

模擬低重力における低速度クレーター形成実験

○木内真人¹, 中村昭子¹, 大村知美¹, 和田浩二²

¹神戸大学大学院理学研究科, ²千葉工業大学惑星探査研究センター

はじめに

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ルリングまたは強度スケールリングのいずれに従うのかはわかっておらず、またこれまでに得られたスケール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。Schmidt and Housen (1987)と Gault and Wedekind (1977)では、クレーター直径は重力の-1.7 乗に比例するという同様の結果が得られているが、Takagi et al. (2007)ではクレーター直径は重力によって変わらないという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。本研究では、砂標的に対して模擬低重力下における低速度衝突実験を行うことで、クレーター直径の重力依存性を調べた。多くの実験は大気下で行ったが、真空下でも同様の実験を行うことで、大気を与える影響について確かめた。

実験方法

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、衝突実験を行った。装置の概略図を図 1 に示す。標的容器は電磁石で固定されており、スイッチを切ると落下する。容器が落下している間に上方向から弾丸が自由落下して標的上面に衝突する。クレーター形成の様子は高速度ビデオカメラによって撮影され、クレーター直径は撮影された画像から決定する。標的にかかる重力加速度を 0.25 - 1 G の範囲で変化させ、また標的容器を自由落下させた状態でも実験を行い、そのときの重力加速度は 0.01 G であった。標的にはシリカサンド（粒径 ~140 μm ）とガラスビーズ（粒径 ~500 μm ）を用い、直径 8 mm のステンレス球弾丸を衝突速度 1 - 5 ms^{-1} の範囲で衝突させた。実験の多くは大大気下で行ったが、大気の影響を確かめるため、宇宙科学研究所の縦型銃チャンバ内に実験装置を設置し、真空下（7 Pa）でも同様の実験を行った。

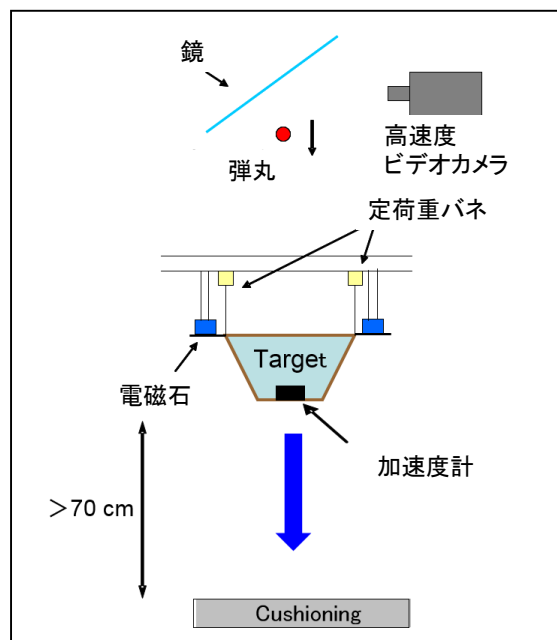


図 1: 実験装置

結果と考察

クレーター直径と衝突からの時間経過の関係を図2に示す。クレーター直径が成長し終わった点をクレーター形成時間とすると、本実験ではクレーター形成時間は0.15 s以内であり、これは標的容器の落下時間 (> 0.3 s) よりも十分短い。つまり、本実験条件では容器が落下し終わるまでにクレーターは形成されていることが確認できる。

図3に大気下における実験結果を示す。 π_R は規格化クレーター半径、 π_2 は規格化重力である。ここで、 $\pi_R = R \times (\rho/m)^{1/3}$ と表され、 $\pi_2 = ga/v^2$ と表される (R :クレーター半径、 ρ :標的密度、 m :弾丸質量、 g :重力加速度、 a :弾丸半径、 v :衝突速度)。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。これらの重力依存性は先行研究の高速衝突における結果 (Schmidt and Housen, 1987; Gault and Wedekind, 1977) と調和的である。また、Takagi et al. (2007)で重力依存性が見られなかった要因として、クレーター形成における標的粉体層の強度の影響が考えられるが、強度の影響と重力の影響が逆転する境界が理解されていないこともあり詳しくはわかっていない。

上記の実験は大気下で行われたものであるが、大気圧により形成されるクレーター直径が異なることが過去の実験より報告されており (Shultz, 1992; Suzuki et al., 2013)、大気が存在が実験結果に影響を与えている可能性も考えられる。宇宙科学研究所の縦型銃チャンバを用いて、真空下 (7 Pa) で同様の実験をシリカサンド標的に対して行った。実験結果を図4に示す。7 Pa 下ではクレーター直径は重力加速度の -0.182 ± 0.002 乗に比例し、これは大気下での結果 (-0.188 ± 0.008 乗に比例) と同様の結果であった。クレーター直径は7 Pa 下の方が全体的に大きくなっているが、これは大気圧が小さくなるとクレーター直径が大きくなるという過去研究の結果と調和的である (Shultz, 1992; Suzuki et al., 2013)。この結果より、クレーター直径自体は大気圧に影響を受けるが、重力依存性は大気の影響を受けないとい

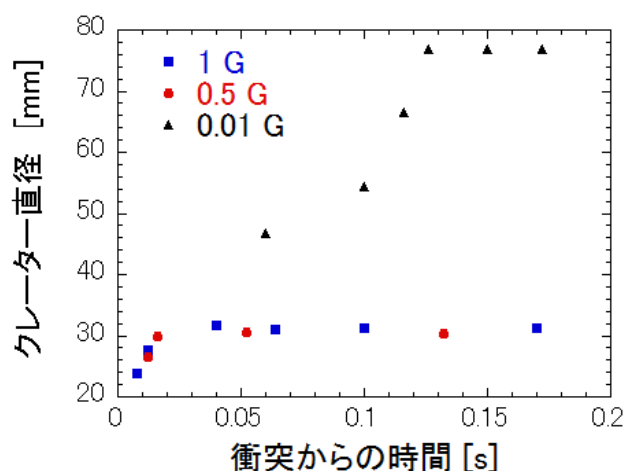


図2:クレーター形成時間

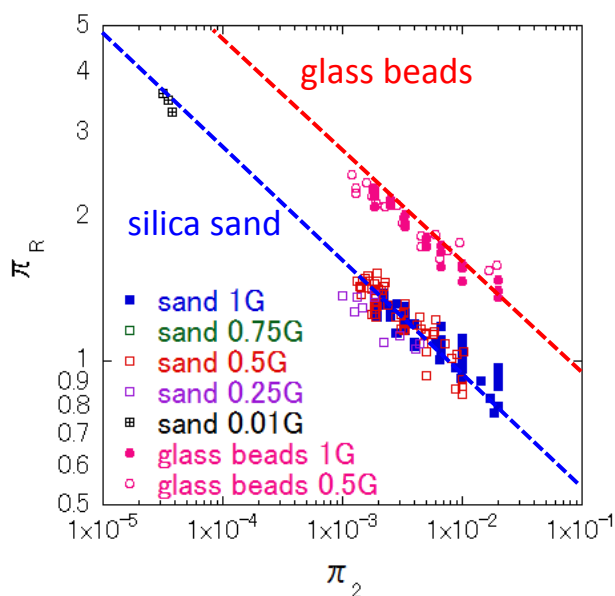


図3: π_R と π_2 の関係 (大気下)

うことがわかった。また今回の実験より、上方向からの画像からクレーターリムを観察する際、真空下の方がリムを判別しやすいということもわかった。これは、大気下ではエジェクタ軌道に影響を与えるため、リムを不鮮明にしていることが要因だと考えられる。

まとめ

簡易に低重力条件を模擬する装置を開発し、粉体標的に対して低速衝突クレーター形成実験を行った。大気下において重力加速度 $0.1 - 1 \text{ G}$ 、衝突速度 $1 - 5 \text{ ms}^{-1}$ の範囲で実験を行った結果、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。この結果は高速衝突に

おける結果 (Schmidt and Housen, 1987; Gault and Wedekind, 1977) と調和的である。また我々は、宇宙科学研究所の縦型銃チャンバを用いて真空下で同様の実験を行った結果、大気下と同様の重力依存性を得た。このことから、重力依存性に関して大気の影響がないことを確かめられた。また、大気下での実験ではエジェクタ軌道に与える影響によってクレーターの判別が困難であるが、真空下では判別しやすいという利点があることがわかった。

参考文献

- Schmidt, R. M. and K. R. Housen, 1987. Some recent advances in the scaling of impact and explosion cratering. *Int. J. Impact Eng.* 5, 543-560.
- Gault, D. E. and J. A. Wedekind, 1977. Experimental hypervelocity impact into quartz sand – II, Effects of gravitational acceleration. In *Impact and Explosion Cratering*, Pergamon Press, New York, 1231-1244.
- Takagi, Y. Hasegawa, S. Yano, H. Yamamoto, S. Sugita, S. Teramoto, K. Honda, C. Kurosawa, K. Nakada, T. Abe, M. and Fujiwara, A., 2007. Impact cratering experiments in microgravity environment. *Lunar and Planetary Science XXXVIII*, 1634.
- Schultz, P.H., 1992. Atmospheric effects on cratering efficiency. *J. Geophys. Res.* 97, 975–1005.
- Suzuki, A.I., Nakamura, A.M., Kadono, T., Wada, K., Yamamoto, S., Arakawa, M., 2013. A formation mechanism for concentric ridges in ejecta surrounding impact craters in a layer of fine glass beads. *Icarus* 225, 298–307.

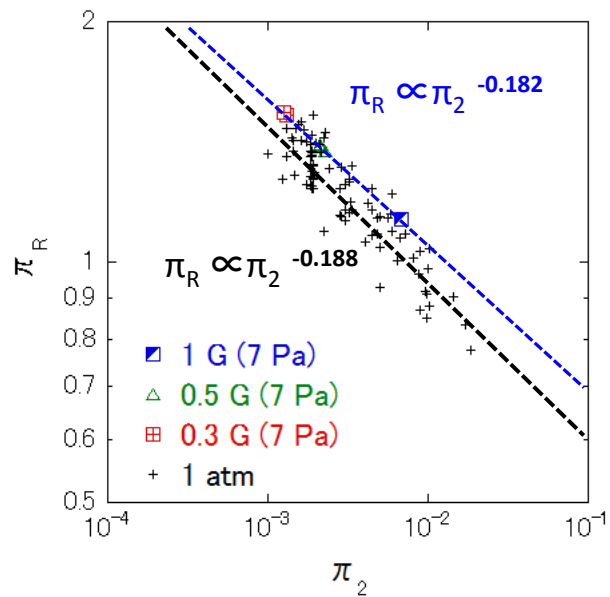


図 4: π_R と π_2 の関係
(大気下と真空下の比較)