

物質強度を変化させた模擬小惑星標的を用いた高速度クレーター形成実験 ～スケール則の導出、改良版Zモデルとの比較～

杉村瞭¹,荒川政彦¹,保井みなみ¹,千秋博紀²,長谷川直³

1.神戸大学理学研究科 2. 千葉工業大学惑星探査研究センター

3.宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

・背景

衝突クレーターにおける強度支配域と重力支配域には、その境界となる境界強度が存在すると考えられる。この境界強度は重力とともに変化すると考えられ、低表面重力の小惑星では強度支配域が広がると予想されている。また、探査機はやぶさ2により形成されたクレーターサイズと室内実験から得られるスケール則から小惑星の表面強度を制約することができる。しかし、これまでの先行研究で用いられた物質強度 1MPa 以上のものがほとんどで、kPa オーダーまで系統的に強度を変化させて構築したスケール則が必要となっている。また、強度支配域のエジェクタ放出過程のモデルとして改良版Zモデルが2016年度惑星科学会秋季講演会で高野等によって提案された。結晶質標的において改良版Zモデルが適用できることが分かった。しかし、このモデルが小惑星のような多孔質天体にも適用可能かは分かっていない。本研究では、混合比を変化させた石英砂・石膏混合標的を用いてクレーター形成実験を行い、クレータースケール則を低強度領域まで拡張させ、多孔質天体における改良版Zモデルの妥当性を検討した。

・実験方法

実験は神戸大学の横型二段式軽ガス銃と宇宙科学研究所の縦型二段式系ガス銃を用いた。主な実験は神戸大学の横型である。標的は粒径 100 μ m の石英砂と石膏を f:1 の質量比で混合させた (f=2,4,6,8,10,20,30,50,100)。弾丸は全て 2mm のアルミ球を用い、衝突速度は 2,4,6km/s である。エジェクタ放出過程に着目した実験では高速度カメラの視線方向に飛翔するエジェクタを遮断するために標的の前にスリットを設置した。用いた標的は f=4(240kPa),f=8(37kPa),f=30(6kPa),f=50(0.8kPa)である。

・結果

作成した標的の引張強度は f=2~30 の標的はブラジリアン試験によって測定し、f=50,100 の標的は円柱形を2つ組み合わせた容器で標的を作成し強度を測定し、引張強度を 0.4kPa~800kPa の間で変化させた。クレーター直径は強度の減少に伴い増大し、スポール直径は引張強度に依存することが分かった。またエジェクタ放出速度は強度の減少に伴い放出位置が右にシフトすることが分かった。これは強度の減少とともにクレーターサイズが大きくなるためである。Yshape を形成するエジェクタ放出角度はクレーター壁面に近づくほど高角度で放出することが分かった。しかし、標的強度によって角度の増加傾向が異なり、高強度標的ではシャープに増加し、低強度標的ではゆっくりと増加することが分かった。

・考察

本研究で得られた結果を Housen & Holsapple(2011)において提案されたスケール則を用いて先行研究と比較した(図 1)。多孔質標的の π_R の値とべき乗値は結晶質標的と比べ小さくなるのが分かった。これは石膏内部の空隙を潰すことにエネルギーが消費されるため、衝撃圧力の距離減衰が大きくなるためであると考えられる。

次に改良版 Z モデルと本研究で得られた結果との比較である(図 2,3)。ここから強度の減少に伴い改良版 Z モデルのクレーター壁面との摩擦などの効果を示す ξ の値が増加することが分かった。これは強度の減少に伴いクレーターサイズが増大するので、クレーター壁面における摩擦の効果を受けにくくなるためであると考えられる。また、改良版 Z モデルとの比較により、本研究の実験結果をよく再現できており、多孔質標的においても適用できることが分かった。

本研究の結果から得られたスケールと探査機はやぶさ 2 が形成したクレーターからリュウグウの表面強度を制約を行った。本研究で得られたスケール則 $\pi_R = 0.70\pi_Y^{0.37}$ に SCI 衝突条件を代入することでリュウグウの表面強度は 1.8P であり、形成されたクレーターにはリムがあり重力支配域のクレーターであると考えられるため、1.8Pa はリュウグウ表面強度の上限値であると制約することができた。

・参考文献

Housen&Holsapple(2011),Icarus211.856-875

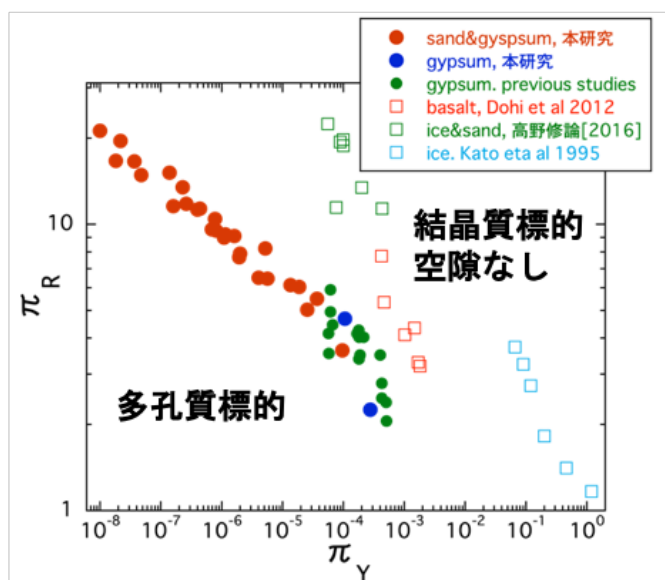


図 1: π スケール則を用いた先行研究との比較

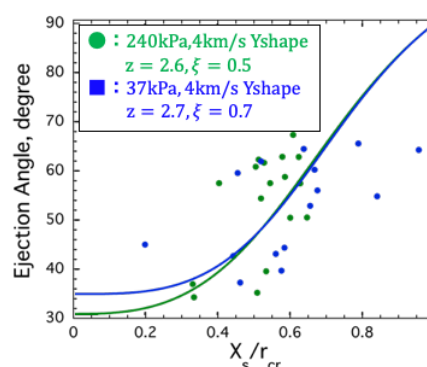


図 2: 改良版 Z モデルとの比較
[f=4(240kPa),f=8(37kPa)]

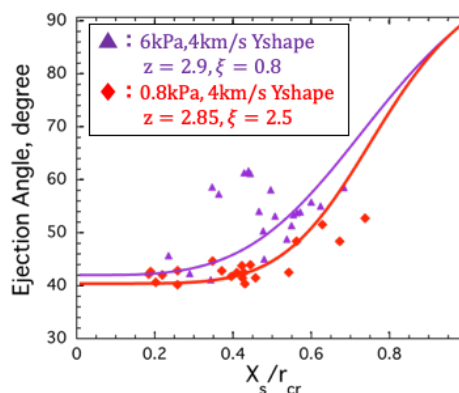


図 3: 改良版 Z モデルとの比較
[f=30(6kPa),f=50(0.8kPa)]