

## ラブルパイル天体の内部構造がクレーター形成過程に及ぼす影響 The effect of substrate structure of rubble-pile bodies on cratering process

巽 瑛理<sup>1\*</sup>; 杉田 精司<sup>1</sup>  
TATSUMI, Eri<sup>1\*</sup>; SUGITA, Seiji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

背景と研究の目的: Hayabusa によって探査が行われた小惑星イトカワの表層には、他の天体には見られない地形が多く観測される。その象徴的な地形の一つに、ボールダーの豊富な表層でのほぼ円形の窪地が挙げられる (Hirata et al. 2009)。本稿では以下、この窪地を QCD (Quasi-Circular Depression) と呼ぶ。QCD は衝突で形成した可能性が高いが、QCD を衝突クレーターであるとしてイトカワの表面年代を推定すると、75Myr-1Gyr と非常に大きな不確実性が出てしまう (Michel et al., 2009)。この大きな不確実性は、主にラブルパイル天体表面でのクレーター則の不確実性による。小天体でのクレーター形成は、大天体で起こっている衝突エネルギーに比べると非常に小さな衝突エネルギーで起こっているはずである (Benz and Asphaug, 1999)。そのような衝突エネルギーでは、従来のクレーター形成過程で議論されてきた材料強度スケールと重力スケールの中間的なプロセスが卓越すると考えられる。つまり、ラブルパイル天体は重力的に相互結合して形作られているので、全体としては物質強度を持たないが、個々の岩塊は強度を持つため、表層ボールダーの破壊による衝突エネルギーの散逸を無視できないのである (Armoring 効果)。

また、クレーター形成過程において重要なのが、質量損失である。脱出速度の小さい小天体では高速イジェクタの質量は質量損失そのものであり、小惑星の消滅のタイムスケールに直接的に関係する。

イトカワはボールダーが豊富な表層を持ち、密度も低いことからラブルパイル天体とされている (Abe et al., 2006; Saito et al., 2006)。しかし、その内部構造の直接的な観測はなく、表層の下の基層構造は不明である。先行研究からは、粉体層でのクレーター形成が容器の影響を受けることや、ターゲットの背面の物質の有無によってターゲットの破壊の程度が変わることが分かっている (荒川ほか, 2012)。このことから、基層がボールダーかレゴリス層かによって、表面ボールダーの破壊やクレーター形成過程が大きく変化すると推論できる。

本研究では、同じラブルパイル天体であっても内部が材料強度を持ったボールダーか、材料強度を持たないレゴリスのような物質かがクレーター形成に大きく影響する可能性に着目した。このような内部の材料強度の有無が表面のクレーター形成にどれほどの影響を与えるかを実験的に検証した。また、小天体のタイムスケールを決める上で重要となる、クレーターの大きさ、エジェクタ質量に着目し、計測を行った。

衝突実験: 実験では、ガラスビーズを模擬レゴリスとし、ガラスビーズ焼結体を 8~15mm 程度に破碎することで模擬ボールダーを作成した。ターゲットの表層は模擬ボールダーで作成し、基層は模擬レゴリスのケースと模擬ボールダーのケースの両方を用意した。インパクターはポリカ弾丸 ( $\phi$  10mm) を 160~180m/s で衝突させ、高速度カメラでクレーター形成過程を観察した。

実験結果: 予備的な実験では、基層がボールダー層であるときには、イジェクタ質量はレゴリス層であるときの 1/5 以下であり、最終的なクレーター直径も 2 割程度小さくなることが観察された。また、基層がボールダーであるとき、表層のボールダーの破壊の程度が高くなることが確認された。この 2 つの観察結果から、基層がボールダーであるときには、衝突エネルギーがボールダーの破壊により多く使われ、クレーター形成に使われるエネルギーが減少したと考えられる。この理由としては、ボールダーの力学的インピーダンスがレゴリスの 10 倍程度と大きいいため、基層がボールダーの場合は強い反射波が表面に戻り、表層のボールダーが効率的に破壊されたという可能性が挙げられる。一方、基層がレゴリス層の場合には、インパクターとボールダーの衝突で発生した応力波はボールダーからインピーダンスの小さいレゴリス層へと効率的に透過し、強度を持たないレゴリス層の運動エネルギーに変換される。結果として、レゴリス層の運動により、表層でのボールダーの破壊はほとんど起こらず、イジェクタの質量が大きくなったと説明できる。

小惑星進化への影響: 上記のように、内部がボールダーのように材料強度を持つ場合にはクレーター直径がレゴリス層に形成される直径に比べて 2 割程度変化するため、イトカワのようなラブルパイル天体の表面年代は単純には決定できない。しかし、本研究で得られたクレーター直径が強度スケールよりも重力スケールに近いという観測事実から、表面年代について先行研究で示された範囲を低年代側 ( $\sim 10^8$  年) ヘシフトさせることが予想される。また、小天体内部もボールダーである場合には、衝突に伴う質量損失が大幅に減る可能性があることが分かった。このことから、小天体の内部構造の違いによって小天体の消滅時間が 5 倍程度変わりうることを示唆された。

キーワード: ラブルパイル天体, クレーター形成, 質量損失, 破壊  
Keywords: rubble-pile bodies, impact cratering, mass loss, fragmentation