

低速度クレーター形成実験をもとにしたイトカワdimple地形の成因の検証およびフォボス表層地形との比較

The origin of Itokawa dimples and a comparison with the surface structure of Phobos

*木内 真人¹、中村 昭子¹

*Masato Kiuchi¹, Akiko Nakamura¹

1.神戸大学大学院理学研究科

1.Graduate School of Science, Kobe University

はやぶさによる高解像度の表面画像より、小惑星イトカワ表層は浅いクレーター形状や不鮮明なリム、小さいサイズのクレーターが存在しないなど、独特の特徴をもつことが明らかになった(Hirata et al., 2009)。表面はメートルサイズのボルダーにより構成されるrough terrainとミリメートルからセンチメートルサイズの粒子層により構成されるsmooth terrainに区分される。smooth terrain にはボルダーが付随したdimpleと呼ばれる窪み地形が観察されている。この地形の成因として、ボルダーの低速度衝突(Nakamura et al., 2008)や、seismic shakingにより生じたボルダー下の窪み(Hirata et al., 2009)などが考えられているが、成因は明らかではない。このような表層地形の成因を明らかにすることは、天体の表層構造および表層進化の過程を推定する手がかりとなり得る。

イトカワ脱出速度 (0.17 ms^{-1}) を下回るような低速度衝突で形成されるクレーターサイズを推定するうえで、Holsapple (1993)のスケーリング則が適用可能かどうかは未知である。上記のスケーリング則はクレーターが衝突体に比べ十分に大きい場合を前提としているためである。また、クレーターサイズの重力依存性を実験的に調べた 研究は少ない。数少ない実験例として、高重力下(Schmidt and Housen, 1987) と低重力下(Gault and Wedekind, 1977) での高速度実験がそれぞれあり、クレーター直径は重力加速度の $-0.165 \sim -0.17$ 乗に比例するという結果が得られている。しかし実験例自体が少なく、低速度領域ではこれまで確かめられていない。

我々は、標的容器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、また標的容器を自由落下させる実験を行うことで、重力加速度を $0.01 \sim 1 \text{ G}$ の範囲で変化させた。シリカサンド標的(粒径 $\sim 140 \mu\text{m}$)に直径8 mmのステンレス球(密度: 7.9 gcm^{-3})を速度 $1\text{--}5 \text{ ms}^{-1}$ の範囲で衝突させた。結果、クレーター直径は重力加速度の -0.19 ± 0.01 乗に比例し、これは先行研究の高速度衝突での結果に近い値といえる(木内他、2015年連合大会)。

しかし本実験で得られたクレーター直径とHolsappleのスケーリング則から予想される直径には異なりがあった(図参照)。この違いは、高速度域と低速度域での π_2 のべきの値の違いによると考えられる(低速度域で -0.19 ; 高速度域で -0.17)。この結果は、低速度域では弾丸直径に対してクレーター直径が小さいため、衝突エネルギーが効率良くクレーター形成に消費されていることを示唆している。また、弾丸密度の影響を確かめるため、 1 G 下で直径8 mmのガラス球(密度: 2.6 gcm^{-3})を衝突速度 $1\text{--}5 \text{ ms}^{-1}$ で衝突させた結果、 π_2 のべきの値は -0.25 であり、これはステンレス弾丸よりも効率が良いことを示す結果である。原因として、ステンレス弾丸は貫入が深かった分、衝突エネルギーの散逸が大きくなったためと考えられる。クレーター形成に消費されるエネルギーの効率は貫入深さによっても左右され得る。

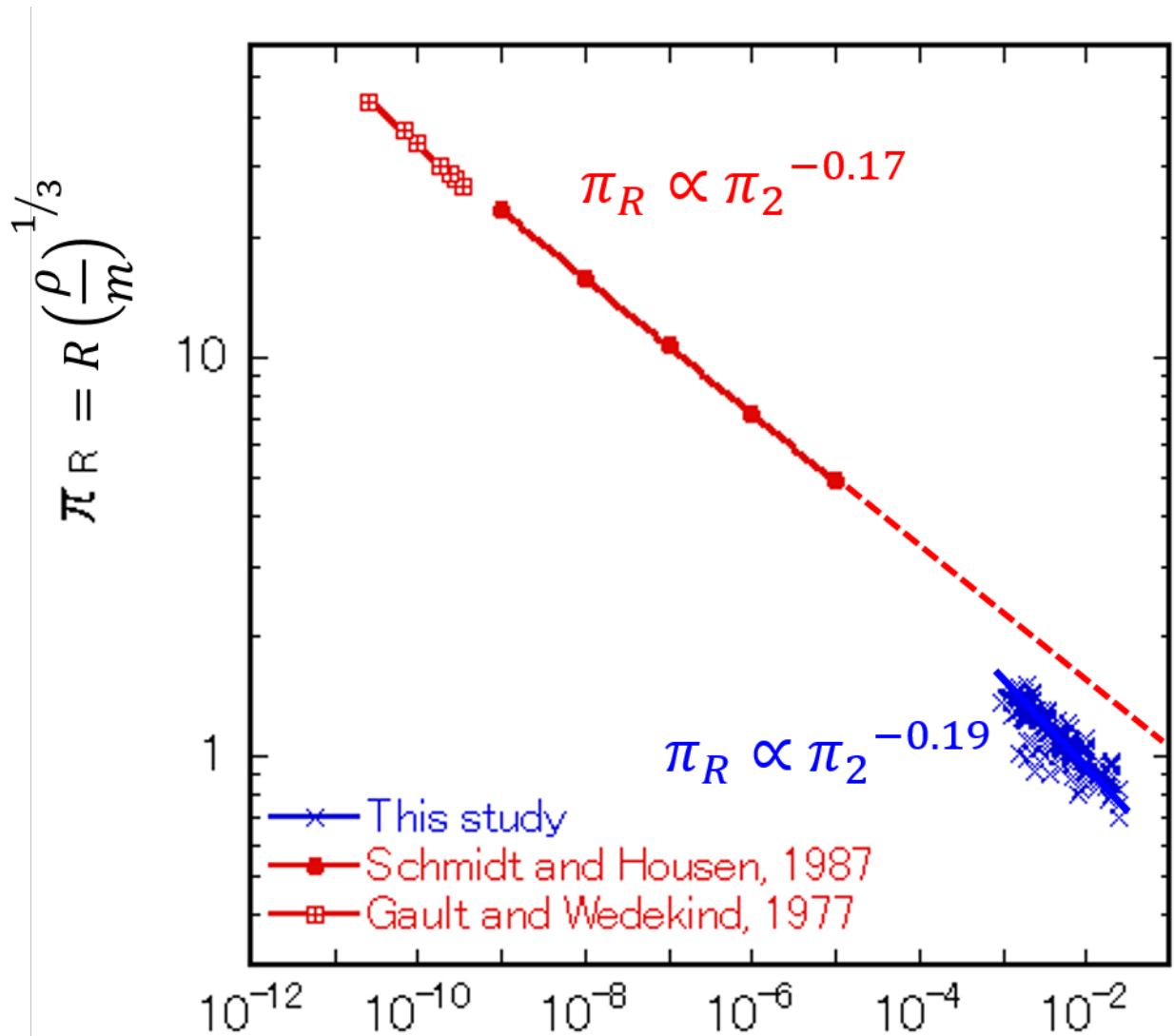
本実験で得られた結果をもとに、1次クレーターから放出されたボルダーがイトカワ表面に再落下した際に形成されるクレーターサイズを見積もった。表面画像よりdimpleに付随するボルダーはメートルサイズであり、このようなボルダーが脱出速度 0.17 ms^{-1} でsmooth terrainに衝突した場合を考える。smooth terrainでの粒子層の密度は $0.95 \sim 1.6 \text{ gcm}^{-3}$ と推定され(Kiuchi and Nakamura, 2014)、これらの条件と本実験で得られた低速度域でのスケーリング則から、例として直径2 mのボルダーで直径7 - 8 mのクレーターが形成される。衝突速度は上限値であり表層の空隙の影響は考慮していないが、2 mのボルダーが付随しているdimple直径は7 m程度という観測結果と調和的である。この結果はイトカワのdimpleの成因が、ボルダーの低速度衝突である可能性を支持する。

また、フォボス表面のStickneyクレーター由来と考えられるボルダーに同様の見積もりを行ったところボルダー直径の2 - 3倍程度のクレーターが形成されるが、表面画像からはボルダーが付随するdimple地形は確認で

きない。これは、イトカワとフォボスの表層構造の違いや表層進化の過程の違いに原因があるのかもしれない。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：ディンプル、イトカワ、クレーター形成実験、フォボス

Keywords: dimple, Itokawa, impact experiments, Phobos



g : gravitational acceleration

a : impactor radius

v : impact velocity, R : crater radius

ρ : target density, m : impactor mass

$$\pi_2 = \frac{ga}{v^2}$$