

微小衝突破片とイトカワ粒子の形状分布の比較

○道上達広（近大）、門川隆進（京大）、土山明（京大）、アクセル・ハガーマン（オープン大）、中野司（産総研）、上杉健太郎（JASRI/Spring-8）、長谷川直（ISAS/JAXA）

研究会で発表した内容は、2018年3月に *Icarus* に掲載された (*Icarus* 302 (2018) 109-125; <https://authors.elsevier.com/sd/article/S0019103517306929>)。以下はその要旨となる。

はじめに

2010年、小惑星探査機「はやぶさ」によって、小惑星イトカワ粒子が地球にもたらされた。Tsuchiyama et al. (2011, 2014)は、直径 $120\ \mu\text{m}$ 以下のイトカワ粒子、48個を Spring-8 の X 線 CT 装置にて撮像し、それらの粒子の詳細な3次元形状を得た。イトカワ粒子の形状分布は、破片の長軸 a : 中間軸 b : 短軸 c の比が、分布に広がりはあるものの、平均で $2:\sqrt{2}:1$ になっていた。すなわち平均で b/a が 0.7、 c/a が 0.5 程度である。この形状分布は室内衝突実験における数 mm 以上の破片形状分布（カタストロフィック破壊）と一致している (Fujiwara et al., 1978; Capaccioni et al., 1984, 1986; Durda et al., 2015; Michikami et al., 2016)。それゆえ、イトカワ粒子は小惑星表面からの衝突破片粒子と考えられている (Tsuchiyama et al., 2011, 2014)。しかしながら、室内衝突実験において、直径 $120\ \mu\text{m}$ 以下の小さな衝突破片粒子の形状分布は、これまで測定されたことがない。この微小破片粒子では、数 mm 以上の破片と比べて衝突破壊における形成プロセスが異なることが予想される。また、この微小サイズでは、岩石組織と同じサイズのため、岩石組織の形状が衝突破片形状に影響を与える可能性もある。そこで本研究では、イトカワ粒子と同じ $120\ \mu\text{m}$ 以下の衝突破片粒子の形状を調べることにした。その解析を通じて、イトカワ粒子の形成起源に制約を与えることが目的である。

衝突実験と X 線 CT 撮像

今回、標的として玄武岩と L5 コンドライト隕石を用いた。玄武岩に対しては、すでに Michikami et al. (2016)の実験で行われ、回収された微小破片粒子を用いた。Michikami et al. (2016) の実験を簡単に説明する。実験は JAXA 宇宙科学研究所にある2段階式軽ガス銃を使用し、弾丸に直径 7.14mm 、質量 0.218g のナイロン球を用いた。標的の材料として密度 3000kg/m^3 の玄武岩を用い、一辺が 5cm から 15cm の立方体に対して衝突実験を 23 ショット行った。弾丸の衝突速度は 1.60km/s から 7.13km/s の範囲である。衝突の際の真空度は 200Pa 以下で、高速度カメラで撮影することによって、

放出された破片の様子を調べた。今回は 23 ショットのうちの 8 ショットの微小破片粒子を用いることにした。

次に追加で行った L5 コンドライト隕石に対する実験について簡単に説明する。実験は JAXA 宇宙科学研究所にある 2 段式軽ガス銃を使用し、弾丸に直径 1mm、質量 0.0036g のアルミナ球を用いた。L5 コンドライト隕石の密度は 3400kg/m^3 である。標的として平板 ($4.0\times 2.3\times 0.7\text{cm}$) と立方体 ($1.0\times 1.0\times 1.0\text{cm}$) の 2 つに対して実験を行った。弾丸の衝突速度は共に約 5.0km/s である。衝突の際の真空度は 100Pa 以下で、高速度カメラで撮影することによって、放出された破片の様子を調べた。

実験では衝突破壊によって生じた破片が、チャンバーにぶつかり 2 次破壊が起こらないようにチャンバー内を発泡スチロールやウレタンシートで覆った。発泡スチロールやウレタンシート表面上にある微小破片粒子を回収した。本研究では主に $120\ \mu\text{m}$ 以下の破片粒子 (2163 個) に注目して、それらの破片粒子を Spring-8 の X 線 CT 装置で測定、3 次元形状を得て、3 軸比をコンピューター上で測定した。

実験結果と考察

得られた結果は以下である。玄武岩と L5 コンドライト隕石の破片形状分布は、これまでの数 mm 以上の破片形状分布 (カタストロフィック破壊) と同じく、長軸 a : 中間軸 b : 短軸 c の比が、平均で $2:\sqrt{2}:1$ になっていた。この比は、標的の単位質量当たりの衝突エネルギー $Q[\text{J/kg}]$ に依らないことも分かった (反対に、4mm 以上の破片については、その形状分布は $Q[\text{J/kg}]$ に依ることが Michikami et al. (2016) で明らかになっている)。これは、破壊形態に依らず、微小破片粒子の形状分布は同じであることを示している。この理由として、微小破片粒子は、標的内の多数の稀薄波が重なり合うことで、形成されることが考えられる。

次に、岩石組織が微小破片粒子の形状分布に与える影響を調べるために、玄武岩の破片を斑晶リッチ、石基リッチ、その中間の 3 タイプに分け、それぞれのタイプで形状分布に違いがあるかどうか調べた。その結果、どのタイプでも同じ形状分布になった。このことから、岩石組織は微小破片粒子の形状分布に影響を与えないことが分かった。

最後に今回の実験結果をイトカワ粒子と比較した (図 1)。イトカワ粒子、L5 コンドライト隕石と玄武岩の微小破片で形状分布に統計的に有意な差は見られなかった。

上記の結果に対して、過去の研究では、衝突破片粒子でなく、小惑星の自転による昼夜の温度差が原因の熱疲労で粒子が形成された場合、岩石組織が粒子形状に影響することが指摘されている (Molaro et al., 2015)。今回の我々の衝突破壊実験では、衝突微小破片粒子の形状分布は岩石組織に影響されない。さらに、イトカワ粒子の形状分布は、衝突微小破片粒子のそれと類似している。したがって、イトカワ粒子は熱疲

劣による生成物ではなく、衝突破片粒子であると考えられる。

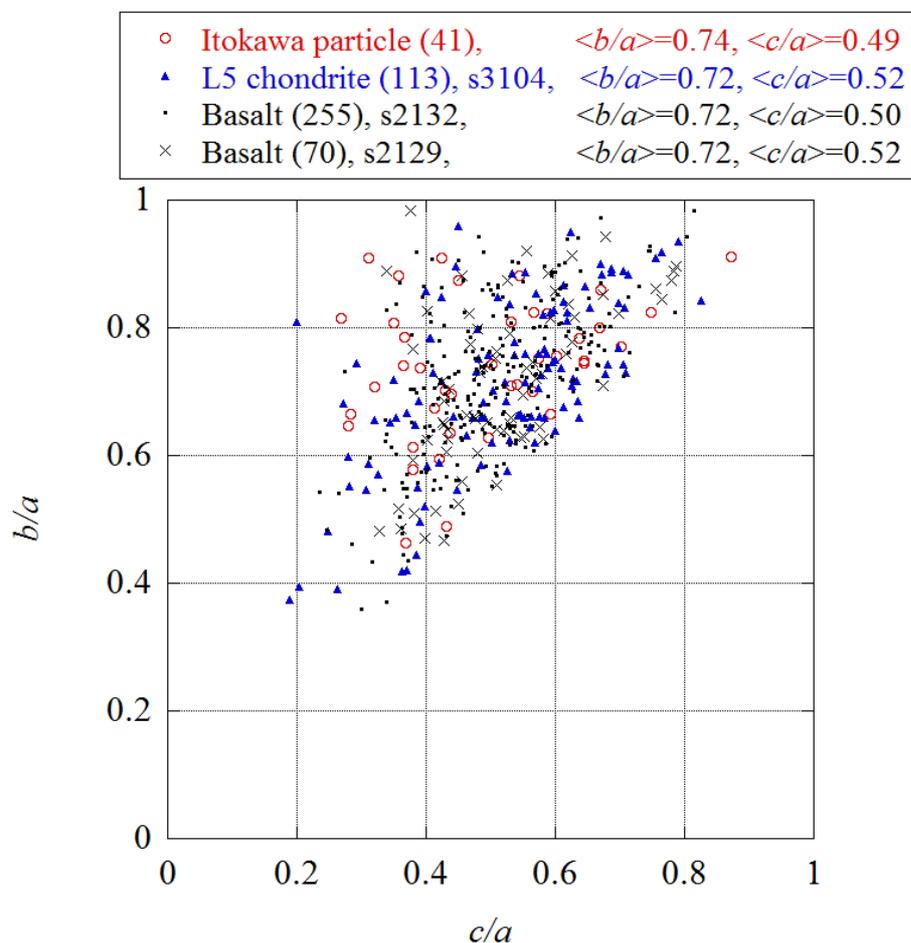


図1 イトカワ粒子、L5 コンドライト隕石と玄武岩の微小粒子の形状（3軸比）分布。Michikami et al. (2018)の Fig. 7を引用。イトカワ粒子41個は Tsuchiyama et al.(2014)のデータを用いた。L5 コンドライト隕石と玄武岩の微小粒子は代表的な一部のデータを用いた。括弧は粒子の総数、鍵括弧はそれぞれの軸比の平均を示している。

参考文献

- Capaccioni, F. et al., 1984, Nature 308, 832-834.
Capaccioni, F. et al., 1986, Icarus 66, 487-514.
Durda, D. D. et al., 2015, Planet. Space Sci.107, 77-83.
Fujiwara, A., et al., 1978. Nature 272, 602-603.
Michikami, T. et al., 2016, Icarus 264, 316-330.
Molaro, L, et al., 2015, J. Geophys. Res. Planets. 120, 255-277.
Tsuchiyama, A. et al., 2011, Science 333, 1125-1128.
Tsuchiyama, A. et al., 2014, Meteoritics and Planetary Science 49, 172-187.