

砂標的への低速度衝突クレーター形成実験：重力依存性と真空度依存性 Experimental study on low velocity impact onto granular media: Dependence on gravity acceleration and ambient pressure

木内 真人^{1*}; 中村 昭子¹
KIUCHI, Masato^{1*}; NAKAMURA, Akiko¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kobe University

小天体表面における重力加速度は微小であり、表面の衝突クレーターサイズが重力スケーリングまたは強度スケーリングのいずれに従うのかわかっておらず、またこれまでに得られたスケーリング則が適用できるのかも未知である。クレーターサイズ頻度分布から天体表面の進化の過程を推定するためには、クレーター直径の重力依存性を理解することが重要である。しかし、重力がクレーター形成に与える影響はこれまで詳細には確かめられていない。高速度衝突実験として模擬高重力下 (*Schmidt and Housen, 1987*)、模擬低重力下 (*Gault and Wedekind, 1977; Takagi et al., 2007*) での実験例があるが、それぞれ重力依存性について異なる結果が得られており、これらの結果の違いの原因については明らかになっていない。

我々は、標的を定荷重ばねで吊るしながら落下させることで標的にかかる重力加速度を模擬的に小さくする装置を開発し、重力加速度は 0.25-1 G の範囲で実験を行った。標的にはシリカサンド (粒径 $\sim 140 \mu\text{m}$) とガラスビーズ (粒径 $\sim 500 \mu\text{m}$) を用い、直径 8 mm のステンレス球弾丸を衝突速度 $1-4 \text{ m s}^{-1}$ の範囲で衝突させた。また、実験は 1 気圧下で行った。その結果、0.5-1 G の範囲でクレーター直径はシリカサンドでは重力加速度の -0.188 ± 0.008 乗に比例し、ガラスビーズでは 0.183 ± 0.007 乗に比例した。また、これらの重力依存性は先行研究の高速度衝突における結果 (*Schmidt and Housen, 1987; Gault and Wedekind, 1977*) と調和的であった (木内他、2014 年日本惑星科学会秋季講演会)。

我々は、新たに標的容器を自由落下させた状態で実験を行った。このとき標的にかかる重力加速度は 0.01 G であった。しかし、この場合、上記の重力依存性から予想されるクレーターサイズよりも小さいクレーターが形成された。粉体の固着力を理論式 (*Rumpf, 1970*) により見積もったところ、本実験条件では 0.01 G で形成されるクレーターサイズに対して固着力の影響が無視できなくなっていることがわかった。一方で、真空チャンバ内で同様の実験を行ったところ形成されるクレーターは大気圧下よりも大きくなった。0.01 G 下でクレーターが大きくなりきらなかった原因として、大気圧が結果に影響を与えている可能性もあることがわかった。

上記の大気圧の影響を評価するうえで、大気がクレーター形成に与える効果を詳しく知る必要がある。*Schultz (1992)* では $10^3 - 10^5 \text{ Pa}$ の範囲で真空度を変化させて粉体標的に対して衝突クレーター形成実験を行い (衝突速度 $\geq 1.5 \text{ km s}^{-1}$)、真空度が小さくなるにつれクレーター体積が大きくなるという結果を得ている。これまでの衝突実験の多くは $1-10^3 \text{ Pa}$ 程度の真空度で行われたものであり、これらの実験結果を実際の小天体表面のような超高真空下に対して適用できるかどうかは未知である。また、どのようなメカニズムで大気の影響を及ぼすかについては明らかではない。

我々は、真空度を $1-10^5 \text{ Pa}$ の範囲で変化させ、低速度域で衝突クレーター形成実験を行った。標的にシリカサンド (粒径 $\sim 140 \mu\text{m}$) を、弾丸に直径 8 mm のステンレス球を用い、衝突速度は 2.5 m s^{-1} で衝突させた。その結果、大気圧が小さくなるにつれクレーター直径は大きくなり、高速度域の先行研究と同様の傾向が見られた。この結果の要因として、標的粒子の運動に対する大気の抵抗の変化や標的内の内部摩擦の変化などが考えられる。クレーター直径は、標的粒子の内部摩擦角が小さいと大きくなるという傾向が報告されている。我々が大気圧を変えて安息角 (\sim 内部摩擦角にほぼ等しいと考えられる) を測定した予備的実験では、大気圧を減ざると安息角が小さくなる傾向が見られた。逆に超高真空下では内部摩擦角が 1 気圧下よりも増大するという実験結果も報告されている (*Perko et al., 2001*)。真空度による内部摩擦角の変化の原因は特定されていないが、大気圧の変化は、内部摩擦角の変化を介してクレーターサイズに影響を及ぼしている可能性が示唆される。今後これらの要因についてのさらなる調査と考察を行い、結果を報告する。

キーワード: 小惑星, 衝突クレーター, 室内実験, 微小重力, 真空度

Keywords: Asteroids, Impact craters, Laboratory experiments, Microgravity, Ambient pressure