

室内衝突実験と数値衝突実験による 高速放出物の挙動について

○岡本 尚也¹, 黒澤 耕介¹, 玄田 英典², 松井 孝典¹

¹千葉工業大学惑星探査研究センター,² 東京工業大学地球生命研究所

背景

天体衝突によって放出される高速な放出物は惑星間、衛星－惑星間、衛星間での物質輸送に寄与することが議論されており(e.g., Head et al., 2002, Artemieva and Lunine, 2005, Ramsley and Head, 2013), 高速放出物の挙動を理解することは天体の表層進化を考える上で重要となる。これまで我々は弾丸・標的にポリカーボネイトを使用した高速衝突実験を行い、衝突点近傍から放出される高速放出物を高速度カメラで撮像してきた(岡本ほか, 日本惑星科学会秋季講演会 2015, 岡本ほか, 衝突研究会 2015)。弾丸貫入特徴時間(弾丸直径/衝突速度)以下での観察(0.2 $\mu\text{s}/\text{frame}$)に成功し、衝突速度より速い速度を持つ放出物が確認された。斜め 45 度衝突では、標的表面を這って先行する成分, Jet と、それに続いて標的表面上向きに向かって放出される成分, Normal Ejecta が観察された。その境界の折れ曲がりの構造を Kink と名付けた。このように実験からは放出物カーテンの成長の様子や、特徴的な放出物の速度を知ることができるが、その詳細な速度分布や質量分布、経験圧力等を理解するには数値シミュレーションが有効である。数値シミュレーションを行う上で問題となるのは結果が計算解像度に依存することである。そこで我々は SPH(Smoothed particle hydrodynamics)コード(e.g., Genda et al., 2012)を用いた数値衝突実験を行い、どの程度の空間解像度で計算すれば高速放出物に関する信頼のおける結果が得られるかを調べるために、室内実験で得られた放出物カーテンの形状とシミュレーションで得られる放出物カーテンの形状の比較を行った。垂直衝突と斜め 45 度衝突の両方を行ったが本発表では斜め衝突について報告する。

計算方法

シミュレーションは室内衝突実験とほぼ同じ条件で行い、弾丸直径は 4.8 mm, 衝突速度は 3.56 km/s とした。状態方程式は弾丸・標的ともにポリカーボネイトの Tillotson EOS を用い(Sugita and Schultz 2003), 計算は衝突してから 4.8 μs まで行った。空間解像度依存性を調べるため、弾丸にはそれぞれ 10^4 , 10^5 , 10^6 , 3×10^6 個の粒子数を使用した。標的も含めた全粒子数はそれぞれ $\sim 6 \times 10^5$, $\sim 6 \times 10^6$, $\sim 6 \times 10^7$, $\sim 2 \times 10^8$ 個である。

結果

図 1 は視線方向にある粒子を全てカウントした粒子数をセルごとにグレースケールで表したものである。すなわち暗いほど物質が視線方向にたくさんあることを意味している。弾丸粒子数が 10^4 個と 10^5 個の場合は Jet と Normal Ejecta を分けるはっきりとした構造は見られなかったが、 10^6 個と 3×10^6 個の場合では、それら 2 成分がはっきり見られ Kink 構造も観察することができた。図中には、室内実験の画像を 2 値化して得られる Kink の位置を合わせて示している。粒子数が 10^6 個と 3×10^6 個の場合の Kink の位置は、室内実験の Kink の位置とおおよそ同じ場所に位置し、これだけの粒子数を用いて計算すれば高速な Normal

Ejecta を再現できることがわかった。この信頼における空間解像度の結果を用いて弾丸・標的由来の放出物の空間分布を示したところ、先行する Jet の部分はほとんど弾丸成分が占め、それに続いて標的の表面を這って標的由来の成分がやってくるということがわかった。また Jet の初期位置は弾丸が進む方向の標的と弾丸の境界に位置していることがわかった(図はスライドを参照)。

まとめ

室内衝突実験の結果との比較を通して、SPH シミュレーションの空間解像度依存性を調べその妥当性を検証した。弾丸に 10^6 個以上の粒子数を用いると、室内実験で観察された Jet と Normal Ejecta の 2 成分がはっきりと見られ、さらに kink の位置をおよそ再現できることがわかった。

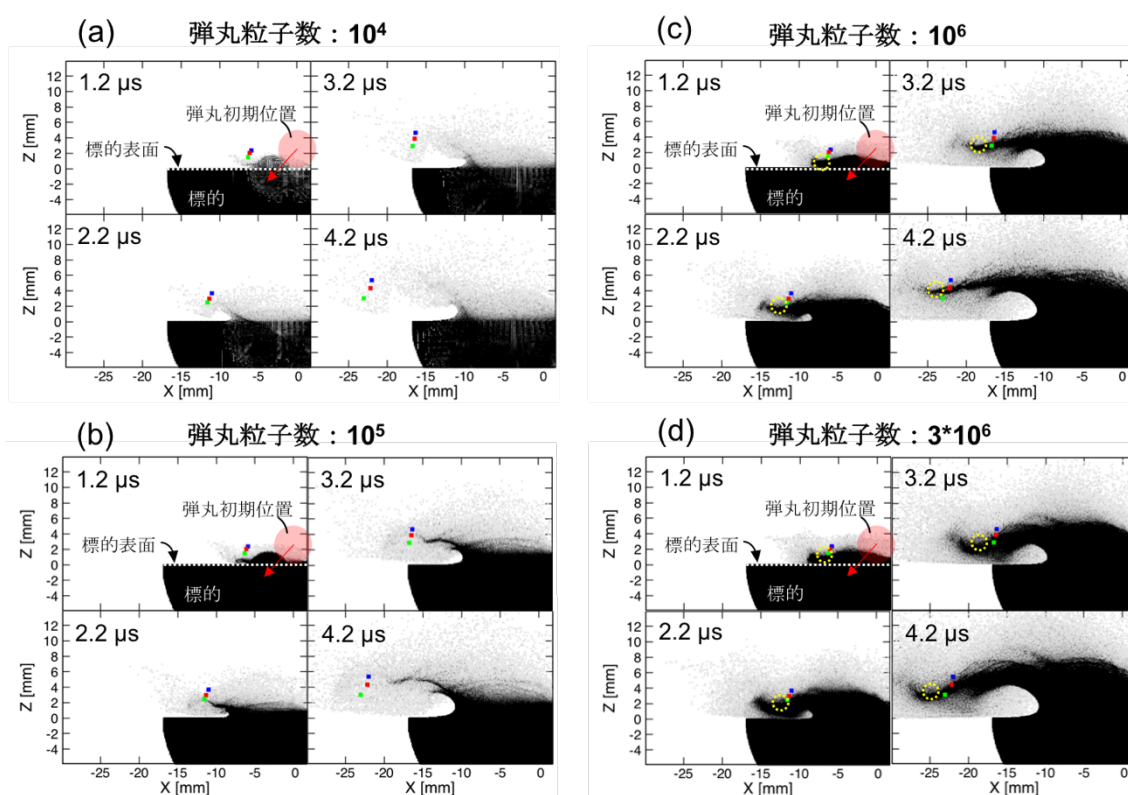


図 1 SPH シミュレーションによって得られた放出物のスナップショット。(a) 弾丸粒子数が 10^4 個の結果。(b) 弾丸粒子数が 10^5 個の結果。(c) 弾丸粒子数が 10^6 個の結果。(d) 弾丸粒子数が $3 \cdot 10^6$ 個の結果。それぞれ衝突から $1.2 \mu\text{s}$, $2.2 \mu\text{s}$, $3.2 \mu\text{s}$, $4.2 \mu\text{s}$ の画像を示すとともに、 $1.2 \mu\text{s}$ の画像には弾丸の衝突時の位置と衝突方向を表している。図中の 3 色の四角形は室内実験で得た画像での Kink の位置を表す。色の違いは 2 値化の閾値の違いによるそれぞれの Kink の位置を示し、これらの近辺に真の Kink の位置が存在すると考えられる(室内実験で得た画像の 2 値化についてはスライドを参照)。(c)と(d)ではシミュレーションでの Kink の位置を黄色の円で示している。