## ラブルパイル天体の衝突破壊実験

藤田幸浩<sup>1</sup>、荒川政彦<sup>2</sup>、長谷川直<sup>3</sup> 1.名古屋大学 2.神戸大学 3.JAXA/ISAS

<研究背景>

天体の成長過程には様々な衝突現象 が関係している。その中の一つである衝 突破壊・再集積プロセスでは、ラブルパ イル天体と呼ばれる特殊な構造を持っ た天体が形成される。この天体は岩塊が 重力的に集積することで形成されてい るため、それらの岩石同士には結合力が ほとんどなく、また天体内部には間に大 きな隙間が複数存在するといった特徴 を持つ。

天体の衝突破壊には、その内部構造が 大きく影響することがこれまでの研究 から明らかになっている。ラブルパイル 天体についても同様に、その特殊な構造 が衝突破壊に何らかの影響をもたらす ことが予想される。そこで本研究では、 ラブルパイルターゲットを用いた衝突



Fig. 1. ラブルパイルターゲット

diameter	mass		
of	of	target mass	number
		r 1	of
bead	bead	lgJ	beads
[mm]	[mm]		
7	$0.46 {\pm} 0.01$	1.8, 6, 14.7, 29,	4, 13, 32, 63,
		50	109
10	$1.67\!\pm\!0.05$	6, 22, 44, 54	4, 13, 26, 32
16	$6.08 \pm 0.06$	6, 24, 36, 78	1, 4, 6, 13

Table 1. ターゲットの構成

実験行い、構成要素のサイズや個数、衝 突エネルギーが衝突破片のサイズ分布 や破壊の程度に与える影響を調べた。

## <実験方法>

本研究では用いたラブルパイルター ゲット(Fig.1)は、サイズの等しいガラ スビーズを組み合わせて作成した。用い たビーズは 7mm と 10mm、そして 16mmの三種類で、ビーズの密度はいず れも 2.5g/cm<sup>3</sup>である。ビーズ同士の結合 には接着力の非常に弱い木工用ボンド を使用し、ターゲットは面心立方構造で 組み立てた。Table.1 に示してあるよう に、ビーズのサイズと個数を変えること で数種類のターゲットを作成した。また、



Fig. 2. ターゲットの破壊の様子

用いたビーズにはカラーリングやナン バリングが施してあるため、破壊後に実 験前のビーズの位置が区別出来るよう になっている。

今回の衝突実験には名古屋大と宇宙 研の二段式軽ガス銃を使用した。名古屋 大では弾丸速度を 2km/s で一定にして 実験を行い、宇宙研では 3.5~7km/s の 間で変化させて実験を行った。どちらの 銃も 6mm のナイロン球を弾丸として用 いた。

また、高速度ビデオカメラを使用し、 毎秒10000~125000コマで破壊の様子を 撮影した。

<実験結果>

Fig.2 は破壊の様子を撮影したビデオ のスナップショットである。この写真の ターゲットは 16mm ビーズを 13 個組み 合わせたもので質量は約 80g である。そ れぞれのフレームは衝突からの時間経 過を示している。それぞれのフレームに おいて特徴的な破壊の様子が見られる が、特に右下の写真では破壊されていな いビーズの存在が確認できる。

Fig.3 は各ショットでの最大破片質量 をエネルギー密度でプロットしたグラ フである。このグラフを見ると、ラブル パイルターゲットのデータはガラス球 よりも一桁から二桁ほど上に位置して いることが分かる。このことから、同じ エネルギー密度の衝突を考えたとき、ラ ブルパイルターゲットはガラス球に比 べて粉々にされにくいということが言 える。また、ラブルパイルターゲットに は特徴的なグラフの傾向が見られる。衝 突エネルギーがある値になるまでは縦 軸が一定であり、その値を超えると横軸 の増加に伴って縦軸が小さくなってい る。回収した破片の解析からは、縦軸の 一定値がラブルパイルターゲットを構 成するビーズサイズを示していること が分かった。このことから、グラフにお ける傾向の変化はターゲットの構成要 素の破壊の状態を示していることが考 えられる。つまり、衝突破壊で構成要素



Fig. 3. 最大破片とエネルギー密度の関係



Fig. 4 ターゲットの破壊の程度(3次元)

であるガラスビーズがすべて破壊され なければ最大破片がビーズサイズの値 で一定値になり、構成要素が全部破壊さ れるようになると、その値から減少し始 めるということである。グラフにおける 傾向の変化は、ターゲットの部分破壊か ら全破壊への移行境界であると推測さ れる。

今回は、部分破壊の領域におけるデー タに関してさらに詳しく解析を行った。 Fig.4 は、ターゲットを構成する個々の ビーズの破壊を3次元で復元したもの である。この図からは、各層の破壊の程 度を見ることができる。この図を数値化 し、グラフにしたものが Fig.5 である。 このグラフを見ると、同じ層でも衝突エ



**Fig. 5.** 各層におけるカタストロフィック破壊を 起こしていないビーズの割合

ネルギーによって破壊の程度が異なる ことが分かる。つまり部分破壊の領域で は最大破片質量で見ると一定値になっ てはいるが、実際にはターゲット内部の 破壊の頻度分布が変化しているという ことである。

## <考察>

均質なターゲットの場合、衝突による 破壊の程度は最大破片の質量と関連が あり、一般的には衝突破壊の程度を表す パラメタとして最大破片質量を用いる。 しかし今回の実験結果から、ラブルパイ ルターゲットでは構成要素の一部しか 破壊されない場合は最大破片質量が一 定の値になることが分かった。つまり、 最大破片を用いて破壊の程度を議論す ることができないということである。そ こで本研究の考察として、ラブルパイル ターゲットの破壊の程度を表す新たな パラメタである総小破片質量 (M<sub>fsun</sub>)を 提案する。M<sub>fsun</sub>は構成要素がどれだけ破 壊されたかを示すもので、各ビーズの小 破片質量の和として定義する。小破片は、 質量が元のビーズ質量の半分以下のも のを指す。実際には、小破片の質量を実

験的に得るのは難しいため、ターゲット 質量から元のビーズの半分以上の質量 を持つ破片の総質量を引くことで計算 する。よって、以上の定義からこのパラ メタの数式は

$$M_{fsum} = M_t - \sum M_{f(>0.5)}$$

となる。*M*,はターゲット質量、*M*<sub>f(>05)</sub>は 小破片質量である。Fig.6 はこのパラメ タを用いて部分破壊領域のデータをエ ネルギー密度でプロットしたものであ る。衝突のエネルギーが増加するにつれ て縦軸の値が大きくなっている傾向が 見られ、グラフはエネルギー密度のベキ 乗として表すことができる。よって、こ のパラメタを用いるとエネルギー密度 の増加に伴う破壊の様子をうまく表現 できていることから、今回新たに定義し た M<sub>fsun</sub> はラブルパイルターゲットの破 壊の程度を表すものとして適切である ということが言える。

## <まとめ>

今回は、ラブルパイルターゲットを用い た衝突破壊実験を行い、ラブルパイルタ ーゲットに見られる破壊の様式や衝突 エネルギーの違いによる破壊の程度の 変化を調べた。最大破片とエネルギー密 度の関係から、ラブルパイルターゲット はガラス球に比べて粉々にされにくい ということが分かった。同様にそれらの 関係から、ラブルパイルターゲットの構



Fig 6. M<sub>fsum</sub>とエネルギー密度の関係

成要素における破壊の様子の変化を見 ることができた。また、ラブルパイルタ ーゲットの破壊の程度については、新し いパラメタとして総小破片質量 M<sub>fsum</sub>を 定義した。このパラメタを用いると、構 成要素が部分的にしか破壊されないエ ネルギー条件であっても、ラブルパイル ターゲットの破壊の程度を適切に表現 できることが確かめられた。