

砂に埋没したボルダーへの衝突による破壊とクレーター形成に対する アーミング効果

宇都宮忠勝¹〇, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 横田優作¹, 柿木玲亜¹, 佐古洸也¹, 長谷川直²

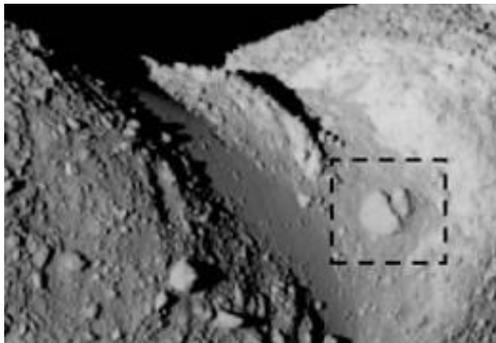
¹神戸大学, ²ISAS

背景: 探査機はやぶさは、小惑星イトカワの表面が数センチから数メートルの小石や巨礫(ボルダー)で覆われているのを観測し、ラブルパイル天体の直接的観測としては初の例となった。またイトカワは、月と比較して小さなクレーターが非常に少ないことや、ボルダー上に穴や割れ目(図1)があることも明らかになり、このことからイトカワのクレーター形成過程には、ボルダーが鎧のように働きクレーター形成を防いでいる、つまりアーミング効果が働いていることが示唆された。ボルダーで覆われた小惑星表面模擬物質を用いたこれまでの室内実験で、低速度域では弾丸/標的粒子の直径比が1より小さくなるとクレーターサイズが極端に小さくなること(Guettler et al.(2012))や、衝突エネルギーが標的粒子の破壊エネルギーよりも小さい場合、クレーターの大きさは標的粒子の強度によるスケールリングに従うこと(Tatsumi and Sugita(2017))が明らかになっている。しかし、これまでに行われた粗粒標的を用いた実験は粒径が全て同じであったが、1つのボルダーに着目し、ボルダーに衝突した際のボルダーの挙動やクレーター形成過程については不明な点が多い。

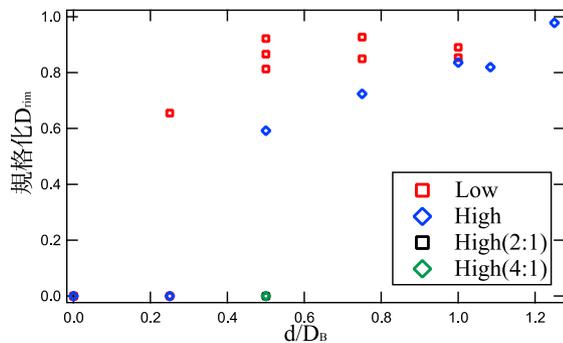
そこで本研究の目的は、地表面に露出したボルダーへの衝突が及ぼすクレーター形成過程への影響を調べ、ボルダーの埋没深さや強度に対するアーミング効果を解明することである。具体的には、ラブルパイル天体表面層を模擬した標的でのクレーター形成実験を行い、ボルダーを模擬した試料の埋没深さを変化させ、エジェクタの放出の様子やクレーターの形状及び直径などについて調べた。

実験方法: ボルダー模擬物質として、直径100ミクロンの石英砂と石膏を質量比8:1で混合した直径40, 60mmの砂石膏混合球を用意し、100ミクロンの石英砂を敷き詰めたたらいの中心部に設置した。その際に、混合球の設置深さを深さ直系比(d/D_B)が0~1.25の範囲で変化させた。なお、(d/D_B)=0が混合球を埋めずに石英砂上に置く場合、(d/D_B)=1は混合球を石英砂表面直下に完全に埋めた場合を指す。また、各実験で得られたクレーターリム直径を、均質石英砂のみ(ボルダーなし)の標的でのクレーターリム直径で規格化し、各深さでクレーター形成過程にどのような違いがあるのかも比較した。そして、低速度(150 ± 6 m/s)と高速度(1.76 ± 0.12 km/s)の二つの速度範囲で実験を行い、それぞれの結果を比較した。

結果: 図2より、ボルダーが半分以上埋没した状態だと、両速度ともにアーミング効果がほとんど効かなかった。しかし、両速度で、深さによるクレーターサイズの変化に違いが見られ、低速度では、(d/D_B)=0.5以上ではサイズに変化はなく石英砂のみ(ボルダーなし)の際の約9割の大きさにまで成長しているのに対して、高速度では、(d/D_B)=0.5から深くなるにつれてクレーターサイズに一定の増加量が見られ、石英砂のみ(ボ



ルダーなし)の際の約9割の大きさに成長する



までに低速度の場合以上に深さが必要であることが示唆された。この違いには、衝突により破壊されたボルダの破片が関与している可能性がある。高速度ではエネルギーが大きい分、破片はより小さく、より遠くに飛び散るのに対して、低速度では破片は放射状に飛び散る際に衝突点付近の均質石英砂上に衝突する事でクレーターを押し広げ、擬似的なクレーターを形成していると考えられる。

図1 イトカワ表面の破壊されたボルダ

図2 クレーターサイズと d/D_B (深さ直径比)の関係