

## 粉体流中に形成するクラスターの形状、サイズ、密度 Shape, Size, and Density of Clusters Formed in Granular Stream

\*長足 友哉<sup>1</sup>、中村 昭子<sup>1</sup>、長谷川 直<sup>2</sup>、和田 浩二<sup>3</sup>

\*Yuuya Nagaashi<sup>1</sup>, Akiko Nakamura<sup>1</sup>, Sunao Hasegawa<sup>2</sup>, Koji Wada<sup>3</sup>

1. 神戸大学大学院理学研究科、2. 宇宙航空研究開発機構、3. 千葉工業大学惑星探査研究センター

1. Graduate School of Science, Kobe University, 2. Japan Aerospace Exploration Agency, 3. Planetary Exploration Research Center, Chiba Institute of Technology

はじめに：

粉体流は粒子間の非弾性衝突で離散的構造を形成することが知られている。例えば、衝突クレーターからのガラスビーズとシリカサンドの放出物の高速度カメラ観測により、そのイジェクタカーテンにメッシュのようなパターンが明らかにされ、またそのようなパターンは非弾性粒子の数値シミュレーションでも再現されている。また、このプロセスは月や他の大気をもたない天体における新鮮なクレーターまわりの光条線の起源に関連する可能性がある(Kadono et al., 2015)。ISAS/JAXAの小惑星ミッションHayabusa 2のSCIのような人工的な衝突体(Arakawa et al., 2016)や天体への自然な衝突体により生じるイジェクタカーテンは、イジェクタ粒子のメッシュパターンやクラスター、凝集体のような離散的な構造を示すかもしれない。これらの構造の観測は、イジェクタ粒子の付着力や形状などの物理特性に関する情報を与えるかもしれない。

最も単純な粉体流の一つは自由落下する粒子の流れである。室内実験(Royer et al., 2009)と数値シミュレーション(Waitukaitis et al., 2011)両方で、自由落下する粉体流でクラスターが形成することが示されており、数値シミュレーションでは、そのクラスターが、粒子間相対速度が減少していく平均配位数4ほどの粒子集合体であることが調べられた。

遠心加速法で付着力を測定した数十ミクロンの球形粒子と不規則形状粒子を用いて自由落下粉体流実験を行った我々の実験では、同程度の付着力である場合に、不規則形状粒子のほうがクラスターを形成しやすいことが示された(長足他、惑星科学会2017年秋季講演会)。そこで今回は、粒子形状の異なる粒子を用いて、クラスターの形状、サイズ、密度を測定し、自由落下粉体流中に形成するクラスターに対する粒子形状の影響の議論をさらに深める。

実験内容：

粉体流は、粒子を入れた漏斗を真空チャンバー内の底面からの高さ160 cmに設置し、電磁石により塞ぎ止められていた開口部を開くことで、粒子が流れ始め作られる。宇宙研のチャンバーでは、漏斗開口部から下方に110 cmの高さで撮像したフラッシュX線画像を解析することによりクラスターの密度を推定し、神戸大のチャンバーでは、同じ高さで高速度カメラにより撮像し、クラスターの形状の解析を行なった。実験は主に大気圧下で行い、一部は真空引きして行なった。粒子には50  $\mu\text{m}$ ガラスビーズと不規則形状の粒径70  $\mu\text{m}$ の石英砂を用い、開口部が12 mmの漏斗を用いた。

実験結果：

本実験はその先行研究よりも粒子開口部を大きくしており(過去研究では最大6 mm)、先行研究の最大クラスターの2倍程度のクラスターが形成した。クラスターのアスペクト比を、粉体流の流れに沿った方向のクラスターの長さ/垂直方向の幅で定義する。アスペクト比はどちらの粒子の場合もほぼ1~3の範囲にあり、過去の室内実験による結果(Royer et al., 2009)と一致する。しかしながら、不規則形状粒子からなるクラスターは、球形粒子からなるクラスターよりもサイズや形状にばらつきが大きかった。すなわち、クラスター幅はガラスビーズ50  $\mu\text{m}$ の場合、 $3.93 \pm 0.63$  mm、石英砂70  $\mu\text{m}$ の場合、 $4.32 \pm 1.40$  mmで、円形度は石英砂のクラスターのほうが小さいことがわかった。

一方、X線透過画像から推定したガラスビーズによるクラスターの空隙率は $0.58 \pm 0.02$ であった。Wada et al. (2011)では、空隙率0.6のダストアグリゲイトの配位数は3.7-6.5である。前述の球形粒子の数値シ

ミュレーションによる粉体流クラスターの平均配位数が4程度であることと、この空隙率は矛盾しない。また、不規則形状の石英砂のクラスターの空隙率は $0.59 \pm 0.03$ であり、クラスター密度に粒子形状による違いは見られなかった。

キーワード：粉体流、クラスター、粒子形状

Keywords: Granular Stream, Cluster, Particle Shape