

# 衝突による普通コンドライトの物理化学進化に関する研究

寫生有理<sup>1</sup>, 国広卓也<sup>1</sup>, 中村栄三<sup>1</sup>, 鈴木絢子<sup>2</sup>, 長谷川直<sup>2</sup>

<sup>1</sup>岡山大学地球物質科学研究センター, <sup>2</sup>宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

## 1 はじめに

小惑星探査機はやぶさによって、S型小惑星表層は普通コンドライトによって構成されていることが明確になった [1]。普通コンドライトには熔融組織や高圧相などの衝撃変成構造が普遍的に存在しており、母天体での衝突履歴を記録している。衝撃変成過程はカプセルを用いた衝撃回収実験によって組織の変形構造や熔融物（メルト）の元素拡散量の物性および衝撃圧力依存性が調べられてきた。一方で、実際の天体衝突における衝突体と標的の機械的・化学的混合およびレゴリスの固化過程についての理解は得られていなかった。本研究では、衝突によるクレーター形成過程と普通コンドライトの物理化学進化および固化過程を明らかにするため、普通コンドライト模擬物質を用いた高速度衝突実験を行なった。模擬物質として、普通コンドライトの主構成鉱物であるかんらん石を用いた。

## 2 方法

標的には Mg に富んだ (f<sub>090-95</sub>) かんらん岩（空隙率 0%）とかんらん石粉体（空隙率 43%）を用いた。かんらん岩は大きさ 7–10 cm（質量 0.8–1.4 kg）のものを用いた。かんらん石粉体は単結晶かんらん石を粒径 300–700 μm に粉碎し、直径および高さ各 10 cm のアクリル円筒に充填し、弾丸突入孔を 20 μm メッシュで塞いだ天板で蓋をした。放出破片を回収するため、標的は 30 cm 四方のポリカーボネイト箱の中に設置した。弾丸はかんらん岩標的とかんらん石粉体標的のそれぞれで直径 1.6 mm と 3.2 mm の鉄弾丸 (SUS304) を用いた。宇宙科学研究所の横型二段式軽ガス銃とサボを用いて、弾丸を衝突速度 1.8–5.1 km/s で標的に衝突させた。衝突の様子は高速度ビデオカメラを用いて影写真法で撮影した。実験後、かんらん岩のクレーター形状をレーザー変位計と XY 自動ステージを用いて測定し、体積を算出した。かんらん石粉体は硬化樹脂で固め、かんらん岩クレーターとともに衝突点直下の薄片と厚片を作成した。偏光顕微鏡、電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM)、顕微ラマン分光装置を用いて薄片、厚片、放出破片の観察を行ない、熔融組織のエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) による定量を行なった。

## 3 結果・考察

かんらん岩に形成されたクレーター体積 ( $V$ ) は衝突エネルギー ( $E$ ) の増加とともに増加し、経験式  $V = 10^{2.3} E^{1.3}$  が得られた。本結果に強度支配域の  $\pi$  スケーリング則 [2] ( $\pi_V = \frac{\rho_t V}{m_p}$ ,  $\pi_Y = \frac{Y}{\rho_t v^2}$ :  $\rho_t$ ,  $V$ ,  $m_p$ ,  $Y$ ,  $v$  は標的密度, クレーター体積, 弾丸質量, 標的強度, 衝突速度) を適用した結果,  $\pi_V = 10^{-2.4} \pi_Y^{-1.3}$  となり, 玄武岩の結果 [3] と調和的であることがわかった。クレーターの衝突点直下の断面では波動消光と PDF が観察されたが、熔融組織およびかんらん石の高圧相は観察されなかった。放出破片を FE-SEM で観察

した結果、破片表面にかんらん石メルトが付着した約 100  $\mu\text{m}$  の粒子が複数発見された。このメルトの Mg 含有量は元のかんらん石と同程度であった。

かんらん石粉体の衝突点内部の破碎領域の大きさは衝突エネルギーの増加とともに増加した。破碎領域では 300  $\mu\text{m}$  以下の粒子が増加し、積算サイズ分布のべきは  $-2.6 \pm 0.3$  となり、空隙率は 50% に増加した。衝突速度 5.1 km/s の場合、鉄弾丸は破碎し、最大破片の一辺はかんらん石と鉄弾丸の混合メルトで覆われていた。破碎領域の中央には、元の構成粒子より大きい 2 mm のかんらん石圧密集合体が観察された。その粒間は 1  $\mu\text{m}$  以下のかんらん石粒子、かんらん石メルト、かんらん石と鉄弾丸の混合メルトで充填されていた。かんらん石と鉄の溶融組織から、温度は 1400 °C 以上であったと推定された。以上から、衝突による固化は微細粒子およびメルトの粒間への充填によって起こることが明らかになった。

## References

- [1] E. Nakamura, et al. (2012) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101:E624 doi.
- [2] K. Holsapple (1993) *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 21:333.
- [3] K. Dohi, et al. (2012) *Icarus* 218(2):751.