

岩石ラブルパイル天体の衝突破壊条件に関する実験的研究 ：構成岩塊の破壊が再集積プロセスに及ぼす影響

藤田幸浩¹、荒川政彦²、寫生有理¹、長谷川直³

1. 名古屋大学環境学研究科

2. 神戸大学

3. JAXA/ISAS

<はじめに>

天体同士の衝突は太陽系において普遍的な現象である。そのため、太陽系の歴史を明らかにするためには衝突破壊現象の理解が不可欠となる。衝突破壊現象で重要とされる物理量の一つに衝突破壊強度 Q_D^* がある。Davis et al (1979) では Q_D^* を天体の shattering 破壊強度 Q_S^* と重力ポテンシャルの組み合わせとして以下のように記述している。

$$Q_D^* = Q_S^* + \frac{4}{5} \pi \rho G R^2 \quad (1)$$

Q_D^* は天体が衝突によって破壊される条件を示しており、衝突破壊と再集積が繰り返される天体の進化過程を考察する上では非常に重要なパラメタとなる。

<実験目的>

天体が衝突破壊し再集積すると特殊な構造を持つラブルパイル天体（以下 R-P 天体）が形成される。そのため、このプロセスが繰り返される太陽系の進化過程では、R-P 天体が普遍的に存在していたと考えられる。ゆえに、R-P 天体の衝突破壊強度 Q_{RD}^* を知ることは太陽系の衝突の歴史を明らかにする手がかりの一つとなる。

R-P 天体を構成する岩塊同士は互いに結合力を持たないため $Q_S^*=0$ となり、(※)式から Q_{RD}^* は重力ポテンシャルのみで決定される。しかし、高速度で衝突が起こると衝突点

付近で構成岩塊が破壊されるようになる。このとき衝突エネルギーが散逸されるため、実際には Q_{RD}^* は重力ポテンシャルよりも大きくなると考えられる。そこで本研究では、R-P 天体を模擬したターゲットを用いて衝突破壊実験を行い、衝突速度による構成岩塊の破壊の程度や破片速度の変化から衝突点付近でのエネルギー散逸量を見積もった。そして、R-P 天体の衝突破壊条件から高速度衝突における Q_{RD}^* を求めた。

<実験方法>

本実験では、ガラスビーズで作成した R-P 天体模擬ターゲット(Fig.1)を用いて衝突実験を行った。神戸大と宇宙研の二段式軽ガス銃を用いて 7mm ナイロン球を 2~7km/s の速度で衝突させた。それぞれの衝突条件においてターゲットを構成するビーズの破片質量やビーズの飛翔速度などを測定した。



Fig.1 R-P 天体模擬ターゲット

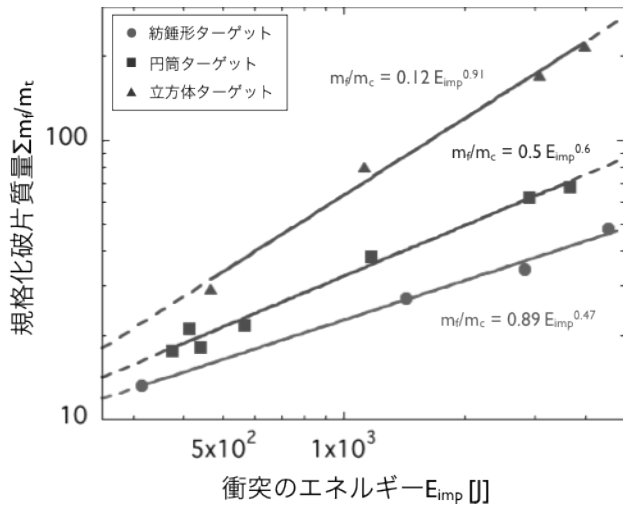


Fig.2 構成ビーズの破壊の程度

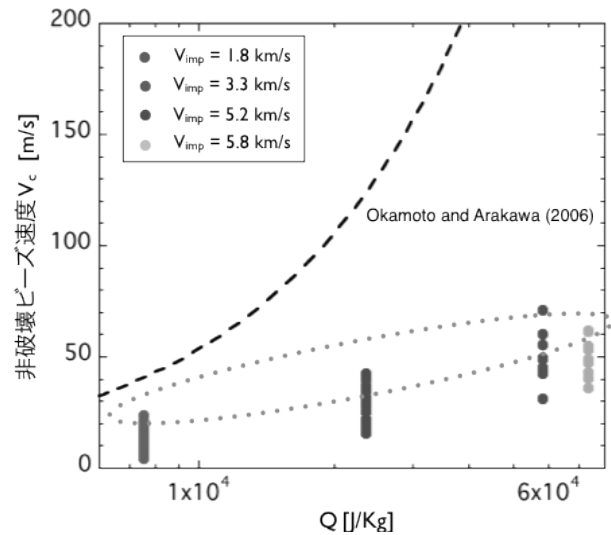


Fig.3 非破壊ビーズの飛翔速度

<実験結果>

[1. 構成ビーズの破壊の程度]

衝突点付近で起こる構成ビーズの破壊は衝突エネルギーによって変化すると考えられる。Fig.2 は衝突エネルギーに対して破壊されたビーズの破片質量をプロットしたグラフである。このグラフから、衝突エネルギーの増加に伴って破壊されるビーズの数が増加していることが分かる。また、ターゲットの種類によってもデータに差があることから、構成ビーズの破壊はターゲットのサイズと形状に影響されることが考えられる。

[2. 非破壊ビーズの飛翔速度]

Fig.3 から、非破壊ビーズの飛翔速度は衝突エネルギーの増加に対してそれほど増加しないことがわかる。このことは、衝突エネルギーの大半が構成岩石塊の破壊で散逸していることを示している。これらのデータを用いると、非破壊ビーズの運動エネルギーへと分配される衝突エネルギーの割合はわずか数%であることがわかった。

<考察>

本実験の結果を用いて R-P 天体が衝突によって散逸する条件を見積もる。ある衝突エネルギーが与えられたとき、非破壊構成岩石塊の運動エネルギーへと分配される割合は数%である。このときの分配率 f を用いると、R-P 天

体が散逸する条件は以下のようにかける。

$$fQ > \frac{4}{5} \pi \rho G R^2 \quad (2)$$

Fig.4 はこの式をグラフにしたものである。このグラフを見ると、 Q がある条件になったとき非破壊の構成岩石塊の持つ運動エネルギーが天体の重力ポテンシャルと等しくなることが分かる。このとき(2)の式において等式が成り立つので、 Q_{RD}^* として以下のような式が得られる。

$$Q_{RD}^* = \frac{4}{5} \frac{\pi \rho G R^2}{f} \quad (3)$$

今回の実験ではこの分配率 f の値は 0.01~0.03 となるような結果が得られた。よって、 Q_{RD}^* は(1)式における重力ポテンシャル項の 30~100 倍になることがわかった。

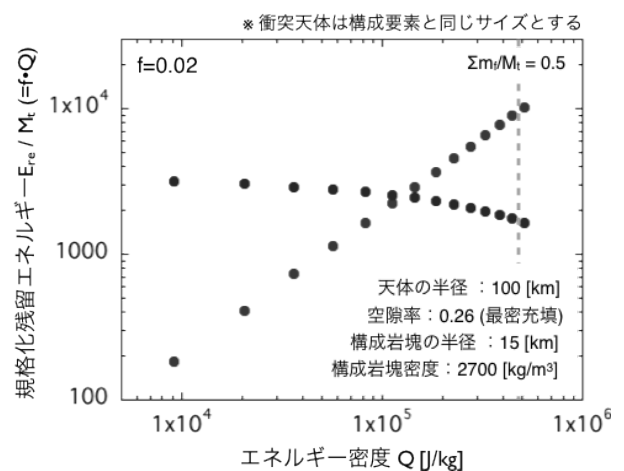


Fig.4 R-P 天体の衝突破壊条件