

シリカエアロゲルによる超高速ダスト捕獲実験

田端 誠¹, 長谷川 直²

¹千葉大学 大学院理学研究院, ²宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

Hypervelocity dust capture experiments using ultralow-density silica aerogel

Makoto Tabata¹, Sunao Hasegawa²

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

1. 研究背景

複数の外惑星衛星や準惑星において、主に潮汐作用によると考えられる内部物質の宇宙空間への断続的な噴出現象が、探査機や望遠鏡観測により確認または示唆されている。ダストテイルを有する彗星に対してだけでなく、このようなダストプレームを伴う衛星や準惑星に対しては、探査機によるフライバイ航行により無着陸でダスト粒子のサンプルリターンを目指すことができる。近年、アストロバイオロジー分野のみならず、惑星系形成論の観点からもリターンサンプルの詳細分析の重要性はますます高まっている。我々は、ミクロンサイズのダスト粒子を軌道上の超高速の環境において、鉱物学、および生化学的に分析可能な程度に非破壊で捕獲する材料と、それを利用した飛翔体搭載用サンプラーの開発を進めてきた。日本初の軌道上アストロバイオロジー実験「たんぽぽ」¹⁾および「たんぽぽ 2」では、 10 mg/cm^3 という超低密度を有する独自開発のシリカエアロゲル材²⁾について、疎水性および親水性という異なる表面化学修飾状態における機能実証を国際宇宙ステーションの船外曝露部において実施してきた。また、技術実証に留まらず、地球低軌道において長期間にわたって

捕集された多数の惑星間塵候補粒子や微小人工デブリの科学分析を進めている。本研究は、将来の深宇宙（月・惑星領域）探査を想定し、世界最高の低密度性を有する宇宙塵捕集材シリカエアロゲルのさらなる低密度化と物性制御により、超々高速度捕獲に際する高性能化を目的としている。

2. 研究手法

新開発エアロゲル材への宇宙塵模擬粒子撃ち込み実験により、その有効性と機能を検証する。宇宙空間における宇宙塵のような超高速ダストが捕獲材エアロゲルへ衝突する過程を室内で模擬するために、宇宙科学研究所の横型（水平発射型）の二段式軽ガス銃を利用した。粒径の揃ったガラスビーズをダスト模擬粒子とし、適量をサボに詰めて射出する散弾ショット方式でエアロゲルへ撃ち込んだ。

ガラスビーズの粒径を 10、20、および 30 μm の 3 通りとし、射出（衝突）速度は 2、4、および 6 km/s の 3 通りとした。粒径と衝突速度の掛け合わせで全 9 通りの実験条件となる。エアロゲルは新たに製作した密度 5 mg/cm^3 のブロックに加え、たんぽぽ実験で実績のある 10 mg/cm^3 の密度のものを使用した。二種類のエアロゲルブロックをホルダーに格納し、真空引きした標的チャンバーに設置した。衝突によりエアロゲルの内部に形成された粒子の貫入痕（衝突トラック）、および捕獲粒子を目視、およびデジタルマイクロスコップで観察した。

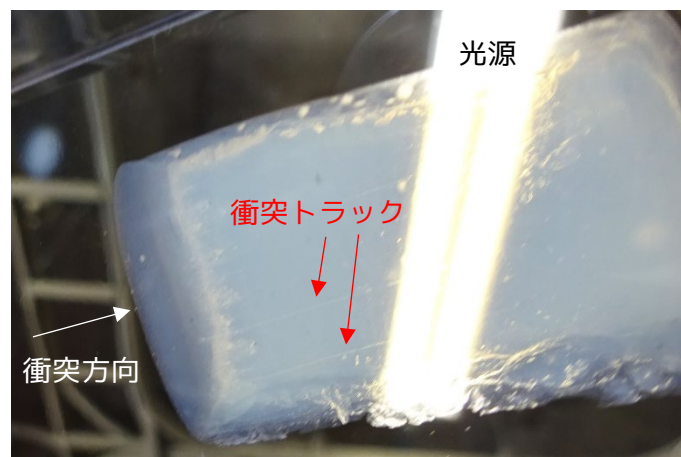


図 1: 粒子撃ち込み実験においてエアロゲルに形成された衝突トラック。

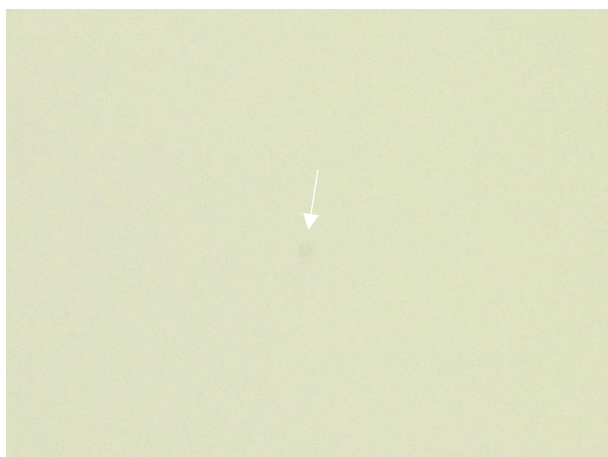


図 2: エアロゲル内部に捕獲された粒径 20 μm のガラス粒子。矢印で示された粒子に対して紙面左側に衝突トラックが存在するが、本画像では識別が難しい。

3. 実験結果

九通りの衝突条件で粒子を撃ち込んだ全てのエアロゲルにおいて衝突トラックが形成されていることを目視で確認した。粒径 20 μm のガラスビーズを速度 2 km/s で撃ち込んだことにより、密度 5 mg/cm^3 のエアロゲルに形成された衝突トラックを図 1 に示す。これらの衝突トラックをエアロゲルブロックの外部からデジタルマイクロスコープで観察した結果、捕獲された 20 μm の粒子の撮像に成功した(図 2)。ガラス粒子は比較的強度が大きいこともあり、衝突捕獲による大きな欠損は見られなかった。

今後、デジタルマイクロスコープによる衝突トラックの識別と撮像を進め、衝突条件とトラック形状の相関を議論している先行研究³⁻⁵⁾と比較することで捕獲材エアロゲルの性能を評価していく。

謝辞

本研究は JAXA 宇宙科学研究所の超高速衝突実験施設の共同利用研究課題として実施しました。また、住友財団の基礎科学研究助成の支援を受けています。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) A. Yamagishi et al., "Scientific targets of Tanpopo: Astrobiology exposure and micrometeoroid capture experiments at the Japanese Experiment Module Exposed Facility of the International Space Station," *Astrobiology* 21 (2021) 1451–1460.
- 2) A. Yamagishi et al., "Four-year operation of Tanpopo: Astrobiology exposure and micrometeoroid capture experiments at the JEM Exposed Facility of the International Space Station," *Astrobiology* 21 (2021) 1461–1472.
- 3) 田端誠, 長谷川直, "超高速微粒子衝突捕獲による超低密度二層型シリカエアロゲルの応答 (第3報)," 平成 31 年度宇宙科学に関する室内実験シンポジウム講演集, 2020, SA6000149031.
- 4) 田端誠, 長谷川直, 小野瀬直美, "宇宙塵模擬粒子によるシリカエアロゲルへの超高速衝突トラックの形態解析: ターゲット密度依存性 (第2報)," 平成 23 年度スペースプラズマ研究会講演集, 2012, SA6000079008.
- 5) R. Niimi et al., "Size and density estimation from impact track morphology in silica aerogel: Application to dust from comet 81p/Wild 2," *Astrophys. J.* 744 (2012) 18.