

不均質粉体の山状堆積に伴う自発的層形成に関する実験的研究

Experimental Study on Spontaneous Stratification by Piling of Granular Mixtures

渡辺 俊一 [1]; 山田 諒 [2]; 金子 克哉 [3]

Shunichi Watanabe[1]; Ryo Yamada[2]; Katsuya Kaneko[3]

[1] 京大・理; [2] 京大・理; [3] 京大・人環

[1] Faculty of Science, Kyoto Univ.; [2] Faculty of Science, Kyoto Univ.; [3] Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.

はじめに

堆積学や粉体物理学の分野で「自発的層形成 (Spontaneous Stratification)」という興味深い現象が知られている。この現象は、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、粉体中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現象のことである。一方、噴出した岩塊がその場で転がり積もって成長していくスコリアコーンでは、山体内部にしばしばこの自発的層形成によると考えられる粒径の異なるスコリアによる層構造が認められる。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、自発的層形成の物理過程を理解することを目的とする。今回は、層構造の成り方や、粉体条件の違いによる層形成過程の変化を調べるために薄いアクリル水槽を用いた二次元的な室内実験をおこなったので、その結果を報告する。

実験装置および条件

使用した水槽は (縦 300 x 横 400 x 幅 15mm) である。水槽の一方の壁付近の高さ 300mm からホッパー (内径 \sim 5mm) により、2種類の均質な粉体を同体積混合したものを一箇所に落下させた。2種類の粒子の一方は径 0.2mm、密度 2.6g/cm^3 の球形ガラスビーズ (粒子 1) であり、もう一方 (粒子 2) は、不規則な形の粒子よりなる、砂糖 (径 \sim 1mm, 粒子密度 1.6g/cm^3)、玄武岩砂 (0.5-1mm, 2.8g/cm^3)、磁鉄鉱砂 (0.5-1mm, 5.2g/cm^3) のいずれかである。実験終了後の山の体積 (空隙も含めた粉体全体の体積) と、実験時間から求めたホッパーからの供給体積流量は、9-10ml/s で、各実験においては一定であった。

実験結果および考察

粉体が連続的に水槽内に落下することにより、時間と共に山が大きく成長していく。粉体は、斜面を流下する間に、粒子 1 が下、粒子 2 が上に分離し、一組の層として堆積する。この一組の層の形成が自発的層形成における現象の周期単位となる。それが繰り返されることにより、山の内部には斜面とほぼ平行に縞々が形成される。以下では、ひとつの周期単位において、粉体の流下および堆積がどのように起こるかを説明する。

周期の最初 (周期初期状態と呼ぶ) では、粉体は静止しており、斜面は傾斜が一定である (周期初期斜面と呼ぶ)。山の頂部には、ホッパーの流下口と同じオーダーの幅の平らな部分がある。ホッパーより落下供給された粉体は、頂部に着地後、周期初期斜面に沿って流下していく。最初のうちは、頂部から崩れて流下する流量はホッパーからの供給流量よりも小さく、頂部では上から供給される粉体が積みあがり、頂部の高さが高くなっていく。流下していく粉体は、流下の先端と頂部を結ぶ線と、周期初期斜面で囲まれる範囲で流動層をつくり、流動層の先端は周期初期斜面に沿って下へと移動する。この流下の進行とともに、粒子 1、2 がそれぞれ下と上に分離し、一組の層が発達していく。一方、頂部の高さは、周期初期状態より高くなっていくが、それとともに、頂部から斜面へ流下する流量が増加し、ホッパーより供給される流量とつりあって、その成長が停止する。これ以降、一周期の終了まで、頂部の高さは変化しない。流動層の先端は、底面に達すると底面を転がり、山の底部を広げるように、周期初期斜面の底面位置より一段伸びた位置まで先端を達させ、そこで停止する。その後流動層は、新しい底面先端を基点として、周期初期斜面と平行な斜面を作り、積みあがるように堆積していく。新たにできた斜面の部分では、粉体は停止している。粉体の積みあがりや頂部に向かって進行していく、一組の層を新たに形成した周期初期状態と同じ状態を作る。ここに至り、一周期は終了し、新たな周期初期状態を与える。

スコリアコーンから得られる情報は、構成粒子の性質および層厚であるため、これらの情報から何が得られるのかを考察する。実験より、頂部から斜面に流下する粉体の流量 (F_f) は、ホッパーからの供給流量 (F_h) ではなく、周期中における頂部の高さの増加分 (d) により決定し、 d の増加関数 $F_f(d)$ であると考えられる。さらに、一組の層の厚さは、 $F_h = F_f(d)$ により決定する d に等しい。したがって、 $F_f(d)$ の関数形を知ることにより、一組の層の厚さから F_h を求めることが可能である。 F_h はスコリアコーンにおける噴出率と第一次近似的に一致することが期待される。 $F_f(d)$ は、粉体を構成する粒子の密度、サイズ、形状によっても変化すると考えられ、これらのパラメータや流量を制御した実験を行い、 $F_f(d)$ を求めることが今後の課題である。