

## 1-5 阿蘇4火砕流堆積物の分布・体積と火砕流の流動堆積機構

宝田晋治<sup>1</sup>・星住英夫<sup>1</sup>

### Distribution and volume of Aso-4 ignimbrite and emplacement mechanism of pyroclastic flows

TAKARADA, Shinji<sup>1</sup> and HOSHIZUMI, Hideo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geological Survey of Japan, AIST, Site 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba 305-8567 Japan. Corresponding author.  
E-mail: s-takarada@aist.go.jp

Distribution, volume and emplacement mechanism of the 90 ka large-scale Aso-4 pyroclastic flow are surveyed and discussed. The large-scale pyroclastic flow (ignimbrite) usually cause catastrophic disasters around the caldera as shown at 1883 Krakatau pyroclastic flow, which caused 36,400 fatalities. The 90 ka large-scale Aso-4 pyroclastic flow reached as far as more than 160 km from the source. The precise distribution, volume and emplacement mechanism studies of large-scale pyroclastic flows are necessarily to mitigate the volcanic disasters.

The estimated current total distribution area is about 1340 km<sup>2</sup>. The estimated total volume of Aso-4 pyroclastic flow in DRE are about 17 km<sup>3</sup> (current), and 270 km<sup>3</sup> (just after the event).

The maximum size of pumices and lithics of 8 samples in each outcrop in the main pyroclastic flow deposits (except the lag breccia facies) were measured in E and NNE directions from the source. The size of maximum pumices at up to 16 km outcrops show 3-9 cm, 17-20 km show 28 cm, 26 km near the break-in-slope point shows 47 cm. Then the maximum sizes gradually decrease up to 3 cm at 72 km. The maximum sizes of pumices at outcrops in Yamaguchi prefecture (132-162 km from the source) show 0.4-0.9 cm. The maximum sizes of lithics at 6.5 km from the source show 1-2.5 cm, 16 km show 11.2 cm and gradually decreases up to 0.3 cm at 117 km in Kita-Kyushu. No measurable lithics are contained in outcrops in Yamaguchi prefecture. Further investigations are planning including unit correlations and grain-size variations in other directions.

The relatively small maximum size of pumices and lithics near the source suggest that the quite high turbulence of pyroclastic flow was enough to transport large pumices and lithics due to turbulence within or near the volcanic plume. The maximum size of pumices reached 47 cm at the break-in-slope region on the original slope (26 km from the source) suggests sudden drop of large pumices at this point due to hydraulic jump. The gradual decrease of maximum size of pumices and lithics up to 72 km suggests deposition from the bottom of turbulent pyroclastic flows. Subtle reverse grading of pumices about 20-70 cm in thickness are sometimes observed within the deposit.

This feature indicates that interaction of pumices at the final stage of deposition, suggesting relatively high-density density currents were formed at the bottom of pyroclastic flow and successively settled forming depositional subunits. The thickness of pyroclastic flow deposits in Yamaguchi prefecture are about 0.1 – 6 m in thickness and sometimes show surge features at relatively high area. The sizes of maximum pumices are less than 1 cm and no measurable lithics are contained. These features suggest that the pyroclastic flow reached to Yamaguchi prefecture was relatively low-density current with only small-size materials.

The emplacement mechanism of small-scale 1991-95 Unzen pyroclastic flow and medium-scale 1929 Hokkaido Komagatake pyroclastic flow also can be explained by basal successive deposition forming depositional subunits at the base of the turbulent current.

The Titan2D numerical simulation of Unzen pyroclastic flow on June 3, 1991 (with  $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ , internal friction  $33^\circ$ , basal friction  $11^\circ$ , and initial velocity 5m/s) was relatively good correlation with the flow path and travel distance. Although, final distribution of the simulation result was mostly concentrated to the downstream area. One of the main reason of this different result was the Titan2D numerical code does not perform the successive deposition from the base of the current.

## 1. はじめに

火砕流は、火山体周辺に多大な災害をもたらす。特に大規模火砕流の場合は、1883年のクラカタウ火砕流による犠牲者数 36,400 人などで明らかのように被害も甚大となる。国内の第四期後半の大規模火砕流としては、90 ka に発生した阿蘇 4 火砕流は到達距離が 160 km 以上に達しており、その影響範囲の正確な把握や流動堆積機構の解明が重要となってきている。阿蘇 4 火砕流堆積物の詳細な影響範囲の把握のため、既存文献、ボーリングデータを元に、精度よく堆積物の分布を明らかにした上で、噴火当時の復元分布図を作成した。また、5 km のメッシュごとに層厚を復元し、高精度に噴出量を算出した。さらに、現地調査により、大規模火砕流堆積物の岩相変化、軽石及び岩片の最大粒径の変化に基づく、流動堆積機構の検討を行った。

## 2. 阿蘇 4 火砕流堆積物の分布と体積

現存する堆積物の分布については、産総研の 5 万分の 1 地質図幅を基本とし、刊行されていない地域に関しては 20 万分の 1 地質図幅や表層地質図の他、出版済みの文献を参照した。これらから阿蘇 4 火砕流堆積物の分布を GIS 上でトレースし、現存分布図を作成した。また、噴火直後の推定分布図は、地形状況と噴火時点での地質を考慮した上で、文献情報、ボーリング情報を元に再現した。復元した堆積物の分布は、火砕流は、全方向に広がり、給源から北北東 160 km 以上の萩市周辺にも到達している。南限は、人吉盆地、宮崎市周辺まで分布している。現存する堆積物の面積は、約  $1340 \text{ km}^2$  (非溶結部  $1000 \text{ km}^2$ , 溶結部  $340 \text{ km}^2$ )、復元した火砕流堆積物の総面積は、約  $34,000 \text{ km}^2$  となった。層厚につい

では、地質図、露頭データ、ボーリング柱状図を用いて、火砕流堆積物の上端高度、下端高度を5 kmメッシュ毎に数点以上読み取った上で、メッシュごとの平均層厚を算出した。平均層厚は、カルデラリム周辺で最大120 mを示し、中流域では、5~50 m前後、下流域では0.1~5 m程度となった。GISソフトウェア上で、メッシュ毎の分布面積を算出し、層厚を乗じてメッシュ毎の見かけ体積を算出した。その上で、溶結、非溶結の量比などを勘案した上で、堆積物の平均密度を算出し、火砕流堆積物の総噴出量(DRE, 降灰分を除く)を算出した。その結果、現存する火砕流堆積物の体積は17 km<sup>3</sup>、復元した噴火当時の体積は、最小140 km<sup>3</sup>、最大410 km<sup>3</sup>、平均270 km<sup>3</sup>となった。

### 3. 阿蘇4火砕流堆積物の粒径変化

阿蘇4火砕流の流動堆積機構の解明のため、火口近傍から160 km遠方の露頭(Fig. 1)まで現地調査を行い、軽石と岩片の最大粒径の変化を明らかにした。最大粒径は、露頭毎に軽石と岩片についてそれぞれ10個長径と短径を測定し、最大と最小のサンプルを除いた8サンプルの算術平均から、各地点での最大粒径を求めた。流走距離ごとに、軽石の最大粒径をプロットする(Fig. 2)と、給源から16 km地点までの地点では、3~9 cmと比較的小さく、17~20 km地点では約28 cm、26 km地点の傾斜変換点(小国町)では47 cmと最大値を示し、その後、72 km地点まで次第に減少し、3 cmとなる。山口県内では、最大粒径は、132~162 km地点で0.4~0.9 cmと非常に小さくなる。岩片の最大粒径は給源から6.5 km地点では1~2.5 cmと比較的小さく、16 km地点で11.2 cmと最大になり、その後は単調に減少し、72 km地点で0.6-0.9 cmとなり、北九州の117 km地点の折尾の露頭では、0.3 cmと非常に小さくなる。山口県内の露頭では、肉眼で測定可能な岩片はほぼ含まれていない。

### 4. 火砕流の流動堆積機構と数値シミュレーション

給源付近で軽石や岩片の最大粒径がやや小さいことは、大規模火砕流発生時に、この付近はまだ噴煙柱の内部もしくは近傍で、乱流度が高く、火砕流の運搬能力が十分高かったことを示唆している。軽石の最大粒径が傾斜変換点の26 km地点付近で最大となっていることは、火砕流が傾斜変換点に達し、急激に運搬能力が落ちたため、多量に運びきれなくなった軽石を落としたことが原因の1つである可能性がある。軽石や岩片の最大粒径が単調に減少することも、乱流状態の火砕流の基底部から順次より大きい軽石や岩片が堆積したと考えることができる。堆積物の内部構造から、火砕流堆積物の内部には、しばしば層厚20~70 cm程度の弱い逆級化構造が見られる。火砕流の基底部に比較的高濃度な密度流が形成され、その最基底部の境界層の部分において、粒子の相互作用により逆級化構造を示す領域(堆積サブユニット; DSUと呼ぶ)を形成し、それらが順次積み重なりながら堆積したモデルが考えられる。山口県内の火砕流は層厚0.2~6 m程度であり、軽石の最大粒径は1 cm以下で非常に小さく、肉眼で認識できる岩片はほとんど含まれていない。これらのことは、遠方まで運ばれた火砕流は最後まで残った比較的低密度で細粒の部分のみが160 km以上の地点まで到達したことを示唆する。

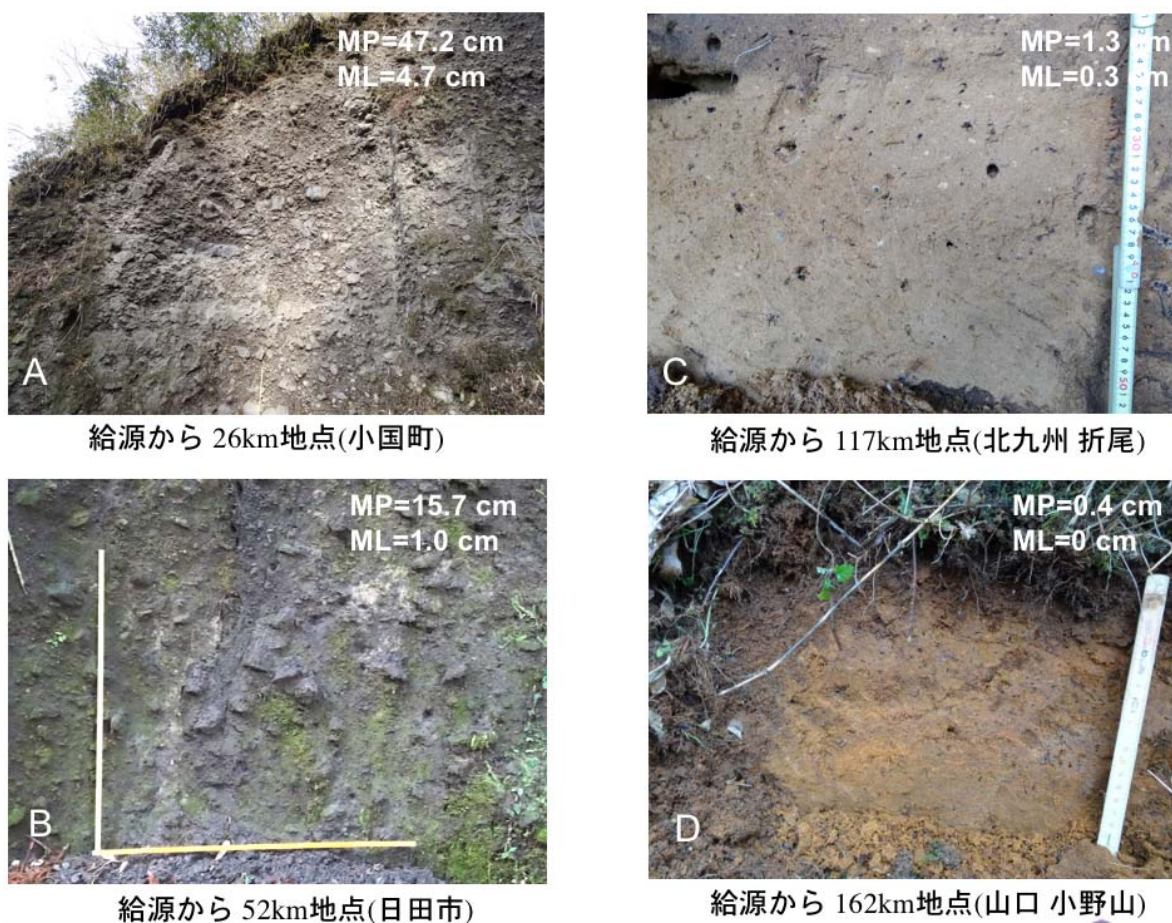


Fig. 1 Occurrence of Aso 4 ignimbrite. Maximum pumice (MP) and maximum lithic (ML) sizes were measured at each outcrop.

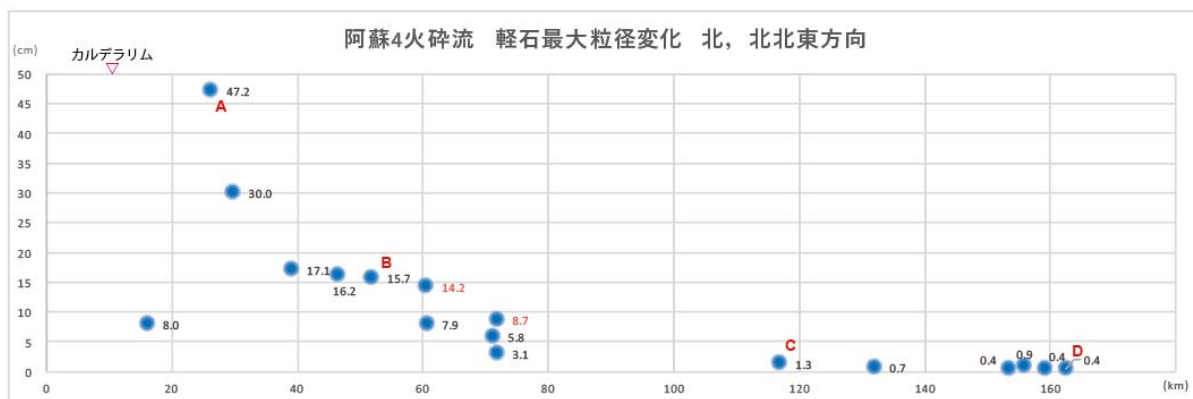


Fig. 2 Variations of maximum pumice size (average of 8 largest pumice diameters) according to the travel distance of Aso-4 ignimbrite. A-D indicate outcrops shown in Fig. 1. Red-colored numbers indicate maximum pumice size in pumice-concentration zone.

小規模な  $10^4 \sim 10^6 \text{ m}^3$  クラスの雲仙火山 1991-95 年火砕流堆積物や  $10^8 \text{ m}^3$  クラスの北海道北海道駒ヶ岳 1929 年火砕流堆積物においても、各フローユニット中に、層厚 10~50 cm 程度の逆級化構造が見ら

れる。従って、大規模火砕流に限らず、小規模・中規模火砕流においても、流走中の火砕流基底部に比較的高濃度な密度流が形成され、その基底部の境界層の部分で堆積サブユニットを形成しつつ、順次堆積した可能性が考えられる。

火砕流の流動堆積過程を数値シミュレーションで再現するため、小規模な火砕流の例として、雲仙火砕流の1991年6月3日火砕流について、噴火当時の標高データを用い、Titan2Dモデル(Pitman *et al.*, 2003; Patra *et al.*, 2005)によって数値シミュレーションを行った。その結果、崩壊体積  $1.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、内部摩擦角 33 度、底面摩擦角 11 度、初速度 5 m/s で比較的流路や到達距離を再現できた (Fig. 3)。シミュレーションによる最大流速は 42m/s、所要時間は 2 分 8 秒となった。ただし、流路は比較的良好に再現されているものの、最終的な堆積物の分布は再現できず、大部分が下流まで流れ下ってしまう傾向があった。この原因は、現在の Titan2D によるシミュレーションでは火砕流基底部からの沈積による順次堆積過程がモデルに組み込まれていないためである可能性が考えられる。今後数値シミュレーションモデルとして、修正すべき課題の 1 つである。ハザードマップ改訂等で Titan2D による火砕流の検討を行う際にもこの点に注意する必要がある。

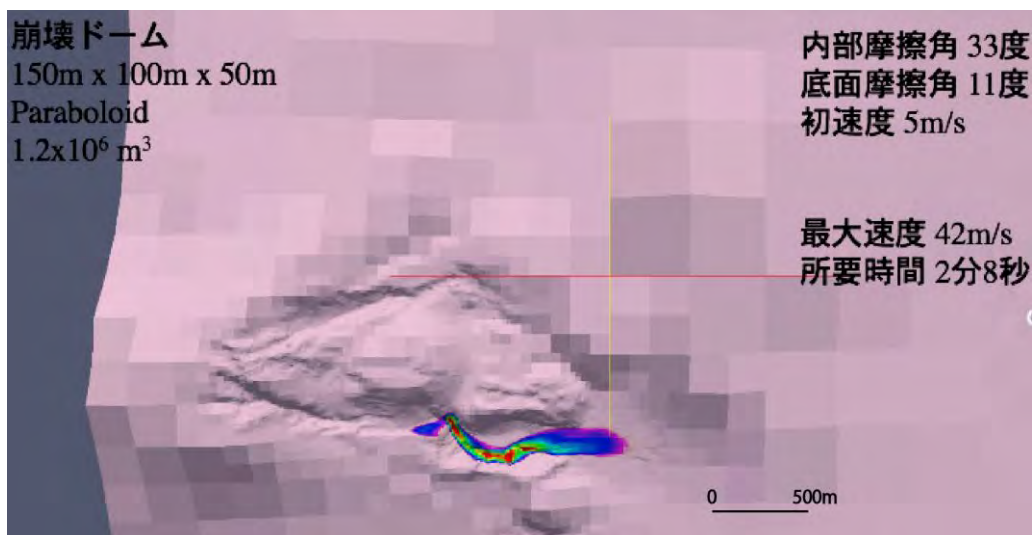


Fig. 3 Plan view of Titan2D numerical simulation result of Unzen pyroclastic flow on June 3, 1991 (movement condition about 1min 45 seconds after the dome collapse). The color indicates thickness of the pyroclastic flow.

#### Reference

- Patra, A.K., Bauer, A.C., Nichita, C.C., Pitman, E.B., Sheridan, M.F., Bursik, M., Rupp, B., Webber, A., Stinton, A.J., Namikawa, L.M. and Renshler C.S., 2005, Parallel adaptive numerical simulation of dry avalanches over natural terrain, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **139**, 1-21.
- Pitman, E.B., Patra, A., Bauer, A., Shedidan, M., Bursik, M., 2003, Computing debris flows and landslides. *Physics of Fluids*, **15**, 637-640.

本研究は原子力規制庁からの平成 27 年度原子力施設等防災対策等委託費「火山影響評価に係わる技術的知見の整備」として実施したものに、火砕流の流動堆積機構と数値シミュレーションの検討結果を加えたものである。