

熱進化した氷天体模擬試料の衝突破壊実験

岡本千里¹, 荒川政彦¹, 保井みなみ¹, 高野翔太¹

¹神戸大学大学院理学研究科

はじめに

近年の観測技術の進歩や惑星探査によって、小天体などの様々な太陽系天体に関する多くのデータが得られるようになった。現在観測される太陽系外惑星領域には、氷を主成分とする微惑星の衝突破壊・合体から形成した氷惑星やその氷衛星、さらに冥王星を含む太陽系外縁天体など様々な氷天体が存在する。氷や有機物を豊富に含む外惑星系の天体の衝突進化を考えることは、太陽系の形成過程や生命の起源を知る上で非常に重要となるが、内惑星領域に存在する小惑星などの岩石質天体の衝突破壊・合体成長の過程と比較して、あまり明らかにされていない。

大望遠鏡による地上観測や惑星探査の実施により、氷衛星や太陽系外縁天体などの氷天体は、表面の反射スペクトルやその低い平均密度から、高い氷含有率を持つことが分かっている。これらの天体は、その形成過程において熱進化により岩石コアと氷のマンテルからなる層構造を持つ可能性があり、このような分化した層構造を持つ氷天体が衝突することにより、多様な天体が作られたと考えられる。よって、分化した氷天体の衝突現象を解明することは、太陽系外惑星領域の衝突・進化と多様性の起源を知るために重要である。そこで本研究では、分化した氷天体の衝突破壊を模擬した衝突実験を行い、氷天体の衝突破壊現象における内部構造依存性を調べる事で、外惑星系天体の衝突進化過程を明らかにすることを目的とする。

実験方法

衝突実験は、神戸大学に設置された2段式軽ガス銃を用いて実施した。分化した内部構造を持つミマスやエンケラダスなどの氷衛星のような内部構造を模擬し、石膏コア、水氷のマンテルからなる2層構造の氷天体模擬試料を作製した。試料の内部構造 (R_{CM} ; 石膏コア質量/標的全体質量) を系統的に変化させるため、標的内部の石膏コアサイズを0~40mmと変えることで、標的の全質量に対するコアの質量比を変化させた。さらに試料直径を50~80mmまで変化させ、様々なエネルギー密度 (試料単位質量当たりに加わる弾丸の衝突エネルギー) で実験を行った。弾丸として、直径4.75mmのポリカーボネートを使用し、衝突速度1.5km/s-7km/sで実験を実施した。実験は真空下 (~50Pa) で実施され、実験後、破片の回収を行い、衝突破壊の結果生じた破片質量やサイズ分布など調べた。また、高速カメラを用いた撮影により、衝突現象のその場観測を実施、試料の破片速度を計測した (Fig. 1)。

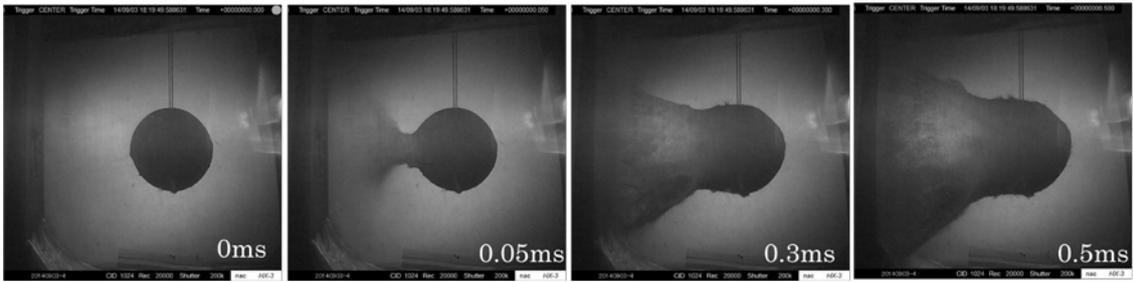


Fig. 1 石膏コア—氷マンテルからなる層構造試料の衝突破壊の様子. 弾丸は写真左方向から試料表面に衝突し, 衝突点から破片が放出している様子が分かる.

結果および議論

層構造試料中のコアが破壊するかどうかは, 標的の破壊の程度や破片サイズ分布, 速度分布など衝突結果に大きな影響を及ぼす. そのため, コア破壊と非破壊の境界条件を見積もることが重要となる. 系統的に変化させたコア質量比 (R_{CM}) を持つ試料に, 様々なエネルギー密度で衝突実験を実施することで, コア破壊が引き起こされる条件を調べた結果を Fig. 2 に示す. 石膏コア—氷マンテル試料中の石膏コアが破壊する条件はエネルギー密度と R_{CM} に依存することが分かる. さらにコアの破壊度合から, コアに分配されるエネルギーを見積もった. その結果, R_{CM} が増加するにつれて, 効率的にエネルギーがコアに分配され, その結果, コア破壊が促進されることが分かった. 一方, コアが非破壊の場合, コアに分配されるエネルギーが, コアの破壊強度を超えなかった可能性が高い. コア破壊を引き起こすために必要なエネルギーは, コア物質の衝突破壊強度

(Q^*) とマンテル中での衝撃圧力の減衰率

に依存する [Okamoto and Arakawa, 2008].

そこで, 今回用いた石膏コアの衝突破壊強度と氷マンテルでの衝撃圧力の減衰率 [Shirai et al., 2008] を用いて, コア破壊境界条件を見積もった結果,

$Q_{Lb} \propto Q^* \cdot R_{CM}^{-0.8}$ という関係式を得る

ことができる (Fig. 2). このコア破壊境界条件は, 実験結果で得られたコアの破壊と非破壊の結果をよく説明できることが分かった. 以上より, 分化した氷天体において, 内部構造 (R_{CM}) が衝突結果に及ぼす影響を明らかにすることができた.

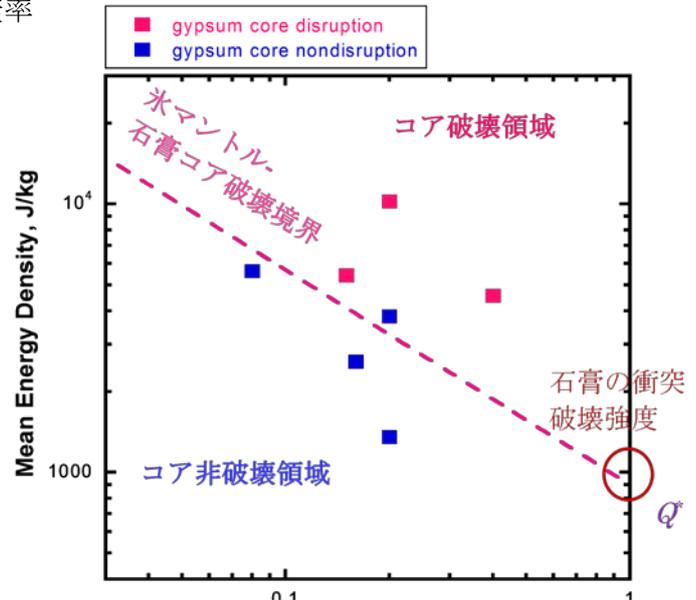


Fig. 2 標的に加えられるエネルギー密度 vs. 標的のコア質量比 (R_{CM})