

開放系における固体-液体(水)間衝突現象の観測

西澤学¹、松井洋平¹、渋谷岳造¹、須田好¹、高井研¹、矢野創²

1. 海洋研究開発機構、2. 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所

Experimental study of hypervelocity impact of solid material into liquid water

Manabu Nishizawa¹, Yohei Matsui¹, Takazo Shibuya¹, Konomi Suda¹, Ken Takai¹, and Hajime Yano²

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

² Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Japan Aerospace Exploration Agency for Space and Technology (JAXA)

1、背景と本研究の目的

生命活動を担うアミノ酸や核酸といった生体有機物の起源の解明は、宇宙における生命の分布を推定するカギとなる。地球における生体有機物の起源について、宇宙空間で合成され、始原天体(小惑星、彗星、宇宙塵)によって初期地球に運搬されたとする「宇宙有機物起源説」と、初期地球において無機物から非生物的に合成されたとする「地球有機物起源説」が提唱されている。どちらの仮説も有力な証拠の提示には至っていないが、約 40 億年前に集中して起きた海洋への天体衝突が宇宙起源有機物の変質(低分子化や無機化)や地球起源有機物の合成において重要な役割を果たしていた可能性がある¹⁻³。これまで閉鎖系での岩石-水間衝撃実験から衝撃圧縮によって N₂ や CO₂ といった原始大気成分から有機物やその主原料となるアンモニアが生成されることが指摘されている^{2,3}。しかしこの手法では、反応場の温度圧力経路が開放系で起きる天然の衝突のそれとは大きく異なるため、初期海洋への天体衝突で有機物やアンモニアがどのくらい生成されたのかは推定できない⁴。本研究は、反応場の温度圧力経路をより忠実に再現できる開放系で隕石-水間衝突実験を行い、隕石の破壊過程や衝突時の温度圧力履歴を計測するとともに、アンモニアの生成量を観測する。その結果、アンモニアの生成メカニズムや生成量を規定する主要因子の特定を最終目的とする。

初年度の平成 27 年度は実験系の構築と実証を目的とし、実験装置の製作ならびにポリカーボネート-水間衝突実験を行い⁵、実験後に水を 100%回収できる実験系を確立した。これを踏まえ、平成 28 年度は水中での衝突誘起化学反応を特徴づける飛翔体の破壊様式の観測、クレーター形成条件の定量化ならびに衝撃圧の計測を目的とした。

2、実験方法

宇宙科学研究所に設置された縦型二段式軽ガス銃を用いて衝突実験を行った。ポリカーボネートとステンレスをそれぞれ飛翔体として、水中に沈めた金属鉄の標的へ超高速衝突させた。ポリカーボネート($\rho=1.2\text{g/cc}$)の直径は 4.7 mm で、水面への衝突速度は速度 5.7-6.2 km/s であった。ステンレス(SUS304、 $\rho=7.9\text{g/cc}$)の直径は 2.0 mm で、水面への衝突速度は 4.3-5.4 km/s であった。ポリカーボネートを使った実験は、標的までの水深を 0mm (水なし)から 20mm までふった条件で行った。一方で、ステンレスを使った実験は、標的までの水深を 0mm (水なし)から 105mm までふった条件で行った。飛翔体と水の衝突時の挙動を観測するため、高速カメラ(Shimadzu HPV-X)を用いて高速撮像した。また水の衝撃圧を測定するためニードルプローブを用いた。実験後、標的を回収し、衝突面に形成されたクレーターの三次元構造をレーザ変位計で計測した。

3、実験結果と解釈

時間分解能 2 μs の高速撮像で、飛翔体と水の挙動ならびに衝撃波の伝播過程をとらえることに成功した(図 1)。また水中の衝撃圧の測定にも成功した。標的の衝突面に形成されたクレーターの産状は、お椀形のクレーターが単一個で存在する場合と複数個の小さなお椀形(直径 2mm 以下)のクレーターが散在する場合は観察された(図 2)。水深が増加するにつれて、クレーターの産状は単一個のお椀形から複数個の小さなお椀形へと変化した。またクレーターの体積は水深

の増加に伴い指数関数的に減少した。ポリカーボネートの実験では水深 20mm(水深: 飛翔体直径=4.3)で、レーザー変位計で計測可能な体積をもつクレーター(1x10⁻⁶ cm³)は確認されなかった。ステンレスの実験では水深 28mm(水深: 飛翔体直径=14)で、レーザー変位計で計測可能な体積をもつクレーターは確認されなかった。

以上の結果から、1) 飛翔体の破壊は水中で始まること、2) 水深が十分深いときは、固体標的に到達する前に飛翔体の微細化と減速が進行してクレーターが形成されないこと、3) 水面に到達した時の運動エネルギーが同一の条件では圧縮強度の高い衝突体ほどクレーターが形成される限界水深が深くなること、が示唆された。また海洋への隕石衝突について、次のことが予測された。1) 同じ組成の天体が同じ速度で海洋に衝突したとしても、天体のサイズによって衝突誘起化学反応は大きく異なる。小さい天体の衝突では海洋底に到達するまえに衝突誘起化学反応が完了し、天体・海水・大気を反応物とした化学反応が起きる。逆に大きな天体の衝突では、水中で十分微細化するまえに海洋地殻に衝突し、天体・海水・大気・海洋地殻を反応物とした衝突誘起化学反応が起きる。2) 宇宙起源有機物の含有量が高い炭素質隕石は普通隕石や鉄隕石にくらべて圧縮強度が低いため、同一サイズ・同一速度の衝突の場合、他の隕石に比べて海洋の浅い部分で十分微細化する。

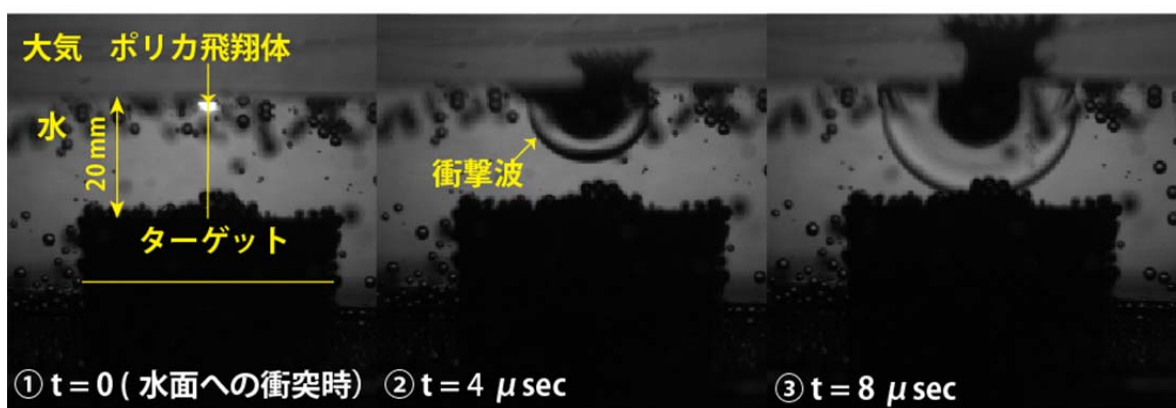


図 1、ポリカーボネート飛翔体が水中に超高速衝突(6km/sec)した時の連続撮像。

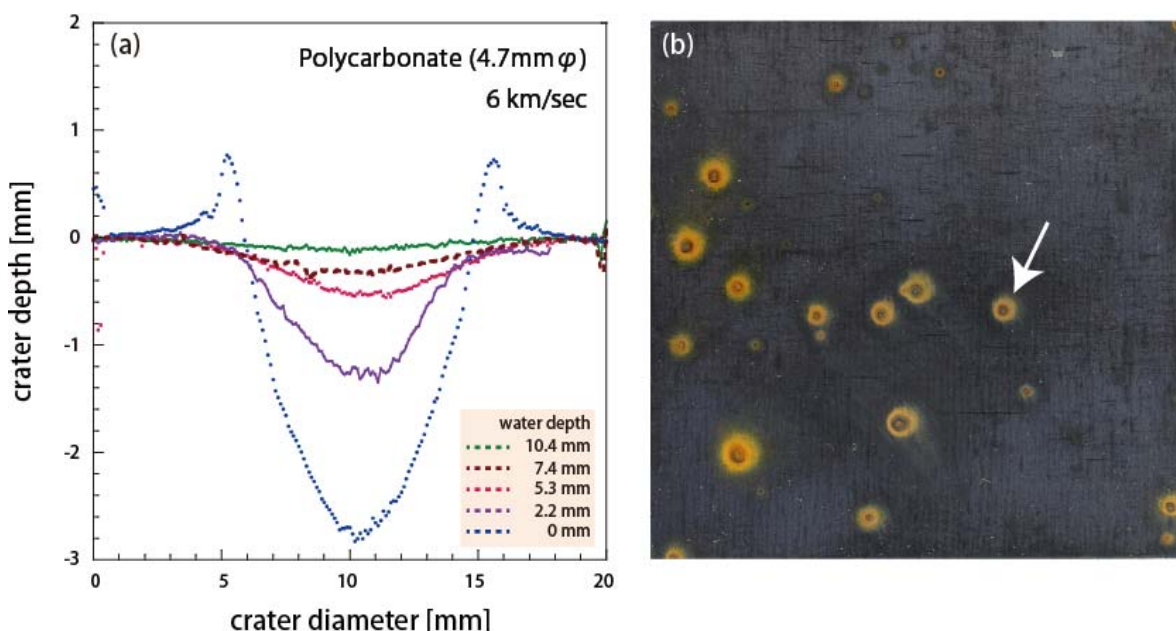


図 2、a) 金属鉄に形成されたクレーターの鉛直プロファイル。飛翔体はポリカーボネート。様々な水深条件におけるクレーターの鉛直プロファイルを示した。b) 水深 20mm の条件で金属鉄の衝突面(50mm x 50mm)に形成されたクレーターの産状。飛翔体はポリカーボネート。橙色部(酸化鉄)と黒色部(金属鉄)からなる三重の同心円の中心にある橙色の円が飛翔体によって形成された直径 0.2mm 程度のクレーター(白矢印)。こうした産状のクレーターが複数個存在していることがわかる。

4、引用文献

1. Nishizawa, M., Takahata, N., Terada, K., Komiya, T., Ueno, Y., Sano, Y. Rare earth element, Lead, Carbon and Nitrogen geochemistry of apatite-bearing metasediments from ~3.8 Ga Isua supracrustal belt, West Greenland. *International Geology Review* **47**, 952-970 (2005).
2. Nakazawa, H., T. Sekine, T. Kakegawa, and S. Nakazawa (2005), High yield shock synthesis of ammonia from iron, water and nitrogen available on the early Earth, *Earth and Planetary Science Letters*, 235(1-2), 356.
3. Furukawa, Y., Sekine, T., Oba, M., Kakegawa, T. & Nakazawa, H. Biomolecule formation by oceanic impacts on early Earth. *Nature Geosci* **2**, 62-66 (2009).
4. Kurosawa, K. (2016), Impact-induced chemical reactions: Toward understanding the surface environment on the Hadean Earth by using an experimental approach, *Chikyukagaku (Geochemistry)*, 50, 135-154.
5. 西澤学, 渋谷岳造, 松井洋平, 高井研, 矢野創 (2016), 開放系における岩石—水衝突実験法の開発, 平成 27 年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム 講演集 Proceedings of 2016 Symposium on Laboratory Experiment for Space Science.