

回転実験による砂山形状変化のヒステリシスと自転コマ型小惑星の形状安定性

Hysteresis of a rotated sand-pile shape relating to the stability of a spinning top-shaped asteroid

*入江 輝紀¹、山口 隆正²、渡邊 誠一郎¹、桂木 洋光¹

*Terunori Irie¹, Ryusei Yamaguchi², Sei-ichiro WATANABE¹, Hiroaki Katsuragi¹

1. 名古屋大学大学院環境学研究科、2. 名古屋大学全学技術センター

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Technical Center, Nagoya University, Japan

小惑星探査機はやぶさ2の探査により、赤道に隆起した尾根を持つ扁平な自転コマ型形状であることが判明したC型小惑星リュウグウ(Watanabe et al., 2019)は、その体積密度($1.19 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$)やボルダーサイズ分布等の情報から、母天体が破壊された際に生じた破砕破片が集積したラブルパイル天体であることが示唆されている。また、リュウグウの赤道断面のアスペクト比が0.96、円形度が0.93であることから、リュウグウの形状は自転による遠心力で、物質が赤道域へ移動して形成されたことも示唆されている。しかし、現在のリュウグウの自転周期はおよそ7.63時間で、これは他に知られているコマ型小惑星の自転周期の3倍程度で、自己重力と遠心力のつり合いを考えるとリュウグウの現在の赤道付近の隆起は大きすぎることが分かっている。したがって、リュウグウは過去の高速自転により形成された形状が、遠心力が小さくなった現在でも安定的に保存されていることが考えられているが、その形状安定性等に関する定量的考察はまだ十分に行われていない。そこで本研究では、リュウグウの形状安定性を定量的に検証するための手掛かりを得るために、砂山の室内回転実験を行った。

実験では、砂山を奥行の短い擬2次元サンプルケース(内寸: $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 10\text{mm}$)内部に積み上げた。砂山の頂点がサンプルケース中央の回転軸と一致するようにして小惑星の垂直断面を模擬した。サンプルケースを回転させることで砂山の遠心力による崩壊過程を観察した。回転数はサンプルケース端部での遠心力/重力の比が0-41.0となる範囲(0-902rpm)で変化させた。遠心力/重力の比は初期状態で0(無回転)であり、段階的に41.0まで回転数を上げた後、再び0まで段階的に下げる実験を行った。回転による砂山の形状変化は、装置回転部に搭載された小型カメラで撮像し、それぞれの遠心力条件下での砂山の平衡形状を記録した。得られたデータより、砂山輪郭線の傾斜角および流量を、砂山の画像を二値化し輪郭線を抽出する画像解析により算出した。

実験の結果、初期状態での砂山の安息角が、最大遠心力を経験した後の安息角に比べて小さくなるヒステリシス特性が観察された。具体的には、ガラスビーズ(直径1.5-2.5 mm, 安息角 25°)を用いた場合、の最大遠心力を経験した後の傾斜角は $25.2\text{-}36.5^\circ$ を保持していた。このようなヒステリシスは、現在のリュウグウが自転が低速でありながらコマ型を維持している安定性と関係する可能性がある。

本発表では、強い遠心力を経験する前後での砂山形状のヒステリシスの定量的評価結果について発表する。

キーワード: 回転実験、粉体、重力、遠心力、ヒステリシス、コマ型小惑星

Keywords: rotation experiment, granular matter, gravity, centrifugal force, hysteresis, spinning top-shaped asteroid