

# 重力支配域での微惑星の衝突破壊について

末次竜<sup>1</sup>、田中秀和<sup>2</sup>、小林浩<sup>3</sup>、玄田英典<sup>4</sup>

1.産業医科大、2.東北大、3.名古屋大、4.東京工業大・ELSI

太陽の周りの公転している惑星や小天体は天体同士の衝突による合体及び破壊で形成されたため、衝突現象は太陽系形成において非常に重要な物理過程といえる。そのため、これまでに衝突過程は、様々な手法を用いて詳しく調べられてきた。その結果、衝突破壊は大まかにいえば、大規模破壊とクレータリングの二つに分類できる。前者は衝突によって生まれた破片質量が衝突前の標的天体の質量の半分以上(衝突後の標的天体の質量が衝突前の質量の半分以下)ある場合で、後者は破片質量が標的天体質量よりも十分小さい(標的天体の質量が衝突前後でほとんど変化しない)場合である。

このように衝突破壊は二つのタイプに分類できるが、分類の際に目安となる物理量が臨界衝突エネルギー $Q_D^*$  (標的の質量が元の半分となる時のエネルギー)であり、標的が天体サイズの場合は、主に数値計算を用いて値が見積もられてきた(e.g., Benz & Asphaug 1999)。こうした先行研究により  $Q_D^*$  の値は衝突条件(衝突速度、標的天体のサイズ)に依存するだけでなく、標的天体の物性(空隙率、摩擦)などにも影響されることが明らかにされた(e.g., Jutzi 2015)。また最近の高解像度の計算では  $Q_D^*$  の値が計算解像度にも依存すること指摘されている(Genda et al. 2015)。このように数値計算の改良とともに  $Q_D^*$  の様々な性質が明らかにされてきたが、その結果として一つの標的天体のサイズに対して複数の  $Q_D^*$  が存在することになり、最大で約 10 倍程度の差がある。 $Q_D^*$  の値は最終的な天体質量にも影響を与えるため( $\propto (Q_D^*)^{0.87}$ ):Kobayashi & Tanaka (2010))、どの値が確かなのかを整理する必要がある。

一方でクレータリングは天体質量に与える影響が非常に小さいため過小評価されてきた。ところが最近の研究によってクレータリングは大規模衝突よりも起こる頻度が高いため衝突カスケードに大きく寄与することが明らかになった(Kobayashi & Tanaka 2010)。衝突カスケードが進行し小さくなった破片はガス抵抗で除去されてしまうため、クレータリングも天体の成長及び材料物質の観点から重要といえるだろう。しかし上述のようにクレータリングはこれまで注目されておらず、この領域を衝突シミュレーションで詳しく調べた研究は Genda et al. (2017)を除き、ほとんどない。そのため他の衝突シミュレーションでも調べる必要がある。

そこで本研究ではすでに多くの研究者に利用されている格子法の衝突シミュレーションコード iSALE(Amsden et al. 1980, Ivanov et al. 1997, Wunnemann et al. 2006) を使って重力支配域における衝突破壊過程を調べる。基本的には最近の高解像度の粒子法による衝突シミュレーション(Genda et al. 2015, 2017)と同じ条件で計算を行い、計算法の違い

で  $Q_D^*$  の値及びクレータリングでの衝突の様子がどれだけ異なるのかを明らかにする。

計算設定であるが、標的天体の半径は 30, 100, 300km の三つの場合で、インパクターの衝突速度は 3km/s で固定し、インパクターサイズをパラメータにすることで様々な衝突エネルギーでの天体の破壊の様子を調べる。天体の組成は basalt で状態方程式は Tillotson を使用する。また自己重力は考慮するが、空隙率や破壊などは考慮しない。標的天体の半径に使用する格子数を 100, 200, 400, 800 の異なる四つの場合で計算を行い、解像度依存性も調べる。ただしクレータリングの衝突計算の場合は標的天体ではなくインパクターの解像度を固定して計算を行う。

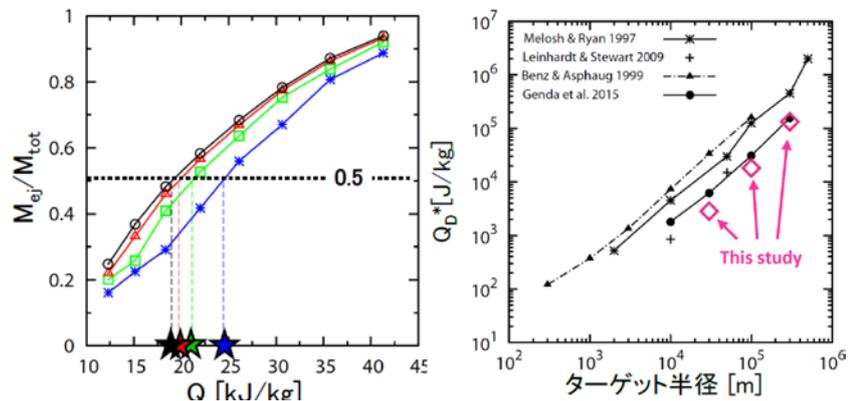
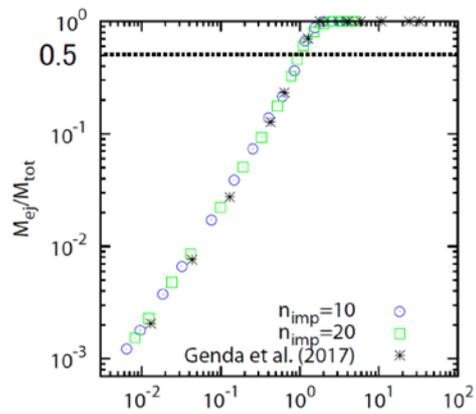


図 1 (左) は衝突で生じた破片質量と衝突エネルギーの関係

図 1(左) 衝突エネルギーと破片の総質量の関係。色は解像度の違いで青、緑、赤、黒の順に標的天体半径に使用した格子の数が 100, 200, 400, 800 と増加し解像度が高くなる。(右) 標的天体のサイズと  $Q_D^*$  の関係。色付きが計算結果。

を示している。色の違いは解像度の違い(青、緑、赤、黒の順に解像度が高くなる)であるが、計算条件が同じ(標的天体の半径 100km, 衝突速度 3km/s)場合でも解像度の違いだけで破片の総質量が異なることが明らかであり、また解像度が高くなるにつれて破片総質量が収束していくことがわかった。また図 1(右) は標的天体のサイズと求めた  $Q_D^*$  の値の関係であり、高解像度の SPH 計算で得られた  $Q_D^*$  の値とよい一致を示している。

一方、小規模な天体衝突の場合についても調べた。この場合でもやはり衝突破片質量の解像度依存性が存在することがわかった。図 2 はそれぞれの解像度で得られた  $Q_D^*$  で衝突エネルギー  $Q$  を規格化した値だが、綺麗にスケールできていることがわかる。またクレータリングにおいても SPH の計算で得られた結果とも非常によい一致を示している。



このことから、十分な解像度で行った場合、計算手法の依存性は小さく考えられる。今回の結果では天体の物性等は考慮してい

衝突エネルギー/臨界衝突エネルギー  
図 2 各解像度で得られた臨界衝突エネルギーで規格化された衝突エネルギーと破片の総質量の関係。

ないので、今後の研究では考慮し、 $Q_D^*$  の値などがどの程度変化するのかを明らかにする。