

小惑星 Ryugu での宇宙衝突実験：放出物のパターンとボルダー

○門野敏彦¹, 寫生有理², 小川和律², 白井慶³, 石橋高⁴, 和田浩二⁴,
坂谷尚哉², 末次竜¹, 飯島祐一², 佐伯孝尚², 澤田弘崇³, 杉田精司³, 本田理恵⁴, 荒川政彦³

1 産業医科大学, 2 宇宙研, 3 神戸大, 4 PERC, 5 東京大, 6 高知大

1. はじめに

「はやぶさ2」は小惑星 Ryugu に対して飛翔体 (SCI: 直径およそ 13 cm) を秒速 2 km で撃ち込む「宇宙衝突実験」を 2019 年 4 月 5 日に行った。DCAM3 と呼ばれる探査機本体から分離されたカメラを使って、SCI 衝突によって放出された物質を撮影することにも成功し、実際に飛翔体が発射され小惑星に衝突したことが確認された。現在、DCAM3 で得られた放出物の様子や、今回形成された衝突の痕跡について探査機本体に搭載されている ONC や TIR によって撮影された詳細な画像の解析が進められている (荒川講演, 杉田講演, 巽講演, 坂谷講演)。

今回の発表では、DCAM3 の画像から明らかになった SCI 衝突によって放出されたエジェクタカーテンの非等方性や非一様性を基にして、SCI クレーター付近の内部構造を推定し、その形成過程を議論する。

2. エジェクタカーテン

2-1 カーテンの非等方性

カーテンはいくつかの成分に分かれている (荒川講演)。衝突点付近には二つの巨大ボルダーがあり、衝突後もクレーター内にとどまり、特に南側への物質の放出とクレーター形成を妨げている。南側へ放出されるべき物質は巨大ボルダーによって堰き止められ、衝突直後に現れる真上へ放出される成分となったと考えられる。また、この衝突点付近の巨大ボルダーのうちの一つは衝突後に数 m 移動している。このボルダーは西側へのクレーター形成を完全に止めることができなかったが、西側への物質の離散的な放出という形で影響が現れたと考えられる。また、この移動したボルダーが着地する際に発生したと思われる少量の噴出物も確認されている。

衝突点はこれらの巨大ボルダー直近であると考えられているが、これらは衝突後、破壊されていた形跡が見られないので、SCI 飛翔体が直撃したとは考えにくく衝突は二つの間で起こったようである。二つのボルダーの距離は衝突前およそ 1 m であったので、衝突点からの距離は高々 ~ 1 m、中間点とすれば ~ 50 cm と考えられる。SCI 衝突による応力波の減衰モデル (荒川講演) より ~ 50 cm から 1 m 離れたところでの応力の強さは数十 kPa から 1 MPa である。したがって、これらの巨大ボルダーの強度は数十 kPa から数 MPa 以上であると推定される。

2-2 カーテンの非一様性

クレーター形成時間 ~ 数百秒経つとカーテンは光学的に薄くなり、~ 1 m 弱のボルダーが観測されるようになる。これらがエジェクタカーテン中で確認された最大のボルダーである。

また、カーテンは非一様で乱れており、コントラストは非常に高い。このようなコントラストの高いエジェクタカーテンのパターンは、一桁以上サイズの違う粒子がカーテン中で混在することによって生じることがこれまでの室内実験から示されている。SCI 衝突では最大サイ

ズが数十 cm なので、小粒子は数 cm 以下であることが示唆される。これは、カーテンの光学的厚さの時間変化から見積もられた粒子サイズ、1-10 cm (和田講演) と矛盾がない。

3. ボルダーサイズ分布

SCI クレーター内のボルダーサイズ分布は表層とは異なり、数十 cm サイズのボルダーの頻度が表層に比べて小さい (荒川講演)。カーテン内の最大ボルダーサイズが ~ 1 m 弱であることから、表層にあった 1 m 以上のボルダーは SCI 衝突後、そのままクレーター内に残ったが、~ 1 m 以下の粒子は放出されたと考えられるので、クレーター内のボルダー分布において ~ 1 m 以下の部分は下層のサイズ分布を表していると考えられる。これは 2-2 で示されたカーテンの粒子サイズが 1-10 cm であるという結果と調和的である。

4. SCI 衝突点付近の構造

SCI 衝突点近傍は、べき分布を持つボルダーの表層、1-10 cm サイズの粒子から構成されている下層、500 Pa の強度を持つ基盤層、という三層構造を持つと考えられる。この構造がどのような過程で成立したかについていくつかの可能性を述べる。ここで、SCI 衝突点付近を含む領域で表層の物質が流れた証拠が見ついている (杉田講演) ので、どの過程でも表層の流れは仮定する。

4-1 偏析

表層の流れの中で偏析が起こり、表面近くは大きなボルダー、下層は小さい粒子が支配的となる。その後、小さい衝突が多数おこり、下層の下部が突き固められて固化し、強度を持つ基盤層となる。

4-2 切削

強度 ~ 500 Pa の基盤層の上を、表層を構成する強度 ~ 数百 kPa のボルダーが流れ、基盤層を切削する。削られてできた破片が下層となる。~ 1 m の表層ボルダーが速度 ~ 0.1 m/s で基盤層に貫入するとすれば、発生する破片の特徴的なサイズは 1-10 cm となり、DCAM3 観測結果と調和的である。

4-3 堆積

過去に起こった衝突によって固化したクレーター底に近傍の小クレーターから小さい破片が飛来し堆積する。その上に表層ボルダーが流れる。

5. まとめ

DCAM3 の観測が示す非等方・非一様なエジェクタカーテンは、強度 ~ 数百 kPa の巨大ボルダーが与える掘削流への影響と最大 ~ 1 m 弱のボルダーと 1-10 cm 以下の小粒子がカーテン中でかき混ぜられた結果、生じたことが示された。これを基に SCI クレーター付近の内部構造を推定し、その成因について議論した。