

たんぽぽ1および2における陸棲藍藻宇宙曝露実験

横谷香織（筑波大），木村駿太（JAXA），オン碧（筑波大），鴫田未来（筑波大），加藤浩（三重大），安部智子（東京電機大），橋本博文（JAXA），園池公毅（早稲田大），大森正之（東大），山岸明彦（東薬大），三田肇（福工大），たんぽぽ1,2メンバ

Space Experiments in cyanobacteria on Tanpopo 1 and 2 mission

Kaori Tomita-Yokotani*, Shunta Kimura, Midori Ong, Miku Tokita, Hiroshi Katoh, Tomoko Abe, Hirofumi Hashimoto, Kintake Sonoike, Masayuki Ohmori, Akihiko Yamagishi, Tanpopo member
 Univ. of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305-8572
 E-Mail: yokotani.kaori.fn@u.tsukuba.ac.jp

Abstract: The space exposure experiments in the Tanpopo 1 and 2 mission were performed on ISS. A terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01, was selected and used as a material at the experiments. *Nostoc* sp. HK-01 cells survived in a space environment on the inside and outside of the ISS with and without sunlight for more than 3 years (1126 days). The relationships between sunlight wavelength, cell layer, and cell survival were investigated in the Tanpopo2 mission. We confirmed that cell layer thickness and cell survival were closely related.

Key words; Cyanobacteria, *Nostoc* sp. HK-01. Space exposure experiment, International space station, Tanpopo mission.

1. はじめに

たんぽぽミッション（代表：東京薬科大学 山岸明彦）は、ISS-JEM（国際宇宙ステーション・日本実験棟）上での微生物の天体間の移動の可能性の検討と微小隕石の検出および生命の材料となり得る有機化合物の解析を目的に実験が行われた。

たんぽぽ1および2のミッションで、乾燥状態の陸棲シアノバクテリア*（陸棲藍藻）が宇宙環境に晒された（Fig.1）。その成果の中で、注目すべき事項について、部分的ではあるが、本稿で紹介する。選ばれた陸棲シアノバクテリア（*Nostoc* sp. HK-01）は、ミッションに先立つ地上実験において、真空、紫外放射線、重粒子線、γ線および乾熱に対して、高い耐性を具備することを確認している⁽¹⁾。たんぽぽ1ミッションに関する結果の一部は、2021年12月号の *Astrobiology* におけるたんぽぽミッションの特集号から引用した⁽²⁾。（*最近の学会論文表記を利用）。

2. 材料のシアノバクテリアとその曝露実験準備

過去の地球の大気酸化に貢献したシアノバクテリアは、圏外環境での生物機能を介した利用に最適で、現在の好気生物から考えると、極めて過酷な環境に耐性を備えた生物であると考えられる。この中の陸棲シアノバクテリアを本ミッションに採用した。

液体培養した細胞群の一部を自然乾燥させた後、各耐性試験に用いた（Fig.2）。この株の細胞は、乾燥状態で長期に生き残るのは Fig.1 に示す休眠細胞 *akinete* のみであることがわかっている。地上実験結果から、地球低周回軌道まであたりならば、*Nostoc* sp. HK-01 の休眠細胞は生存可能であろうと予測された。

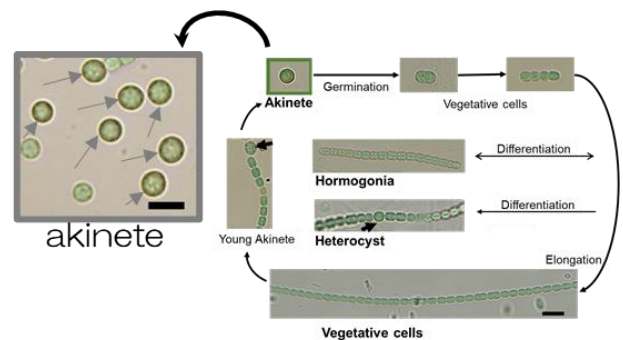


Fig.1 A terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01.

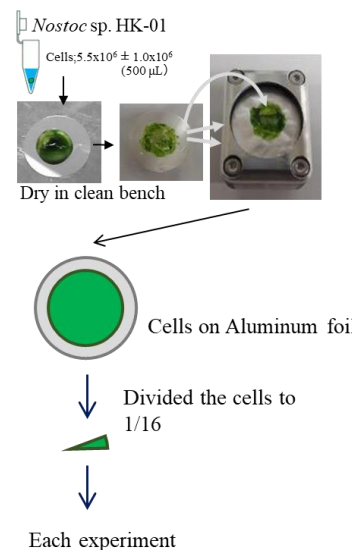


Fig. 2 Method of drying process of cells and photographs of materials.

先の地上実験で試された細胞の層の厚みは、およそ 200 μm であったが、層が重なると上側と下側で、均等に宇宙線を浴びることができない可能性や、帰還後の各種実験のための細胞数等を考慮し、実験可能な細胞数が得られる範囲内で、曝露試験のための細胞層の厚みは、約 25 μm となるように調整した。具体的には、Fig.2 に示すようにアルミホイルの上に乾燥藻体を載せ、帰還後に Fig.2 に示す形状で、各種実験試料を配分利用できるように準備した。曝露ホルダー内に、シアノバクテリア細胞を載せたアルミシートをホルダー遮光側に 2 枚、窓側に 1 枚備えられるように設計した⁽²⁾。

3. たんぽぽ 1 ミッションにおけるシアノバクテリア生存の結果

3 年間のシアノバクテリア乾燥細胞の曝露試験が行われた。試料は 1 年ごとに帰還した。試料が帰還した都度、生存確認のほか、ここでは詳細を示さないが、光合成能、増殖能およびタンパク分子等の変化を確認した。

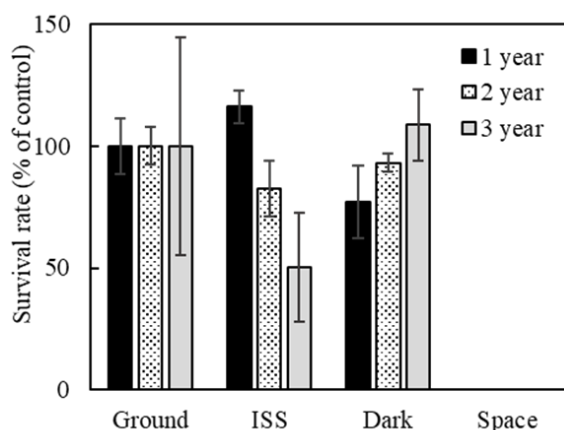


Fig. 3 Survival rates (% of control) of the cells by cell staining test. Survival rates in-ground control (Ground), inside the ISS (ISS), the dark side of space as the control in space (Dark), and window side in space (Space). Bars indicate average \pm SE.

生存細胞は、FDA (fluorescein diacetate) 染色法を用いて行った。Fig.3 は、地上対照の生存率を 100% として、他の環境の生存率と比較した結果を示す。宇宙遮光側において、3 年間曝露された細胞が、確かに生存していることを示す。一方、Fig.3 のグラフ中で生存を示さない宇宙窓側の細胞において、FDA 染色による生存細胞の観察中に、明らかな蛍光を示す生存細胞を複数視野確認している。これらは、細胞層の厚さに関連している可能性が予測された。

これらの結果は、シアノバクテリア *Nostoc* sp.HK-01 の乾燥状態の細胞は、地上から ISS 低周回

軌道程度の宇宙までの往來は可能であろうことを意味する。加えて本ミッションは、他生物やレゴリスなどを含まない純粋な光合成微生物として、最長の期間の宇宙環境曝露となった。

3. たんぽぽ 2 ミッションとその後の展望

たんぽぽ 2 ミッションにおいて、細胞層の厚さと生存について、窓側に波長フィルターを備えることで紫外線の波長の影響と併せて調べることができる (Table 1)。

Table 1 The window materials and the light pass wavelength (nm) using the cut filter.

Material	Window			
	MgF ₂	SiO ₂	SiO ₂ /Filter	SiO ₂ /Filter
Light pass	none	>110nm	>170nm	>400nm

これまでにたんぽぽ 1 の窓側も細胞層の厚さがあれば生存できる可能性について、支持する結果をたんぽぽ 2 で確実に得ている。おそらく、シアノバクテリアの細胞のみで、厚さの数字を表すのは我々のグループが初めてになる。加えて、少なくとも紫外放射線を遮蔽することで、高い生存率が得られることも確認した。

現在、たんぽぽ 3 が進行中である。これらは、どちらかというとも将来の有人宇宙活動の方向に向けた内容である⁽³⁾。過酷環境における生物が具備する機能を介した閉鎖生態系の構築に、本ミッションから得られる成果は、高く貢献できると期待する。

参考文献

- 1) Tomita-Yokotani, K., Kimura, S., Ong, M., Ajioka, R., Igarashi, Y., Fujishiro, H., Katoh, H., Hashimoto, H., Mita, H., Yokobori, S. and Ohmori, M. (2020) Tolerance of dried cells of a terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp. HK-01 to temperature cycles, heavy-ion beams, ultraviolet radiation (172 and 254 nm), and gamma rays: Primitive analysis for space experiments. *Eco-Engineering*, **32**: 47-53.
- 2) Tomita-Yokotani, K., S. Kimura, M. Ong, M. Tokita, H. Katoh, T. Abe, H. Hashimoto, K. Sonoike, & M. Ohmori (2021) Investigation of *Nostoc* sp. HK-01, cell survival over three years during the Tanpopo Mission. *Astrobiology* **21** 1506-1514.
- 3) Arai M, Tomita-Yokotani K, Sato S, et al. (2008) Growth of terrestrial cyanobacterium, *Nostoc* sp, on martian regolith simulant and its vacuum tolerance. *Biological Science in Space* **22**:8-17.