

微小衝突破片粒子の 3 次元形状分布とイトカワ粒子への応用

○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、その後、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。

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 μm 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 μm 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、岩石組織が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 μm 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。

今回、標的として玄武岩と L5 コンドライト隕石を用いた。玄武岩では、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 3000 kg/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 1.60 km/s から 7.13 km/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 3400 kg/m^3 である。標的として平板(4.0×2.3×0.7cm) と立方体(1.0×1.0×1.0cm)の 2 つに対して実験を行った。弾丸の衝突速度は共に約 5.0 km/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 μm 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上で測定した。

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。イトカワ粒子、玄武岩、L5コンドライト隕石で形状分布に統計的に有意な差は見られなかった。それゆえ、イトカワ粒子は衝突破片起源であると考えられる。というのも、イトカワ粒子が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形成された場合、岩石組織が破片形状に影響することが指摘されており(Molaro et al., 2015)、イトカワ粒子の形状分布は岩石組織が影響しているとは言い難いからである。以上のことから、繰り返しになるが、イトカワ粒子は熱疲労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。

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.