

## 砂山形成の物理過程研究の現状と問題点 ~ スコリアコーンの堆積構造の理解に向けて ~

### Review of Physical Theories of Granular Flow on Slope - For Understanding Piling Structure of Scoria Cone

# 渡辺 俊一 [1]; 金子 克哉 [2]

# Shunichi Watanabe[1]; Katsuya Kaneko[2]

[1] 京大・理; [2] 京大・人環

[1] Faculty of Science, Kyoto Univ.; [2] Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.

#### はじめに

スコリアコーンは、噴出したさまざまな大きさの岩塊がその場で転がり積もって成長していく。そのため、その成長メカニズムは、山体斜面を流れ、裾で堆積する粉体流の物理学の観点から考察されるべきである。このようにしてできる山を粉体山とよぶ。

粉体山形成に関し、たとえば、ある高さに固定したホッパーから、大きさや形状において不均質な粒子で構成される粉体を床面上に落下させ山を作るとき、山の斜面に沿って流れた粉体に、粉体構成粒子の粒径と形状の違いによる分離が起こり、山の斜面にほぼ平行に縞々の層構造ができる「自発的層形成 (Spontaneous Stratification)」という現象が知られている。スコリアコーン内部には粒径の異なるスコリアによる層構造が認められ、それらの一部は自発的層形成によるものであると思われる。

本研究では、この層構造の観察から噴火・堆積の情報 (噴出率など) を得るために、不均質粉体の、床面の一箇所への落下によって、自発的に層を形成しながら堆積・成長する粉体山を定量的に理解することを目的とする。今回は、層構造の厚さが、ホッパーからの供給流量に対してどのように変化するかを理論的に調べるために必要な情報と、それに関する問題点を調べたので、その結果を報告する。

#### 供給流量と層の厚さの関係

前回の薄い水槽を用いたアナログ実験 (2007年合同大会) において、斜面では粉体が周期的に流下と堆積を繰り返すことを見出した。斜面流が起こってからしばらくすると、斜面上の粉体流は厚さ  $h$  の、ほぼ定常的な流れになっている。このとき粉体流層における質量流量  $F$  はホッパーからの供給流量と等しくなっており、粉体流層の平均速度  $U$ 、見かけの平均質量密度  $D$  を用いて、 $F = DUh$  とかける。また、Makse et al. (1998) の実験によると、堆積静止後に観察される層の厚さ  $L$  は、 $h$  に比例する。よって、 $F = DUkL$  とかける。  $k$  は比例定数である。つまり、混合粉体のパラメータ (摩擦係数や構成粒子径など) が確定している条件下で、 $F$  および  $L$  の関数として、 $U$  を記述できれば、 $F$  と  $L$  の関係性が得られ、積みあがった粉体山の層構造の観察から、 $F$  が見積もられる。

#### 粉体流の流速の研究に関する現状

平均速度  $U$  を求めるために、厚さ方向に対する、斜面に沿った方向への速度プロファイルを知ることが必要である。そのためには、粉体流中において、粉体粒子が受ける応力を記述することが必要となる。

斜面上の粉体流の理論研究として、一種類粒子粉体を近似的に連続体として考え、マクロ的に適切な構成方程式を見出そうとする研究が数多く行われている。一方で、応力場の統一的な表現はまだ見出されていない。この理由として、実験において、斜面角度や粉体粒子密度等の条件により、粉体流の速度プロファイルが、大きく変化していることが挙げられる。

応力場の表現として、Bagnold (1954) は、粒子の衝突頻度および一回の衝突による運動量の減少が、それぞれ速度勾配に比例するという考えから、せん断応力が速度勾配の二乗に比例するとした。一方で Silbert et al. (2002) は、斜面角度が小さい場合にはこの表現は成り立たないとしている。最近の研究では、応力として、前述の応力だけでなく、粒子同士の摩擦による応力や、粒子が密接に連なった部分が存在することによって生じる応力も合わせて考えられている (たとえば、Mills et al., 1999)。これら異なる応力場の表現は、それぞれ異なる速度プロファイルを与えることになる。

#### 今後の課題

供給流量  $F$  と層厚  $L$  の間の関係を見出すために、われわれの実験の条件に適合するような応力場と速度プロファイルを得なければならない。われわれのアナログ実験では、二種類粒子粉体を用いている。この実験において、流層中で粉体が分離して、二層になって斜面を流れているとき、それぞれの層での運動は、一層粉体流の方程式に適切な境界条件を与えたもので表されると期待できる。下層の粉体の上表面では上層の粉体による応力が発生していて、一方上層の粉体は、流れている下層の粉体が動いているため、本来ならば流れを生じないような斜面角度でも動いている。

これらの条件を念頭に置いた上で、斜面粉体流のモデルとして、自発的層形成現象を記述するのにいかなる表現が適切かを考察していく必要がある。