

タギシュ・レイク隕石微小片及び模擬物 (UTPS-TB) の衝突破壊実験

塩本純平*1、中村昭子*1、野村啓太*1、長足友哉*1、長谷川直*2

*1 神戸大学大学院理学研究科 *2 JAXA 宇宙科学研究所

D型小惑星はそのスペクトルの傾きから、表面鉱物は有機物、無水ケイ酸塩、不透明物質、氷などから構成されると考えられている^[1]。したがって、D型小惑星は地球上の水や有機物を含む揮発性物質の起源を探ることのできる天体であり、その衝突破壊や衝突進化について考えることは重要である。本研究では、反射スペクトルが類似することから、D型小惑星が母天体であると考えられるタギシュ・レイク隕石^[2]の微小片（等価円直径約2.5 mm）をターゲットとした衝突破壊実験をし、タギシュ・レイク隕石をベースとしたフォボス模擬物 (UTPS-TB)^[3]またはその他隕石との比較を行った。

タギシュ・レイク隕石微小片の実験は神戸大の一段式軽ガス銃を用いて、ターゲット質量 $M_t < 0.024$ g、弾丸は1 mm ガラス球で衝突速度 90~300 m/s（低速度）で行った。また、ターゲットの面への垂直衝突を狙うために、ターゲットのステージへの接地面と衝突面をできる限り平面になるよう整形をした。また、これと比較するために模擬物もターゲット質量 $M_t < 0.3$ g、その他は同条件で実験を行った (Small, 低速)。それに加えて、衝突速度効果やターゲットのサイズ効果を調べるために、模擬物はターゲット質量 $1 \text{ g} < M_t < 10 \text{ g}$ (Medium, 低速)、 $M_t > 50 \text{ g}$ (Large, 高速&低速) のものも用意した。Medium は神戸大一段式軽ガス銃、Large (高速) は宇宙研二段式軽ガス銃、Large (低速) は神戸大縦型火薬銃を用いた。それぞれの弾丸と衝突速度は、Medium が 1, 3 mm ガラス球と 3 mm ナイロン球で 120~300 m/s、Large (高速) が 3 mm ナイロン球で 2900~6000 m/s、Large (低速) が直径高さ 15 mm のナイロン円柱形弾丸で 130~160 m/s であった。Large (低速) を除いて、衝突パラメータ（弾丸が標的の見かけの中心の距離）を考えるために2台の高速カメラを、視線が弾道を x 軸と置いたときの y 軸、z 軸方向になるように設置した。微小片、模擬物 Small 及び Medium は画像解析ソフト Image J を用いて画像から最大破片を割り出し、それぞれのターゲットの密度を考慮して最大破片質量を計算した。微小片の密度は実験前に計測したそれぞれの質量と、撮影した CT 画像を用いて両端は円錐、他の箇所は円錐台を仮定して断面をつなぎ合わせて計算した体積から求めた。模擬物の密度はすべてのターゲットに過去に測定した $1.47 \pm 0.03 \text{ g/cm}^3$ を当てはめた。

図1は衝突パラメータを考慮したエネルギー密度 Q' と最大破片質量割合 m_l/M_t のグラフで、微小片及び模擬物の結果と Small と同程度のサイズの石膏^[4]と葉ろう石^[5]（低速度衝突）を比較したものである。微小片と模擬物 Small を比較するとタギシュ・レイク隕石の方が壊れにくいかもしれない。しかし、微小片は Small よりも体積が1桁小さかったため、これはサイズ効果が強いという可能性も考えられる。そのため、今後は微小片のサイズに合わせた模擬物をターゲットとして再度実験を行う必要がある。また、図2は図1と同じくエネルギー密度と最大破片質量割合のグラフで、微小片の結果と普通コンドライト、炭素質コンドライト (CV) の Allende 隕石^[6]（それぞれ 30~250 g, 70 g；高速度衝突）、

及び炭素質コンドライト (CM) の Murchison 隕石^[7] (~30 g ; 高速度衝突) を比較したものである。これら先行研究の隕石は Q^* (衝突破壊強度) =1400 J/kg 程度である^{[6][7]}。速度依存性を考慮すると他の炭素質コンドライト隕石よりもタギシュ・レイク隕石微小片の方が壊れにくいことがわかる。これは、タギシュ・レイク隕石の空隙率 (微小片 : $\Phi=37\%$) が他の隕石の空隙率 (Allende : $17.7\pm 1.0\%$, Murchison : $22.2\pm 0.7\%$ ^[8]) よりも高く、衝突による圧縮で空隙を埋める分エネルギーを要するので Q^* が大きくなる^[9]ためだと考える。ただし、ターゲットサイズに大きな差があるため、タギシュ・レイク隕石のサイズ依存性が大きすぎるとこの比較も難しい。

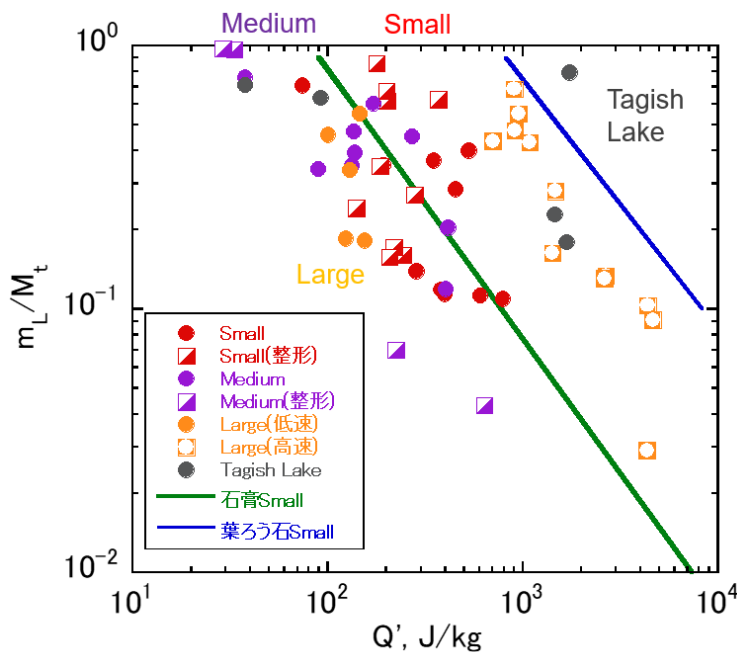


図1 微小片及び模擬物の結果

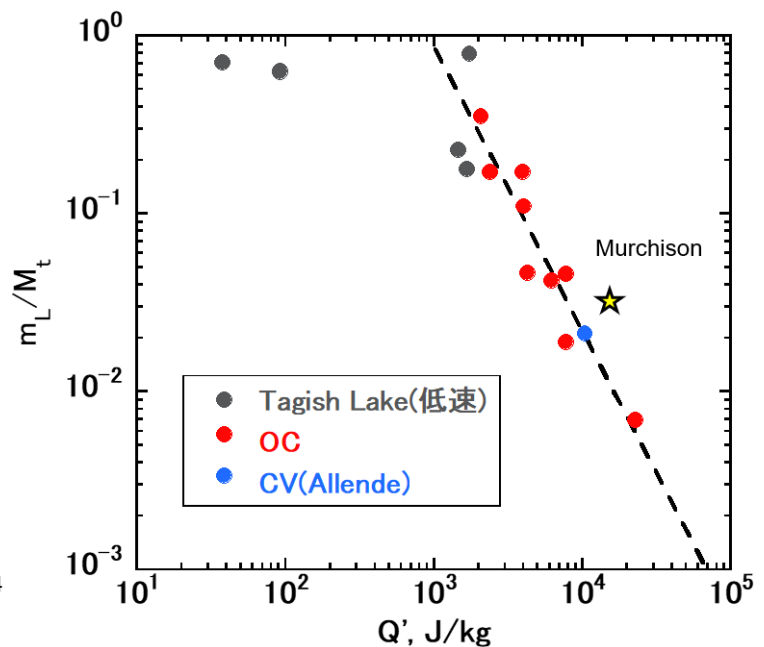


図2 タギシュ・レイク隕石微小片の結果と他の隕石との比較

謝辞

宮本英昭氏と新原隆史氏に UTPS-TB のブロックを提供して頂きました。

本研究は高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究 (21C002, 21B043) のもとで実施されました。衝突実験は、JAXA 宇宙科学研究所の超高速度衝突実験施設の共同利用実験として行いました。

参考文献

- [1] Mothé-Diniz, T. (2009), IAU Symposium 263, 231-236. [2] Hiroi, T. et al. (2001), Science., 293, 2234-2236. [3] Miyamoto, H. et al. (2021), Earth, Planets and Space., 73, 214. [4] Nakamura, A. et al. (2015), Planet. Space Sci., 107, 45-52. [5] Nagaoka et al. (2014), Meteor. Planet. Sci., 49, 69-79. [6] Flynn, G. J. and Durda, D. D. (2004), Planet. Space Sci., 52, 1129-1140. [7] Flynn, G. J. et al. (2009), Planet. Space Sci., 57, 119-126. [8] Macke, R. J. et al. (2010), Planet. Space Sci., 58, 421-426. [9] Love, S. G. et al. (1993), Icarus., 105, 216-224.