

玄武岩の衝突破片形状と最大破片

道上達広(近大)、吉田明史(近大)、島田玲(阪大)、土山明(京大)、長谷川直(ISAS/JAXA)

はじめに

室内実験において、衝突破壊における破片の形状の分布は、実験条件に依らず、特徴的でかつ普遍的な分布になっていることが知られている。それは破片の長軸 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 $2:\sqrt{2}:1$ になっていることである (図 1)。すなわち平均で b/a が 0.7、 c/a が 0.5 程度になっている。しかしながら、この破片形状は、衝突エネルギー密度 Q が 4000J/kg 以上と大きく、激しいカタストロフィック破壊によって得られたデータであった (ここで Q は 標的が単位質量あたりに受ける弾丸の運動エネルギーで、 $\text{弾丸の運動エネルギー} \div \text{標的の質量}$ で定義される)。最近の研究では、クレーター形成 (Q が 200J/kg 以下) における c/a の平均値は 0.3 程度とカタストロフィック破壊の c/a の平均値 0.5 より小さい値をとることが確認されているが (島田 2013)、なぜこのような小さい値をとるのかよく分かっていない。また、過去の研究において、クレーター形成からカタストロフィック破壊まで、破壊によって飛び出した破片の形状を系統的に調べた実験的研究はない。そこで、本研究では、衝突エネルギー密度 Q を 200J/kg (クレーター形成) から 8500J/kg (カタストロフィック破壊) の広い範囲で衝突実験を行い、玄武岩の衝突破片形状の変化を調べることを目的とした。

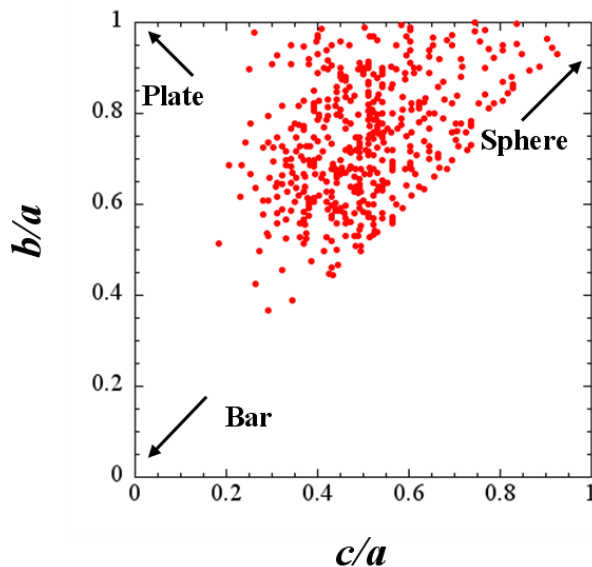


図 1 過去の実験における玄武岩の破片の軸比。縦軸に b/a 、横軸に c/a 。
(Fujiwara et al., 1978 より引用)

衝突実験の概要

実験は JAXA 宇宙科学研究所にある 2 段式軽ガス銃を用いた。弾丸には直径 7mm、質量 0.218g のナイロン球を、衝突速度 1.6km/s から 7.0km/s の範囲で、標的に対して垂直に衝突

させた。標的は一辺が 5cm,7.5cm,10cm,15cm の玄武岩の立方体を用い、密度は 3000kg/m^3 、圧縮強度 185MPa 、引張強度 14MPa である。真空度は 40Pa 以下で、2 台の高速度カメラ (2000 コマ/秒) を互いに垂直な方向から撮影することによって、衝突破壊によって飛び出した破片の 3 次元速度を測定することが可能である。全部で 12 ショット実験を行った。

回収した破片は、 b 軸が 4mm 以上の破片をノギスで直接測定した。測定方法は平行な 2 枚の板で破片を挟んだとき、一番短い軸を c 軸、 c 軸に直交する中間軸を b 軸、長軸を a 軸として測定した。測定した破片は 12 ショット中、9 ショットで、測定した破片の数は 5700 個以上である。

衝突実験結果

今回得られた破片の軸比 (平均) と最大破片との関係を示したのが、図 2 になる。横軸に最大破片質量を破壊前の標的質量で割った値を、縦軸に軸比を示しており、赤で示したデータが各ショットにおける b/a の平均値を、黒で示したデータが各ショットにおける c/a の平均値を示してある。横軸は右に行くほどクレーター形成に近づき、左に行くほどより激しいカタストロフィック破壊になることを意味している。ここで分かることは、 b/a の平均値は破壊の程度に依らず、ほぼ 0.7 で一定の値をとるのに対して、 c/a の平均値はクレーター形成に近づくほど、値が小さくなっていることが今回の実験で初めて分かった。過去の実験では、実験条件に依らず、 b/a 、 c/a の値はそれぞれ 0.7 、 0.5 の一定の値になると考えられていたので、今回の実験結果はそれを覆す結果となった。

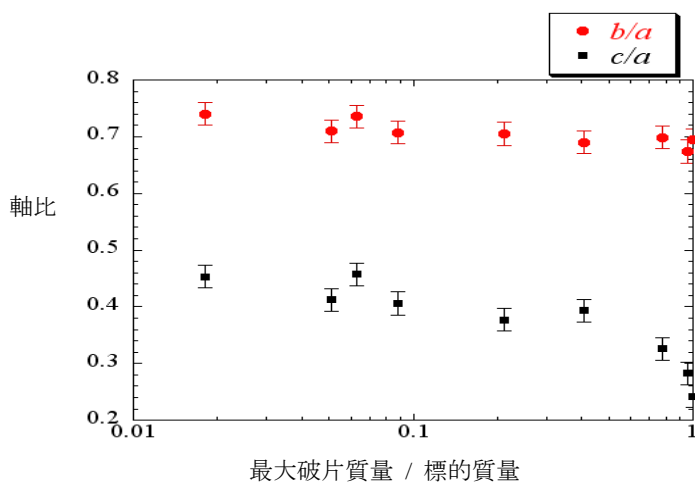


図 2 今回の実験で得られた破片の軸比 (平均) と最大破片の関係。

小惑星イトカワへの応用例

今回得られた実験結果を小惑星イトカワに応用することを考える。小惑星探査機はやぶさのホームポジションにおける画像データから、小惑星イトカワの大きなボルダー 21 個の見かけ上の 3 軸比を測定した。その結果、 c/a の平均値は 0.46 であった。この値は、図 2 において最大破片が標的の数%の質量を持っていることを意味する。小惑星イトカワの母天体を一枚岩と仮定すると、衝突破壊によって、母天体の数%の質量を持った最大破片が誕

生したことが予想される。つまり、小惑星イトカワの母天体は、かなりの激しい破壊を受けた可能性がある。イトカワ微粒子の化学組成の分析結果からイトカワの母天体は 20km とも考えられているので (Nakamura et al., 2011)、今回のボルダーの軸比から予想される結果はそれを支持する結果となった。

今後の課題

今回得られた破片の形状分布は、衝突破壊後、飛び出した破片が実験装置のチャンバーに衝突して再び破壊される 2 次破壊の影響を、定量的に調べられていない。今後は、2 次破壊の影響をできるだけ小さくし、定量的に調べる必要がある。また、物質による違い、衝突前の標的の形状による違いが、破片形状にどのように影響するのかを明らかにする予定である。さらに、実験結果の小惑星イトカワへの応用例では、ボルダーの詳細な軸比の値、母天体の一枚岩仮定の妥当性などを今後検討する必要もある。

参考文献

Fujiwara, A., et al., 1978. *Nature* 272, 602-603.

島田玲 2013 年度修士論文 大阪大学大学院理学研究科宇宙科学専攻

Nakamura, T., et al., 2011. *Science* 333, 1113-1116