

衝突掘削による氷小天体カラーへの影響

岩佐 海詩¹, 末次 竜², 大槻 圭史¹

¹神戸大学, ²産業医科大学

背景

天体の表面やカラーに関する観測は太陽系の起源や進化を研究するうえで、非常に重要な情報である。これまで望遠鏡による観測などで、惑星とその衛星の表面情報や小天体のスペクトル分布などが数多く調べられてきた。その中でも、氷を含むと考えられているトロヤ群小惑星のカラー分布は二分性を示すことが分かっており、その成因として衝突が関与した可能性が指摘されている(Wong and Brown,2016)が詳細は不明である。しかし、宇宙風化により赤化した表面が衝突に掘削されて新鮮な物質が露出するという現象は他の小天体でも起こりうるものであり、衝突がカラー進化に影響を及ぼすかどうかについて検討することは太陽系進化を考えるうえで重要である。そこで本研究ではトロヤ群小惑星に着目し、数値衝突シミュレーションを行う。そして、衝突によりどの程度新鮮な内部物質が掘削されるか(resurfacing)を調べ、resurfacingの効果を定量化することを目指す。

手法

衝突シミュレーションコード「iSALE-2D(Amsden et al., 1980, Collins et al., 2004, Wünnemann et al., 2006)」を用いる。氷小天体については、全球的に密な氷になっている場合や微小天体の衝突を受けて表面付近がレゴリス層のようにになっている場合が考えられる。そのため図1のように、上層には空隙をもつ氷、下層には密な氷がある仮想的な氷小天体をターゲットとして想定する。

そのうえで、上層の厚さやターゲット半径、衝突エネルギー密度 Q を変化させてシミュレーションを行い、結果を比較する。なお天体に含まれる有機物・不純物は十分少ないものと仮定して、ターゲットとインパクターは一樣な氷として扱っており、ターゲットの半径は500格子で表現する。

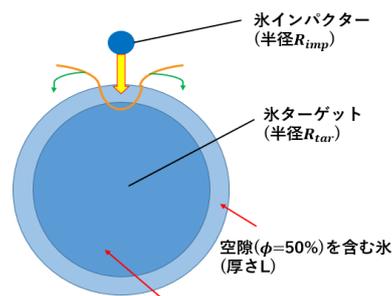


図1. 衝突シミュレーションの概念図

宇宙風化の影響が及ぶのは表層数 m 程度に限ると考えられる(Hudson et al.,2008)ため、衝突で表面が resurfacing される領域は形成されるクレーターの大きさ程度である。よってここでは衝突による resurfacing の効果を定量化するため、衝突後トランジェントクレーターになった時点でのクレーター半径を衝突点真上から見た露出面積 S に換算し、 πR_{tar}^2 で規格化する。この量が衝突エネルギー密度や上層の厚さによってどう変化するかを調べた。

結果

結果の例($R_{tar}=50\text{km}$)を図2に示す。横軸は Q 、縦軸は $S/\pi R_{tar}^2$ である。凡例の色の違いは衝突速度 v_{imp} の違い(青: 1km/s , 緑: 3km/s , 赤: 5km/s)を、形の違いはインパクト半径 R_{imp} の違い($1\sim 4\text{km}$)を示している。また白抜きは低密度(空隙率50%)のインパクトを示す。さらに、記号の大きさは標的天体表層の高空隙率をもつ層の厚さの違いを表している(小: 表層なし, 中: $0.02R_{tar}$, 大: $0.06R_{tar}$)。

図より、 Q の増加とともに掘削される表面の割合が増加することが確認でき、 $Q/Q_D^* \sim 0.5$ で $S/\pi R_{tar}^2 \sim 0.9$ となる。上層の高空隙率の層の厚さを変えても結果は大きく変わらなかった。今回設定した上層の厚さは薄く、あまり影響がなかったのかもしれない。この傾向は $R_{tar}=110\text{km}$ (トロヤ群小惑星で最大の Hektor の半径; Dale,1977)でも同様であったが、 $R_{tar}=50\text{km}$ の場合よりもイジェクタブランケットが顕著に見られた(図3)。

今回はトランジェントクレーター時のクレーター半径を用いて表面が resurfacing された割合を求めたが、新鮮な物質を含むイジェクタの重なりを考えた場合、クレーター半径よりもずっと広範囲にわたって表面が新鮮な物質で覆われる可能性がある。したがって、衝突による resurfacing を議論するうえでは、衝突エネルギーとターゲット天体の重力などが重要となると考えられる。

議論

今回は掘削効率が最大となる正面衝突のみを扱った。しかし、実際の太陽系では斜め衝突が支配的であり、その効果を検討する必要がある。また今回は、ある衝突エネルギー密度における一度の衝突でどの程度 resurfacing されるかについての結果が得られた。今後、これらの結果をもとに、トロヤ群のサイズ分布や衝突頻度も考慮し、宇宙風化による赤化のタイムスケールと衝突掘削のタイムスケールの比較などの議論を行っていく。

謝辞

iSALE の開発者である Gareth Collins, Kai Wünnemann, Boris Ivanov, H. Jay Melosh, Dirk Elbeshausen の各氏に感謝いたします。

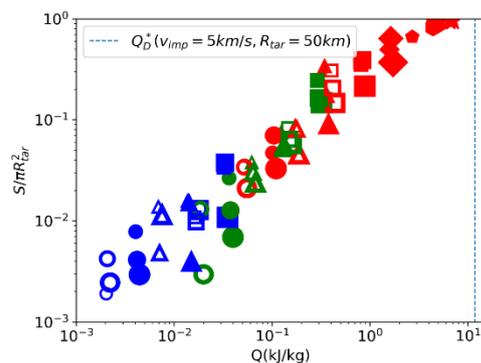


図2. Q に対して表面が resurfacing された割合。縦点線は Q_D^* を示す。

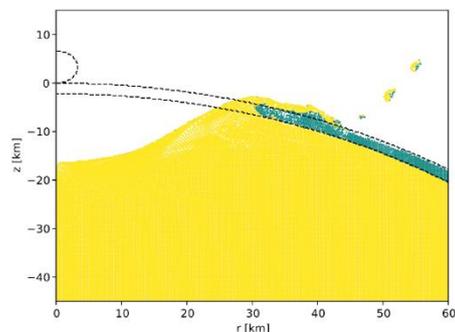


図3. $R_{tar}=110\text{km}$ の場合に顕著に見られたイジェクタブランケット。黄色が下層の、紫色が上層の物質を表す。