

たんぽぽ計画：全宇宙曝露試料の帰還と資料解析の現状

○山岸明彦(東薬大, JAXA), 橋本博文(JAXA/ISAS), 矢野 創(JAXA/ISAS), 横堀伸一(東薬大), 河口優子(東薬大), 小林憲正(横国大), 三田 肇(福工大), 藪田ひかる(広大), 東出真澄(JAXA), 田端 誠(千葉大), 河合秀幸(千葉大), 今井栄一(長岡技科大)

Current status and initial analysis of all the exposure sample returned to the ground in Organics/Microbe Space Exposure and Micrometeorite/Microbe Capture Experiment (Tanpopo)

Akihiko Yamagishi^{1,2)}, Hirofumi Hashimoto²⁾, Hajime Yano²⁾, Yuko Kawaguchi³⁾, Shin-ichi Yokobori¹⁾, Kensei Kobayashi⁴⁾, Hajime Mita⁵⁾, Hikaru Yabuta⁶⁾, Masumi Higashide⁷⁾, Makoto Tabata⁸⁾, Hideyuki Kawa⁹⁾, and Eiichi Imai⁹⁾

¹⁾Tokyo Unive, sity of Pharmacy and Life, ²⁾ISAS/JAXA, ³⁾Chiba Institute of Technology, ⁴⁾Yokohama National University, ⁵⁾Fukuoka Institute of Technology, ⁶⁾Hiroshima University, ⁷⁾JAXA, ⁸⁾Chiba University, ⁹⁾Nagaoka University of Technology.

*Tokyo Univ. Pharm. Life Scie., Horinouchi, Hachioji-shi, Tokyo 192-0392 JAPAN
E-Mail: yamagish@toyaku.ac.jp

Abstract: We proposed Tanpopo mission to examine possible interplanetary migration of microbes, and organic compounds at the Exposure Facility of Japan Experimental Module (JEM: KIBO) of the International Space Station (ISS). We are testing the panspermia hypothesis, which proposes the interplanetary transfer of life. We are also testing if the organic compound may be transferred from space before the origin of life on the earth.

We have developed two types of apparatus used for Tanpopo mission: Capture Panels for aerogel to capture micro-particles and Exposure Panels for exposure of microbes and organic materials. Each Capture Panel contains a silica aerogel block in an aluminum mesh container. Silica aerogel, which is the lowest density solid material, is used to capture micro particles, which may include, micrometeorite, artificial space debris and earth-originated natural particles. We are analyzing if the particles contain terrestrial microbial cells or not, and if the micrometeorite contains organic compounds or not.

Tanpopo apparatus was launched in April 2015. The Panels were placed on the Exposed Experiment Handrail Attachment Mechanism (ExHAM) in the ISS. The ExHAM with Panels were placed on the Exposure Facility of KIBO (JEM) with the Japanese robotic arms through the airlock of KIBO in May 2015. The first set of Capture Panels and an Exposure Panel were retrieved in June 2016, returned to JAXA in September 2016. The second set of Capture Panels and an Exposure Panel were detached in July 2017 and returned to JAXA in October 2017. The third set were detached in June 2018, the Exposure Panel and the Capture Panels were returned to JAXA in September 2018 and in February 2019, respectively.

Exposure Panel was separated into Exposure Units, each harboring either microbe or organic compound, which was handed over to the scientist in charge of each microbe or organic compound. Some of the Units were dedicated to the UV or radiation dose measurement.

Each aerogel block of each Capture Panel was examined for the particles captured and the tracks made upon the impact. We have identified more than 300 tracks larger than 0.1 mm. They were extracted from the aerogel block and handed over to the scientists. The analyses include, fluorescence microscopic inspection to test if there are microbial cells or not. Particles and tracks will be used for the mineral analysis as well as the analysis of organic compounds.

Key words; Space experiment, International Space Station, Microbe, Organic materials.

1. はじめに：研究の目的

「たんぽぽ計画」では、生命の起源にかかわる二つ

の課題を検証する^{1, 2, 3)}。一つは、生命の起原以前の地球上での有機物の蓄積である。生命の誕生以前に

有機物が無生物的に合成されて、地球表面に蓄積されたであろうと推定されている。様々な条件で原始地球環境での無生物的有機物合成の実験が行われた。こうした実験によれば、アミノ酸や有機酸などの有機物は無生物的に合成されるものの、その合成量は大気組成によって大きく異なる。つまり、原始大気組成によっては地球上で十分な量の有機物が構成されなかった可能性がある。一方、有機物の起源として宇宙で合成された有機物が地球表層に到達した可能性がある。これまでも南極や成層圏で宇宙塵を採集し、その分析が行われている。しかし、宇宙塵を地球由来物質の混入無しに手に入れることは難しい。そこで、国際宇宙ステーション上で宇宙塵の採集を行う。

もう一つがパンスペルミア仮説である。パンスペルミア仮説とは、宇宙空間を生命が漂い、惑星間を移動するのでは無いかという仮説である。これまで、ESA のグループは微生物が岩石中で紫外線から保護されれば、宇宙空間を移動できるのでは無いかというリソパンスペルミア仮説を提唱してきた。我々は、微生物の塊（バイオフィーム）であれば、岩石中だけでなく宇宙空間を移動できるのでは無いかと考え、国際宇宙ステーション上で微生物を採集することによって、この高度での微生物の存在可能性を検討する。また、もし微生物が宇宙空間を移動可能であるとして、どの程度の時間生存できるのかという点を、微生物を宇宙環境に曝露する事によって調べる。

2. 研究方法

たんぼぼ計画では2種類の実験装置を用いている。捕集パネルと曝露パネルである。捕集パネルはジュラルミンのケース(10 cm x 10 cm x 2 cm)に二重構造のシリカエアロゲルが収められている。シリカエアロゲルは二酸化ケイ素でできた超低密度の固体である。宇宙空間を移動する高速の微粒子を捕捉するためには衝突時の変性をできる限り抑える必要がある。「たんぼぼ計画」では0.01 g/cm³という超低密度のエアロゲルを用いることによって、衝突時の微粒子の変性を極力抑えることを目指している。このエアロゲルは振動や圧力変化に多少弱いので、外側を3倍の密度のエアロゲルで囲って壊れないようにしている。



Fig. 1. The Capture Panel for Tanpopo.

曝露パネルは、10 cm×10 cm×2 cm の大きさで、20 個の曝露ユニットで構成されている。個々の曝露ユニットには微生物あるいは有機物が保持されている。窓の無い曝露ユニットには放射線測定素子が入っている。微生物ユニットでは、MgF₂あるいは石英の窓材の下に穴を開けたアルミニウム板が固定されている。微生物はアルミニウム板にあけた直径 2 mm の穴に詰め込んで真空の宇宙で太陽光にさらした。アルミニウム板は 2 枚あり、裏側のアルミニウム板には太陽光はあたらぬ様になっている。宇宙では裏側の SUS メッシュと通気口から微生物試料は宇宙真空に繋がっている。



Fig. 2. The Exposure Panel for Tanpopo.

2015 年 4 月たんぼぼ計画の捕集パネル 36 枚と曝露パネル 3 枚をスペース X 社のロケットで打ち上げた。国際宇宙ステーションに到着した装置はいったん保管庫に保管された。捕集パネルと 3 枚の曝露パネルは ExHAM に固定され、5 月から宇宙空間での曝露が開始された。約 1 年後 2016 年 6 月に ExHAM は宇宙空間から宇宙船内に取り込まれて、捕集パネルと曝露パネルは 8 月に地上帰還、アメリカ航空宇宙局 (NASA) の基地を経て 9 月に日本に戻ってきた。ExHAM には新たに捕集パネルが取り付けられて 2016 年 6 月に再度曝露が開始された。その約 1 年後 2017 年 7 月に 2 年目の捕集パネルと 2 年間曝露した曝露パネルが取り外され、9 月に地上帰還、10 月に日本に帰還した。2018 年 7 月に 3 年目の捕集パネルと 3 年間曝露した捕集パネルが外され、捕集パネルは 8 月に地上帰還、9 月に日本に帰還した。3 年目の捕集パネルは 2019 年 2 月に日本に帰還した。

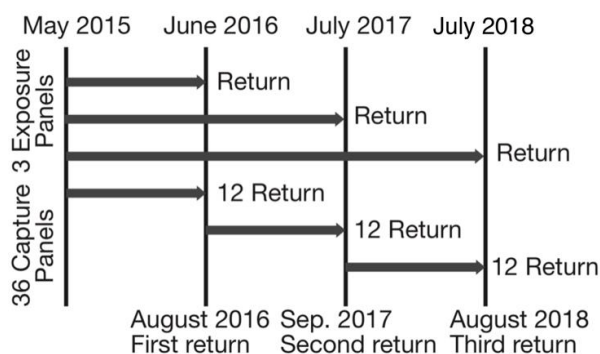


Fig. 3. Approximate schedule of Tanpopo.

2. 現状と結果

これまでに 36 枚の捕集パネル全てが、地上帰還している。捕集パネルからエアロゲルを取り出し、透明プラスチック容器に移し替え、エアロゲル表面を顕微鏡で観察して、高速で衝突してきた微粒子の痕（0.1 mm よりも大きい痕）が 300 個以上見つかった。衝突痕を周辺部を含めてエアロゲルから切り出して、日本の多数の研究者が分析をすすめている。

1 年間宇宙空間に曝露した放射線耐性菌と乾燥耐性菌は、微生物の塊が小さい（0.1 mm）と死滅していた。しかし 0.5 mm より大きい塊の微生物は約 1 年後、太陽光が当たっていても生存していた⁴⁾。1 年間宇宙空間曝露した *Deinococcus aetherius* の生存、放射線量と紫外線量、温度変化については報告した⁴⁾。すでに 2, 3 年間曝露した試料が帰還して現在解析中である。それらの微生物の生存率を 1 年目と比較することで、微生物が何年くらい宇宙空間で生きていられるかが明らかになると予想している。

参考文献

- 1) Yamagishi, A., Yano, H., Okudaira, K., Kobayashi, K., Yokobori, S.-I., Tabata, M., and Kawai, H.: TANPOPO: Astrobiology Exposure and Micrometeoroid Capture Experiments, *Biol. Scie. Space*, **21**: 67-75, (2007).
- 2) Yamagishi, A., Yokobori, S.-I., Hashimoto, H., Yano, H., Higashide, M., Tabata, M., Imai, E., Yabuta, H., Kobayashi, K., and Kawai, H.: Tanpopo: Astrobiology Exposure and Micrometeoroid Capture Experiments— Proposed experiments at the Exposure Facility of ISS-JEM. *Trans. Jpn. Soc. Aeronaut. Space Sci. Aerospace Tech. Jpn*, **12**, pp. Tk_49-Tk_55, (2014).
- 3) Kawaguchi, Y., Yokobori, S.-I., Hashimoto, H., Yano, H., Tabata, M., Kawai, H., and Yamagishi, A.: Investigation of the interplanetary transfer of microbes in the Tanpopo Mission at the Exposed Facility of the International Space Station, *Astrobiology*, **16**: 363-376, (2016).
- 4) Yamagishi, A., Kawaguchi, Y., Hashimoto, H., Yano, H., Imai, E., Kodaira, S., Uchihori, Y. and Nakagawa, K. Environmental data and survival data of *Deinococcus aetherius* from the Exposure Facility of the Japan Experimental Module of the International Space Station obtained by the Tanpopo Mission. *Astrobiology*, **18**: 1369-1374, (2018).