

コア・マントル構造を持つ含水小天体の衝突破壊と破片速度分布 ：標的内部の粒子速度分布の計測

石田紗那^{1,○}, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 白井慶¹, 長谷川直², 長野巧¹

1. 神戸大学大学院理学研究科 2. 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

背景：氷を含む微惑星は、熱進化の結果、水質変成コアと多孔質マントルの層構造を持ったと言われ、衝突破壊と再集積を繰り返し、小惑星や氷衛星へと成長したと考えられている。このような天体の衝突破壊現象を理解するために、衝突破壊強度 Q^* が用いられてきた。この Q^* は、サイズが100mを超える天体では、重力による破片の再集積で決まるといわれており、重力支配域の衝突破壊強度 Q_D^* と呼ばれている。本研究では、これまで室内実験で調べるのが困難であった衝突破壊強度 Q_D^* を求め、氷微惑星を模擬した層構造試料を用いた衝突破壊実験を行った。そして、フラッシュX線を利用したトレーサー法と半球標的を用いたデジタル画像相関法(DIC)により、衝突破片の質量-速度分布を調べた。

実験方法：衝突実験は神戸大学と宇宙科学研究所の横型二段式軽ガス銃を用いて行った。弾丸は直径4.7mmと7mmのポリカーボネート球を用い、衝突速度 V_i は1.5-6.0 km s⁻¹とした。熱進化を経た氷微惑星を模擬するため、マントルには砂と石膏を質量比2:1と8:1で混合したもの(引っ張り強度【2:1】770kPa, 【8:1】101kPa, 空隙率37%)、コアにはベントナイトと粘性率10Pa・sのシリコンオイルを質量比3:1で混合したものをを用いてマントル強度の異なる層構造標的を作成した。コア直径は30mm、マントル直径は60mmの完全球標的と半球標的を作成した。層構造標的との比較のため、マントル物質のみからなる均質構造標的も作成した。DIC法による解析のため、半球標的表面にはランダムに点模様をつけた。完全球標的には12個の鉄球(直径3mm)を単一平面上に配置し、衝突直後のフラッシュX線撮像画像を用いて、鉄球の移動を解析した。

結果：DIC法を用いることで、標的内部の粒子速度の2次元分布とその時間変化を決めることができる。その結果、粒子速度は衝突後1msまでに一定の速度となることが分かった。この時の標的内部の速度分布を解析した結果、層構造標的では $V_t = 3.1$ km s⁻¹以上の時、粘土コアが周囲のマントルよりも高速度で移動することで、反対点を含む半球のマントルを押し出す効果があることが分かった。一方、衝突点を含む半球では、コアとマントルの境界から反射してきた衝撃波の影響で、コアとマントルの分離が促進された。に、フラッシュX線画像を解析して鉄球の移動量から標的内部速度を決定し、鉄球速度と鉄球の近傍領域の破片質量を対応づけることで破片速度の積算質量分布を調べた。積算質量が元の質量の1/2になる時の破片速度(中間速度 V^*)を求め、エネルギー密度 Q との関係を調べた(図1)。その結果、 V^* は Q に比例して増加し、マントル強度が変化しても V^* は一定になり、マントル強度に依存しないことがわかった。また層構造標的が均質構造標的と比べて中間速度が大きくなることが分かった。これはコアがマントルを押し出す効果のためと考えられた。

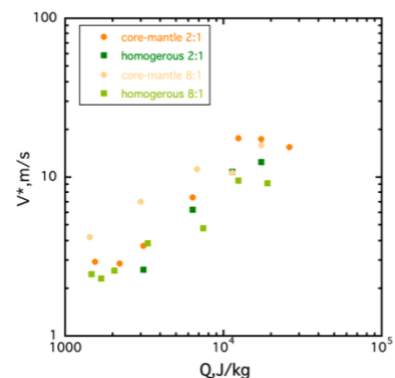


図1. 中間速度とエネルギー密度の関係