

# 粉体流中のアグリゲイト観察

○長足 友哉<sup>1</sup>, 大村 知美<sup>1</sup>, 木内 真人<sup>1</sup>, 中村 昭子<sup>1</sup>, 和田 浩二<sup>2</sup>, 長谷川 直<sup>3</sup>

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

**本研究の目的:** 微惑星の形成に関して、原始惑星系円盤内においてダスト同士の衝突速度は数十メートル毎秒に達し、凝集性の高い氷粒子の場合は成長可能とされるが、その一方で、凝集性の低いシリケート粒子の場合、アグリゲイトの衝突破壊が起きるとされる[1]。従来のダストアグリゲイト付着成長実験で用いられたのは、サブミクロン~1 ミクロンの粒子を地球重力下で数百ミクロン程度のふるいで作られたアグリゲイト[2]で、数値シミュレーションで予想されるようなダストアグリゲイト構造とは非常に異なる[3]。一方、粉体流でアグリゲイトが形成することが知られている[4]。そこで、本研究では、アグリゲイト形成の理解のため、付着力を測定した粒子で粉体流実験を行ない、アグリゲイトの形成条件を調べる。

**実験手法:** 粉体流実験では、漏斗の口を電磁石でせき止めて粒子を入れたものを真空チャンバー内に設置して、真空引きし、その後、電磁石により塞き止められていた漏斗口を開くことで、粒子が流れ始め、粉体流が作られる。この粉体流を宇宙研のチャンバーでは、デジタルカメラおよび高速度カメラを落下させて撮影し、神戸大のチャンバーでは、高さを固定した高速度カメラで撮影し、解析を行なった。付着力測定は、ガラス平板に付着させた粒子に遠心力をかけていき、粒子が平板から離れたとき、遠心力がその粒子の付着力につりあったとして付着力を求める。粒子が平板から離れる回転数は、回転前後で同じ場所を光学顕微鏡により撮影して各粒子がどの回転数まで平板上に存在するか確かめた。

**実験結果:** 付着力測定結果では、球形ガラスビーズ  $50 \mu\text{m}$  は、JKR 理論による理論値の数%の値を示すものが多く、一方で、球形のガラスビーズ  $100 \mu\text{m}$  や不規則形状のアルミナ  $77 \mu\text{m}$ 、海砂  $73 \mu\text{m}$  は粒子によってばらつきがあり、理論値の数%の値を示す粒子が多かった。また、この測定値を再現する粒子の実効的表面エネルギーを計算した。また、粉体流の漏斗口付近での水平方向の粒子速度を高さ固定の高速度カメラの画像から、粒子の動きを解析して算出した。ここで、JKR 理論と、数値シミュレーションからもたらされた、同じ大きさのアグリゲイト同士の衝突の場合の成長限界速度[5]と上記の実効的表面エネルギーの値を用いて成長限界速度の範囲を求めた。ガラスビーズ  $50 \mu\text{m}$  は成長限界速度以下のものが比較的多く、アグリゲイト形成の可能性を示すが、ガラスビーズ  $100 \mu\text{m}$  やアルミナ  $77 \mu\text{m}$ 、海砂  $73 \mu\text{m}$  は成長限界速度を下回る粒子速度のものが少なく、アグリゲイトを形成しにくいと考えられる。そこで、ガラスビーズ  $50 \mu\text{m}$  とガラスビーズ  $100 \mu\text{m}$  の、大気圧

のときの漏斗口からの距離 0.9 メートルでの粉体流の様子を比較すると、上記の推測に一致して、ガラスビーズ 50  $\mu\text{m}$  はアグリゲイトが形成したが、ガラスビーズ 100  $\mu\text{m}$  ではアグリゲイトが形成しない状態のままとなった。また一方で、ガラスビーズ 50  $\mu\text{m}$  の場合、周囲圧を減少させるにつれて、アグリゲイトが形成されにくくなることが分かった。これに関しては、付着力(液架橋力)が、減圧により減少していることを考える。同様にアルミナ 77  $\mu\text{m}$ 、海砂 73  $\mu\text{m}$  の粉体流の様子を比較すると、上記の推測に反して、どちらもアグリゲイトを形成することが分かった。このことは今回測定された付着力や粒子速度では説明ができないが、不規則形状粒子の方が付着限界速度は大きいことを示した過去研究があり、この結果もまた、そのことを示唆していると考えられる。形成したアグリゲイトのアスペクト比を先行研究[4]と比較すると、先行研究ではその値が 1~3 の間であるとしているが、本研究では先行研究よりも漏斗口を大きくしているものの、本研究でもほとんどのアグリゲイトが 1~3 の範囲のアスペクト比をもち、漏斗口を大きくするとより大きいアグリゲイトが形成することがわかった。

#### 謝辞

本研究は宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所の共同利用実験で行いました。

#### 参考文献

- [1] Wada K. et al. (2009) *The Astrophysical Journal*, 702, 1490-1501.
- [2] Kelling T. et al. (2014) *The Astrophysical Journal*, 783, 111.
- [3] Wada K. et al. (2008) *The Astrophysical Journal*, 677, 1296-1308.
- [4] Royer J R. et al. (2009) *Nature* 459:1110-1113.
- [5] Wada K. et al. (2013) *Astronomy & Astrophysics*, 559, A62.