

石膏及びガラス球の衝突破壊強度に対する斜め衝突の影響

保井 みなみ, 荒川 政彦, 吉田 優作, 松榮 一真, 高野 翔太
神戸大学大学院理学研究科

はじめに：微惑星の形成・進化過程を考える上で、その衝突破壊・再集積過程を明らかにすることが重要である。岩石微惑星は熱進化段階に応じて様々な空隙率を持ち、微惑星の生き残りと言われる小惑星や彗星核母天体のような多孔質なものから、衝撃変成や水質変成を受けた空隙率が低い微惑星まで存在すると考えられている。また、微惑星に限らず、天体衝突は正面衝突よりも斜め衝突の方が衝突確率が高い (Shoemaker, 1962)。玄武岩を用いた斜め衝突実験から、衝突角度が小さくなると最大破片質量が大きくなることが知られているが (Fujiwara & Tsukamoto, 1980; Nakamura, 1993)、衝突破壊強度の衝突角度依存性を系統的に調べた例はない。そこで本研究では、始原的及び変成を受けた岩石微惑星の衝突破壊強度に対する衝突角度の依存性を明らかにするため、それぞれを模擬した多孔質石膏球及び無孔質ガラス球を用いた斜め衝突実験を行った。

実験手法：標的で用いた石膏球は半水石膏と水を混ぜて球型に流し込み、固めて乾燥させて作成した。空隙率は 50% で、直径は 40–70mm である。ガラス球は市販のものとし、直径は 30–80mm である。弾丸は直径 4.75mm のポリカーボネート球を用いて、衝突速度は 2–7km/s とした。また、衝突角度は 90° (正面衝突) から 10° (すれ違い衝突) まで幅広く変化させた。実験は神戸大学に設置された横型二段式軽ガス銃を用いた。衝突の様子は高速カメラで撮影した。撮影速度は 10⁴fps、露光時間は 10–20μs とした。

実験結果：

図 1a, b にエネルギー密度 Q と規格化最大破片質量 (m_1/M_t , M_t は標的質量) の関係を示す。石膏及びガラス共に、衝突角度が大きいと正面衝突の結果とほぼ一致するが、ある境界角度より小さくなると同じエネルギー密度でも m_1/M_t が大きくなることからわかる。その境界角度 θ_c は石膏が 55°, ガラスが 30° となった。正面衝突 (90° と 80°) の結果は $m_1/M_t = 10^{a_1} \cdot Q^{-b_1}$ で示され、 a_1 は石膏が 2.32, ガラスが 5.82, b_1 は石膏が 0.84, ガラスが 2.02 となった。衝突角度の影響をエネルギー密度に組み込んだ有効エネルギー密度 $Q_{\text{eff}} (=Q \sin^2 \theta, \theta$ は衝突角度) を用いて m_1/M_t を示したのが、図 1c である。その結果、衝突速度や標的サイズ、衝突角度に寄らず、標的物質が同じであれば関係式が 1 つに決まることがわかった。しかし、ガラスの場合は有効エネルギー密度が 10³J/kg より小さいと衝突面と反対面で引っ張り破壊が起こりその面が剥がれ落ちるため、緩やかな m_1/M_t の減少が見られた。それぞれの経験式は $m_1/M_t = 10^{a_2} \cdot Q_{\text{eff}}^{-b_2}$ で示され、石膏は a_2 が 2.02, b_2 が 0.76, ガラスは 10³J/kg 以上で

は a_2 が 4.66, b_2 が 1.68, 10^3J/kg 以下では a_2 が 0.12, b_2 が 0.08 となった. また Fujiwara & Tsukamoto(1980)の玄武岩の斜め衝突の結果は, 本研究のガラスの結果と一致した. この関係式から有効衝突破壊強度 Q_{eff}^* (m_1/M_t が 0.5 になるときの Q_{eff}) を調べた結果, 石膏が 1140J/kg , ガラスが 907J/kg となりほぼ一致することがわかった.

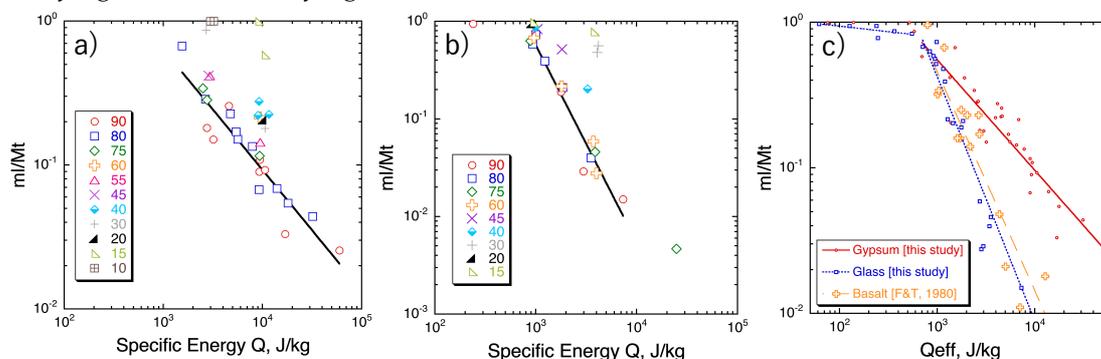


図1 a, b) エネルギー密度と規格化最大破片質量の関係. a)が石膏, b)がガラスである. シンボルの違いは衝突角度を示す. c) 有効エネルギー密度と規格化最大破片質量の関係. 玄武岩は Fujiwara & Tsukamoto (1980)の斜め衝突実験の結果である.

応用: 実験で得られた経験式を用いて, 衝突破壊の程度に対する斜め衝突の衝突確率への影響を考える. 確率密度 $dP/d\theta$ と規格化最大破片質量 m_1/M_t の関係は, 以下の式で示される.

$$\frac{dP}{d\theta} = 2 \left[k^{-1} \left(\frac{2m_1}{M_t} \right)^{-\frac{1}{b}} \left\{ 1 - k^{-1} \left(\frac{2m_1}{M_t} \right)^{-\frac{1}{b}} \right\} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ここで k は Q/Q^* と示され, Q_{eff}^* と正面衝突の衝突破壊強度 Q^* は等しいと仮定する. ある衝突角度より小さな衝突が起こる確率 $P(< \theta)$ は確率密度を積分することで得られる. 石膏のパラメータを用いて, $k=3$ の時の結果を図2に示す. このように, 衝突破壊の程度を示す m_1/M_t と $P(< \theta)$ の関係を衝突角度で示すことができた. さらにほぼ破壊されず, クレーターが形成される衝突確率 ($m_1/M_t = 1$) が計算より得られた. この場合は, 衝突角度 21.5° 以下の衝突でクレーターが形成され, その確率は 14% となった.

【参考文献】

- Fujiwara & Tsukamoto (1980), Icarus 201, 795–801.
- Nakamura (1993), Inst. Space Astron. Sci. Report 651.
- Shoemaker (1962), in Physics & Astronomy of the Moon, 283–359.

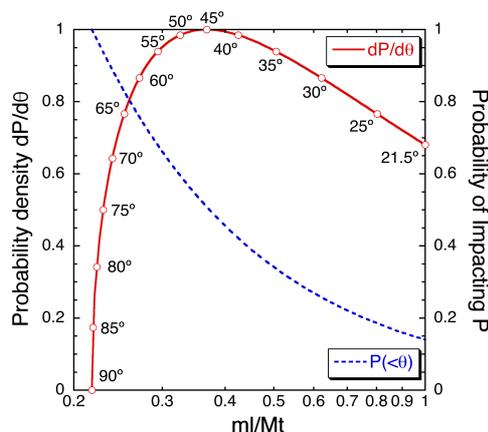


図2 規格化最大破片質量と衝突確率及び確率分布の関係. 確率分布に示した数字は衝突角度を示す.