 3 つの規模の異なる火砕流堆積物において、フローユニット内部に見られる岩片や軽石の並びは、火砕流がフローユニット単位で一度に堆積 (mass freezing) しているのではなく、火砕流の基底部からある厚さの単位毎に順次堆積していることを示唆している。ここでは、フローユニット内部に見られる、岩片や軽石の並びで区切られた堆積単位を、堆積サブユニット (Depositional subunit: DSU) と呼ぶこととする。この岩片や軽石の並びは、火砕流基底部の境界層付近に、軽石や岩片が基底部に濃集して来た段階で、基底部付近の速度勾配によって、粒子同士の摩擦や衝突などの相互作用が強まり、比較的大きい岩片や軽石が DSU 上部に集まって形成されたと考えることができる (図 1)。

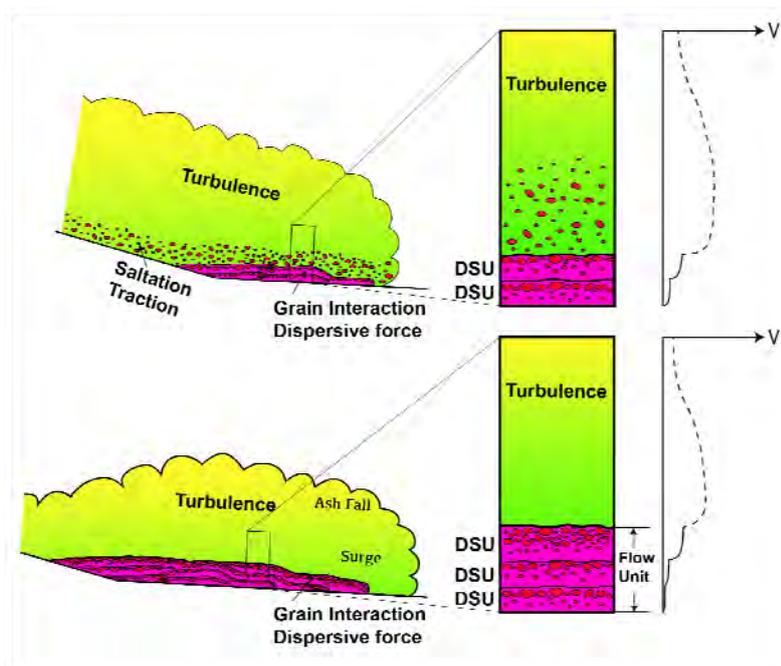


Fig. 1 堆積サブユニット (DSU) による火砕流の流動堆積モデル

北海道駒ヶ岳 1929 年火砕流堆積物中の軽石の伸張方向が火砕流堆積物のフローユニット内のどの部分でも、火砕流の進行方向とほぼ一致していることは、フローユニット単位ごとに一度に堆積しているのではなく、乱流状態の火砕流基底の境界層付近で、速度勾配による剪断力を受けながら順次堆積したことを示唆している。

雲仙 1991-95 年火砕流の 1 回の火砕流の体積は、 $10^4 \sim 10^6 \text{ m}^3$  程度であり、測定された火砕流の流速（ $\sim 30 \text{ m/s}$ ）や到達時間（2～5 分程度）を考えると、火砕流基底部からの単位面積当たりの堆積レートは、およそ  $10^3 \sim 10^2 \text{ m/s}$  となる。北海道駒ヶ岳 1929 年火砕流の場合、1 回の火砕流の体積は  $10^6 \sim 10^7 \text{ m}^3$  程度であり、到達時間（5～10 分程度）を考えると、火砕流基底部からの堆積レートは、およそ  $10^2 \sim 10^1 \text{ m/s}$  となる。阿蘇 4 火砕流の場合、北北東方向に流れた最盛期の 1 回の火砕流の体積は、 $10^8 \sim 10^9 \text{ m}^3$  程度であり、到達時間（10～30 分程度?）を考慮すると、火砕流基底部からの堆積レートは、およそ  $10^1 \sim 10^0 \text{ m/s}$  となる。したがって、雲仙 1991-95 年火砕流、北海道駒ヶ岳 1929 年火砕流、阿蘇 4 火砕流の堆積物の堆積構造、表面地形、フローユニットや DSU の層厚、粒径・粒度組成の違いは、給源からの火砕物質の噴出量や噴出率の違いにより、火砕流の乱流度や火砕流基底部からの堆積レートが大きく異なることが原因の 1 つであると考えられる（表 1）。

Table 1. Comparison among depositional features and emplacement mechanisms of 1991-95 Unzen, 1929 Hokkaido Komagatake and Aso-4 pyroclastic flows

Pyroclastic flow	Scale	Volume of single flow	Distribution	Surface morphology	Thickness of a flow unit	Thickness of a DSU	Velocity	Accumulation rate at the bottom per $\text{m}^2$	Turbulence	Emplacement mechanism
1991-95 Unzen	Small	$10^4 \sim 10^6 \text{ m}^3$	Confined in a valley	Lobe	0.3-2 m	0.1-0.3 m	up to 30 m/s	$10^3 \sim 10^2 \text{ m/s}$ (Low)	Low	Progressive accumulation from the bottom of turbulent current from basal DSUs and emplaced as <b>several lobes</b>
1929 Hokkaido Komagatake	Medium	$10^6 \sim 10^7 \text{ m}^3$	Confined in valleys around the volcano	Lobe	0.3-5 m	0.1-0.5 m	up to 50 m/s	$10^2 \sim 10^1 \text{ m/s}$ (High)	High	Progressive accumulation from the bottom of turbulent current from basal DSUs and emplaced as <b>many lobes</b>
Aso-4	Large	$10^8 \sim 10^9 \text{ m}^3$	Unconfined, widely distributed	Sheet	1-20 m	0.3-2 m	up to 100 m/s ?	$10^1 \sim 10^0 \text{ m/s}$ (Extremely high)	Extremely high	Progressive accumulation from the bottom of turbulent current from basal DSUs and emplaced as <b>many sheets</b>

#### 4. 火砕流のシミュレーション

1991 年に発生した雲仙火砕流は、等価摩擦係数 (H/L) 0.2～0.4 の範囲にある。この等価摩擦係数と体積の関係から、エナジーコーンモデル (Marlin and Sheridan, 1992) で火砕流の到達距離や影響を受ける可能性がある領域の予測ができる。また、Titan2D (Pitman et al., 2003; Sheridan et al., 2004) では、崩壊体積  $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、底面摩擦角 11 度でほぼ 6 月 3 日の火砕流のケース再現できる。ただし、火砕流基底部からの堆積現象を再現できないなど、モデルの限界を考えて使用する必要がある。

2015 年 5 月 29 日の口永良部島火砕流について、エナジーコーンモデルでは、噴煙柱崩壊高度 200m, H/L=0.34～0.44 で再現できる。また、Titan2D モデルでパラメータを変えて体積や底面摩擦角の変化による影響を調べた。さらに、ドーム崩壊型と噴煙柱崩壊型のシミュレーションの評価を行った。底面摩擦角が全方向に一定であるため、噴煙柱崩壊型では、全方向にほぼ同じ距離流走する。したがって、

セグメント毎に摩擦係数を変える必要がある。

#### References

- Marlin, M.C. and Sheridan, M.F., 1982, Computer-assisted mapping of pyroclastic surges. *Science*, **13**, 637-640.
- Pitman, E.B., Patra, A., Bauer, A., Sheridan, M., Bursik, M., 2003, Computing debris flows and landslides. *Phys. Fluids*, **15**, 3638-3646.
- Sheridan, M.F., Stinton, A.J., Patra, A., Pitman, E.B., Bauer, A. and Nichita, C.C. (2004) Evaluating Titan2D mass-flow model using the 1963 Little Tahoma Peak avalanches, Mount Rainier, Washington, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **139**, 89-102.