

# 小規模破壊衝突におけるエジェクタの解析

西尾峻人<sup>1</sup>, 大槻圭史<sup>1</sup>, 杉浦圭祐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神戸大学, <sup>2</sup>三菱電機先端技術総合研究所

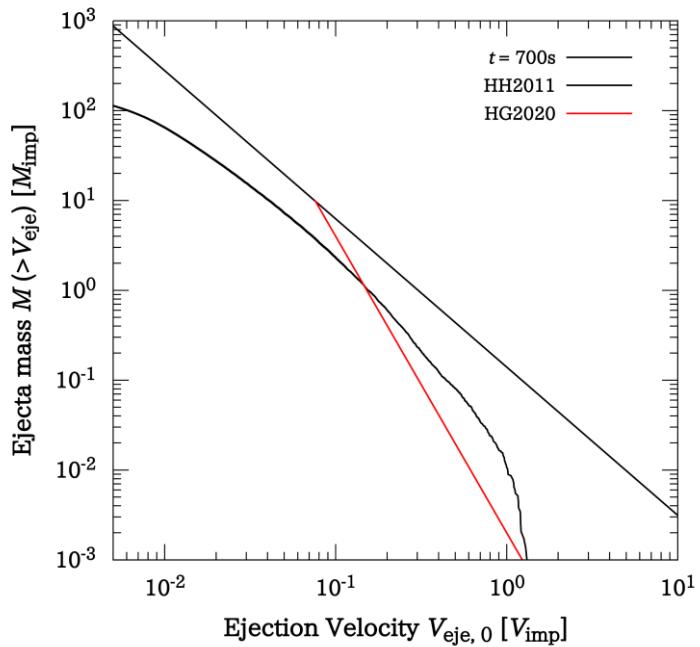
小惑星の衝突とそれによる被害を回避する方法として, Kinetic Impactと呼ばれる, 人工衛星を衝突させることにより小惑星の軌道を変更する方法が提案されている. その手法の実証実験として, NASAによってDART(Double Asteroids Redirection Test)ミッションが行われた. このミッションにより, 小惑星は小規模な破壊を伴う衝突によりその軌道を変え得ることが示された. このミッションの理解のために理論研究が行われており[1-6], その結果から標的小惑星は総質量の数%がエジェクタとして放出された可能性が示唆されている[6]. それらのエジェクタの一部が衝突速度方向反対方向に脱出することにより, 標的小惑星は完全合体時よりも大きな速度変化を受けたと考えられている.

このような衝突による速度変化を見積もるために, 衝突により放出されるエジェクタの質量や速度の分布を正しく知る必要がある. エジェクタの速度分布等に関する従来のスケーリングには, 平面標的の室内実験の結果が用いられている[7]. しかしこれらの分布は標的表面の曲率に影響されると考える. 球標的を用いて標的の曲率を考慮してエジェクタ放出角度の関係を調べた先行研究では, 曲率によりその角度は平面の場合とは異なる分布を持つことが示されている[8]. また, 平面標的への衝突によるエジェクタ質量に関して数値計算より調べた先行研究では, 従来のスケーリングでは高速で放出されるエジェクタが過大評価される可能性に言及している[9]. そこで我々は球標的に対する衝突により放出されるエジェクタの質量と速度の関係を明らかにするため, 球標的に対する衝突シミュレーションを行い, その結果放出されるエジェクタの質量に関して調べた.

数値計算には岩石の強度・破壊と破片間の摩擦を組み込んだ SPH 法のコードを用いた[10]. 標的には半径 50km の玄武岩球を用い, 質量比 ( $\equiv$ インパクター質量/標的半径)  $\gamma = 1/8$  から  $1/768$  の範囲で数例とった. またエジェクタ解析は, 衝突による質量損失 (系の総質量に対する, 最大天体から流出した質量の割合) が 5%以下の小規模破壊についてのみ行い, 標的表面からインパクター直徑だけ離れた位置を通過したエジェクタの速度と質量を解析した. また本発表では,  $\gamma = 1/8, V_{\text{imp}} = 4 \text{ km/s}$ , 質量損失 5%の結果を見る.

数値計算とエジェクタ解析の結果得られた, 球面標的に対するエジェクタ速度と累積質量の関係と室内実験により得られたスケーリングとを比較すると, 傾きはよく一致する一方で, そのエジェクタ質量の絶対値には 2-3 倍の差がみられた. また平面標的に対する数値計算を行った先行研究と比較すると, エジェクタの総質量は小さくなる一方で, 高速エジェクタに関しては球面標的への衝突のほうが多く放出されることが明らかになった. このようなエジェクタ質量に対する標的表面曲率の効果は衝突による運動量輸送を考えるうえで, 考慮すべきである. また, それらを考慮した新たなスケーリングが必要である.

今後はエジェクタの放出角度等さらなる詳細な解析をおこなう。



#### エジェクタ質量とエジェクタ速度の関係

黒曲線は衝突から 700s までに放出されたエジェクタの速度分布、黒直線は室内実験の結果から得たスケーリング[9]、赤直線は平面標的への数値計算から得られたスケーリング[10]。

#### 参考文献

- [1] Thomas, C. A. et al., 2023, *Nature*, 616, 448.
- [2] Cheng, A. F. et al., 2023, *Nature*, 616, 457.
- [3] Holsapple, K. A. and Housen, K. R., 2012, *Icarus* 221, 875.
- [4] Jutzi, M. and Michel, P., 2014, *Icarus* 229, 247.
- [5] Stickle, A. M. et al., 2022, *Planet. Sci. J.* 3, 248.
- [6] Raducan, S. D. et al., 2024, *Nat. Astron* 8, 445.
- [7] Housen, K. R. and Holsapple, K. A., *Icarus* 211, 856.
- [8] Kurosaki, K. et al., 2025, *Int. J. Impact. Eng* 205, 105400.
- [9] Hyodo, R. and Genda, H. 2020, *ApJ* 898, 30.
- [10] Sugiura, K. et al., 2018, *A&A*, 620, A167.