

開放系における岩石－水衝突実験法の開発

西澤学¹、渋谷岳造¹、松井洋平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

2.

1、背景と本研究の目的

生命誕生以前の地球における生命関連有機物の供給・生成過程として、海洋への天体衝突の重要性が認識されつつある。実際、始原的な天体（小惑星、彗星、宇宙塵）が初期海洋に集中的に衝突した時期（後期重爆撃期：41－38 億年前¹）と地球最古の生命痕跡が海底堆積岩から発見された年代（38 億年前^{2,3}）はほぼ一致している。始原天体には宇宙空間で合成されたアミノ酸や核酸塩基の前駆体を含む複雑態高分子有機物に富むものがあるため、後期重爆撃によって初期海洋に集中的に供給された宇宙起源の有機物が生命の材料になったと考えることもできる。一方で、海洋への天体衝突時に大気海洋の主成分である水、窒素（N₂）、二酸化炭素（CO₂）が衝突蒸気雲の内部で還元され、アミノ酸や核酸塩基が合成された可能性も指摘されている^{4,5}。しかし、海洋への天体衝突に伴って生じる特異な化学環境（高温、高圧、超臨界水の存在）において「どのような種類の宇宙有機物がどれくらい海洋に供給されるのか」や、「大気海洋の主成分分子からどれくらいの有機物が合成されるのか」はわかっていない。そこで本研究の目的は、海洋への天体衝突を最も忠実に再現できる開放系で岩石－水間の衝突実験を行う手法を開発し、衝突に伴う物理化学プロセスの観測を通して上述の問題についてより定量的な解を提示することにした。

2、実験方法

平成 27 年度は実験系の構築と実証を目的とし、ゲートバルブを有した自動開閉式容器の作成、固体－水（液体）間衝突現象の観察と衝突後の水試料の回収率を測定した。衝突実験容器として、衝突蒸気雲の断熱膨張を可能とする十分な自由空間（625cc）をもつ SUS 製の容器を作成し、容器の上部に空気圧縮作動型のゲートバルブならびに手動開閉式ゲートバルブを装着した（図 1）。衝突実験は宇宙航空研究開発機構（JAXA）の垂直型二段式系ガス銃を用いた。プロジェクトルとして直径 4.7 mm のポリカーボネート（ $\rho=1.2\text{g/cc}$ ）を用い、6km/s で容器に封入した水と鉄のターゲットに衝突させた。2.5mm、5mm、20mm の 3 つの水位で実験を行った。

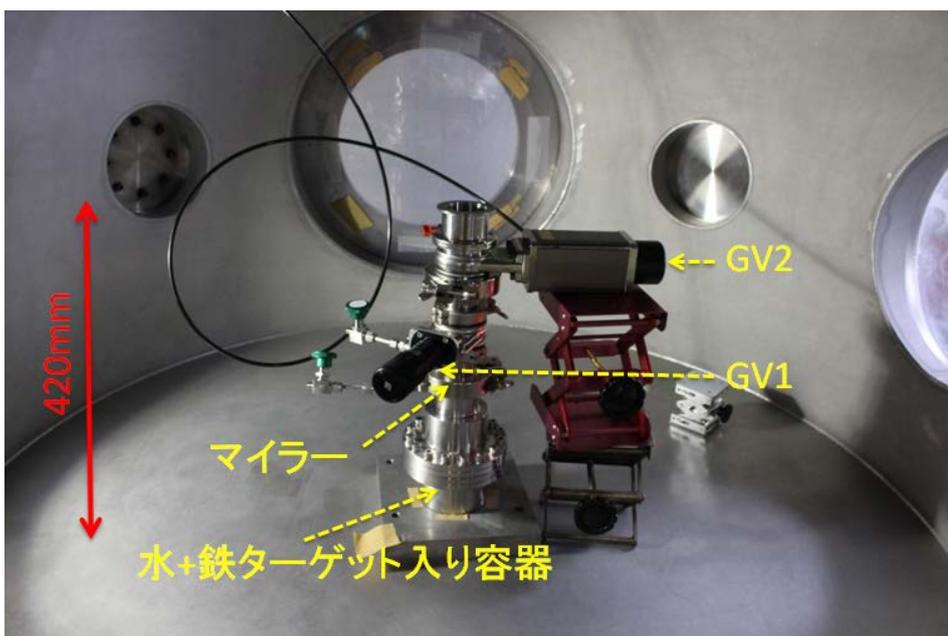


図1、ポリカーボネート－水間衝突実験の実験系

3、実験結果と解釈

含水条件下での衝突で形成されたクレーターは無水条件下での衝突で形成されたクレーターの直径(10mm)と比べて、小さかった(図2)。また、クレーターの直径は水位が高くなるにつれて小さくなり、水位20mmの時にはクレーターは形成されなかった。この結果から、同じ組成の天体が海洋に衝突したとしても、衝突天体のサイズによって衝突反応に関与する物質組成が大きく異なることが示唆された。天体サイズが小さい場合、衝突天体は海洋底に到達せず、海水や大気の成分との間で化学反応が起きると推測された。逆に天体サイズが大きい場合、衝突天体は海洋底に到達し、海水や大気の成分に加えて海洋地殻成分との間でも化学反応が起きると推測された。

実験後の水の回収率は16%から36%であった。水の回収率が低かった原因として、3つの可能性が考えられる。

1. ゲートバルブの閉まる時間は数秒程度であったのに対して、水の容器上部への飛散は100ミリ秒以内に終わったため、水の保持にバルブが十分機能しなかった。
2. 実験におけるマイラー膜と水面の距離は20cmであったが、上の衝突条件では十分離れていなかった。その結果、プロジェクトイルとの衝突で飛散した液体の水粒子がポリエステルのマイラー膜に多数衝突し、マイラー膜が裂けたことで、容器外部への水の流出が助長された(図2)。
3. 容器内部の気圧は1000kPaであったのに対して、容器外部の気圧は1kPaであったために、圧力差によって水の流出が助長された。

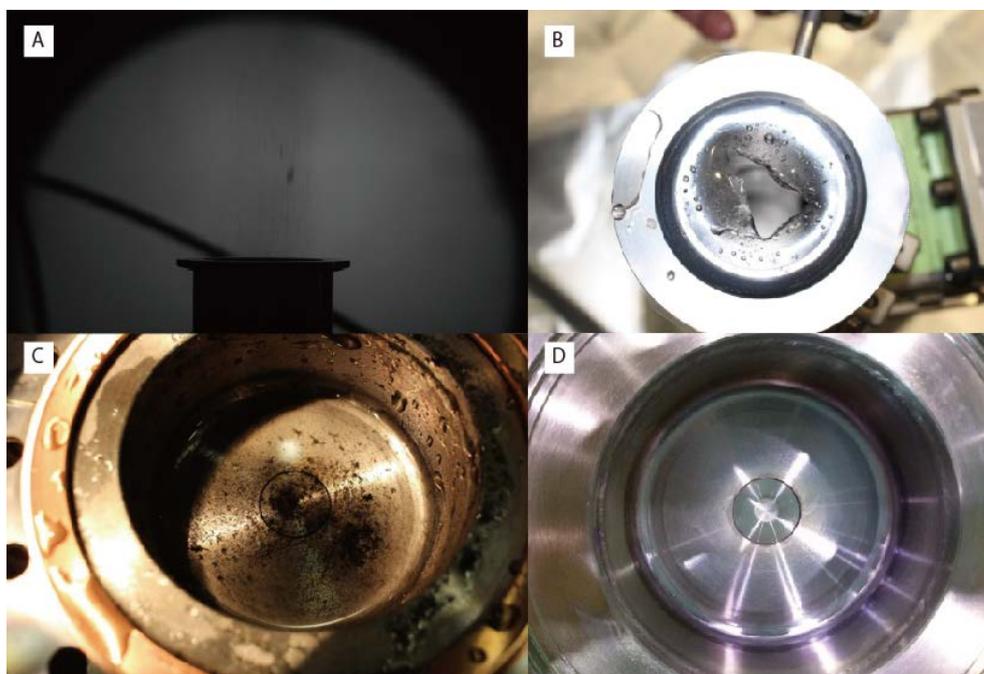


図2、A)超高速カメラで撮影した、水に飛翔体が衝突した時の容器直上部の様子。マイラー膜の断片と思われる物体が上方へ飛散している。B)実験終了後のマイラー膜。C)実験終了後に容器内部に残った水とポリカーボネート飛翔体の残骸。D)金属鉄の標的に形成されたクレーター(直径7mm)。

4、今後の課題

1. 多様な衝突速度の条件で実験を行い、水位とクレーターの直径の関係を明らかにすることで、海洋地殻に到達する衝突天体のサイズを推定するための経験則を構築する。
2. プロジェクトイルが水中に侵入した時の挙動を超高速カメラで観察するため、ガラス窓がついた実験容器を作成する。
3. 衝突実験終了後の水試料の回収率を上げるため、マイラー膜を水面から1メートル以上離れた場所に取り付けられる実験系の構築をおこなう。

5、引用文献

- 1 Botke, W. F. *et al.* An Archaean heavy bombardment from a destabilized extension of the asteroid belt. *Nature* **485**, 78-81 (2012).
- 2 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).
- 3 Ohtomo, Y., Kakegawa, T., Ishida, A., Nagase, T., Rosing, M. T. Evidence for biogenic graphite in early Archaean Isua metasedimentary rocks. *Nature Geosci* **7**, 25-28, (2014).
- 4 Furukawa, Y., Sekine, T., Oba, M., Kakegawa, T. & Nakazawa, H. Biomolecule formation by oceanic impacts on early Earth. *Nature Geosci* **2**, 62-66 (2009).
- 5 Furukawa, Y., Nakazawa, H., Sekine, T., Kobayashi, T. & Kakegawa, T. Nucleobase and amino acid formation through impacts of meteorites on the early ocean. *Earth and Planetary Science Letters* **429**, 216-222, (2015).