

ダスト集合体の衝突圧密実験

○櫻井諒太¹, 中村昭子², 長足友哉³, 大村知美⁴

¹神戸大学理学部, ²神戸大学大学院理学研究科,

³東北大学大学院理学研究科, ⁴大阪産業大学全学教育機構高等教育センター

背景と目的

ダスト集合体である微惑星は多孔質と考えられており、微惑星のなごりとされる小惑星も多孔質なものが多い。小惑星の一部は隕石として地球に飛来している。ただし、小天体形成時に自己重力だけで CI コンドライトや CM コンドライトの空隙率まで圧密されることは難しく[1]、熱進化や外部からの力などの自己重力以外の要因が必要であると考えられる。そこで、今回は地球重力下での自由落下によるダスト集合体の衝突圧密実験を行い、X線透過画像によって圧密過程を観察・解析した。

実験・解析手法

宇宙科学研究所の縦型チャンバー内で圧密実験を行った。実験試料として不定形シリカ粒子(中心粒径 $1.5 \mu\text{m}$ 、真密度 $\rho_{\text{Si}} = 2.2 \text{ g/cm}^3$)を用い、アクリル容器(内径 7.4 cm 、高さ 20 cm)にすりきり一杯充填した。プロジェクタイトルとして直径 3 cm の鉄球、鉄円柱(短)(高さ 3 cm)、鉄円柱(長)(高さ 5 cm)を用い、試料に向けて高さ 1 m からアクリル管内を自由落下させた。レーザーと光センサーによってプロジェクタイトルの通過を検知し、それをトリガーとしてX線照射装置を作動させ、粒子が圧密されている最中をイメージングプレートに撮影した。雰囲気気圧は 10^5 Pa と 3 Pa で実験した。

粒子内をプロジェクタイトルが貫入する際の運動方程式(外力としてニュートン抵抗力と摩擦力が作用)[2]、および貫入深度とプロジェクタイトル速度の関係式[2]をもとにして貫入深度、抵抗力について比較した。また、鉄円柱(短)と鉄円柱(長)について、取得した圧密前と圧密後のX線画像の濃淡値を比較し、プロジェクタイトル直下の圧密領域の空隙率を推定した。この空隙率を圧密速度 $10 \mu\text{m/s}$ におけるシリカ粒子の圧密実験[1]での空隙率と比較した。

結果・解析

プロジェクタイトル衝突からの経過時間と貫入深度の関係は、ニュートン抵抗力が作用し摩擦力が作用しない場合での計算値が実験結果に最も良くフィットした。これはプロジェクタイトルの種類や雰囲気気圧に関わらず同様の傾向を示した。

粒子の圧密状況は、プロジェクタイトル直下の領域の平均空隙率は鉄円柱(短)では圧密前 0.83 から圧密後 0.70 ± 0.04 まで、鉄円柱(長)では圧密前 0.84 から圧密後 0.71 ± 0.04 まで圧密されていた。また、上記の結果から摩擦力が作用する場合としない場合で[1]の圧力

と空隙率の関係を用いて、空隙率の下限と上限を導出して範囲を推定した。鉄円柱(短)と鉄円柱(長)でそれぞれ 0.70 ~ 0.74, 0.68 ~ 0.71 であり、実験での圧密後の平均空隙率および標準偏差の範囲内に収まっていた。このことから、粒子の圧密は圧密速度が 10 $\mu\text{m/s}$ と数 m/s では同様と考えられる。

考察

今回の実験の初期空隙率(0.83)は[2]で用いられた試料の初期空隙率(0.410 ± 0.004)よりも大幅に高いため、圧密された部分の粒子が周囲の粒子の空隙を充填するように動き、摩擦が影響するほど大きく変動していないと考えられる。

圧密速度 10 $\mu\text{m/s}$ から数 m/s の範囲では時間当たりの圧力変化が異なるが、粒子が破壊されるほどの圧力までは達していないため、圧密による粒子の移動によってのみ空隙を充填し、同様の圧密度合いを示すと考えられる。

本研究は, JAXA 宇宙科学研究所の超高速度衝突実験施設の共同利用実験として行いました。

参考文献

- [1] Omura, T. and Nakamura, A.M. 2021, The Planetary Science Journal 2, 41.
- [2] Katsuragi, H. and Durian, D.J., 2013, Physical Review E 87, 052208.