

論文審査の結果の要旨

氏名 小野瀬 直美

本論文は5章から構成されている。第1章は序説である。小惑星上のレゴリス形成過程として、衝突クレーター形成により放出された破片の再集積によるものと考え、衝突クレーター形成に関する実験的研究、ならびに破片の放出モデルに関する過去の研究を紹介している。小惑星の脱出速度は小さいため、レゴリス形成には、放出される破片の速度がその脱出速度より小さいことが必要である。しかしながら、今までの実験的研究においては、一実験あたりの速度計測破片数が少なく、放出破片の全貌が捉えられていないこと、また、クレーター中心部にある深い pit 領域からの破片放出を記述するモデルが存在しないことから、既存の研究結果を、そのまま小惑星に対する衝突クレーター形成に応用することは困難であることを指摘している。これらの問題解決のためには、小惑星を模擬した多孔質物質に対する衝突クレーター形成実験を行い、放出破片速度を低速度のものに留意して計測する必要性、ならびに pit 部分から低速度で放出される破片放出機構をモデル化する必要性が述べられている。

第2章は実験方法が記述されている。多孔質な模擬物質として使用した石膏ターゲットの作成方法とその物性、飛翔体の物性とその加速装置の概要、衝突条件ならびに撮影条件について述べている。石膏の密度は 920 kg/m^3 、空隙率は 60%、飛翔体は直径 7 mm ナイロン球、衝突速度は 4.2 km/sec 、高速度ビデオカメラの撮影速度は 3000 から 30000 コマ/秒である。また、破片の検出率を上げるための工夫も述べられている。

第3章では、実験結果の解析方法ならびに取得されたデータについて述べている。石膏ターゲット上に形成されたクレーターとターゲット断面に見られる特徴、およびこれらの特徴づける変数の定義を行い、これらの変数の、衝突速度、飛翔体サイズ、衝突角度に対する依存性が示されている。石膏ターゲットに形成されたクレーターは、中心部の深い pit 領域と、それを取り囲む引っ張り破壊を示す浅い spall 領域とに明確に区分される。また、ターゲット断面からは、pit 領域を取り囲む剪断破壊された領域とこれを取り囲む遠方領域との境界が見られる。衝突実験後に回収された破片を、spall 破片と剪断破壊破片とに分類し、破片速度の計測法および破片速度の実測値が示されている。本研究では、動画上の破片の輪郭をトレースし、この面積重心の移動から破片軌跡を求める手法を用いている。そのため、放出速度、破片がターゲット表面から放出された時刻および初期位置、破片の質量を、同一の破片に対し求めることが可能となった。また、非接触であるため、低速度のものを含む広い速度範囲を持つ破片を多数計測すること

が可能となった。本研究においては、0.06 mg 以上の質量を持ち 400 m/sec 以下で放出される破片を、合計 5437 個、一実験につき最大 1200 個計測している。

第 4 章は議論である。石膏の空隙率が、クレーター体積、衝突発生圧力および衝撃波の減衰に与える影響について述べている。測定された破片が、その破片速度、放出時刻、初期位置から、早期に放出される破片群と後期に放出される破片群の 2 群に分けられることを示した。早期放出破片群は、衝突の直後に衝突点を頂点とする逆円錐状に放出される比較的高速度の破片であり、spall 破片に相当する。一方で、クレーター形成の後半に見られる、多数の細かい破片がターゲット表面と垂直方向に放出される後期放出破片群は、本研究で初めて spall 破片と分離して定義されたものである。この破片群は、クレーターの pit 領域から放出されており、この放出を既存のモデルにより説明することはできない。本論文では、後期放出破片群の放出を、ターゲットの遠方領域の弾性的応答によるものとし、Green 関数を用いてモデル化している。このモデルに、本実験の変数を代入すると、跳ね返りの速度は 1.5 m/sec となり、実際の後期群の速度が 2 から 4 m/sec を中心とすることと調和的である。ターゲット強度、クレーター半径を変化させて計算した結果は、玄武岩での実験ならびに小さな飛翔体を用いて行った実験での後期群の速度の変化と定性的に一致する。衝突角度が大きくなるとともに後期群の放出時刻が早まり、放出角度がやや下流よりになることなどの衝突角度の効果についても明らかにした。また、小惑星表面上でのレゴリス形成への応用について述べられている。

第 5 章は、本論文のまとめであり、得られた結果が簡潔にまとめられている。

なお、本研究の一部は藤原顕教授との共同研究による結果も含んでいるが、論文提出者が主体的に実験条件の設定、実験、解析、モデルの構築ならびに解釈を行っており、その寄与は十分と判断する。

よって、博士（理学）の学位を授与できると認める。