

令和元年6月24日現在

機関番号：32503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K17840

研究課題名(和文) 国際宇宙ステーション上での微生物の宇宙空間移動可能性の検証

研究課題名(英文) Investigation of the Interplanetary Transfer of Microbes in the Tanpopo Mission at the Exposed Facility of the International Space Station

研究代表者

河口 優子 (KAWAGUCHI, Yuko)

千葉工業大学・惑星探査研究センター・研究員

研究者番号：00733990

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙実験「たんぽぽ」計画では国際宇宙ステーション上で微生物の捕集、曝露実験を遂行した。微生物の宇宙生存を調べるために、乾燥した放射線耐性菌Deinococcus属細菌を宇宙環境に曝し、地上にて生存率解析を行なった。500 $\mu$ m厚の微生物の凝集体は宇宙で1年間生存できることがわかった。2、3年間にわたり宇宙曝露した微生物は生存可能であった。1年間曝露で生存率は大きく低下するが、2、3年間曝露による生存率は1年間曝露の生存率とほぼ同等であった。地上コントロールサンプルと比較して1年間曝露で生存が下がった要因は、宇宙環境要因ではなく、サンプル調整過程や、保存時に生じた酸化損傷であることが推定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

微生物の曝露実験は数多く行われてきたが、これらの実験の全ては、1回だけ曝露であったため生存能力の時間依存性をみることはできなかった。本研究は、同一の場所で3年間曝露し、生存の時間依存性を解明し、長期生存率を推定できるようになる点が独創的な点であり、宇宙科学分野で重要な結果となる。

研究成果の概要(英文)：The “panspermia” hypothesis proposes the interplanetary transfer of life propelled by solar radiation pressure. To investigate microbial survival and DNA damage induced in space, here we placed dried cells of the radioresistant bacteria Deinococcus spp. in aluminium plate wells in exposure panels attached to the outside of the International Space Station during Tanpopo mission for 1 and 2 years. Although dried deinococcal cells of 100- $\mu$ m thickness died, those of 500- $\mu$ m thickness were alive after 2 years of space exposure. By contrast, UV rays reached only the surface of bigger cell aggregates, and the dead surface cells protected the internal dried cells. Thus, cell aggregates of 500- $\mu$ m thickness had sufficient protection from UV and endured the space environment.

研究分野：アストロバイオロジー

キーワード：微生物 国際宇宙ステーション パンスペルミア

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生命が宇宙を移動するのではないかという仮説「パンスペルミア仮説(ラテン語で「パン」は広がり、「スペルミア」は種を意味する)」が約 100 年前、アーレニウスによって提唱された。400km 上空を周回している国際宇宙ステーション (ISS) では、「パンスペルミア仮説」を検証する実験が「たんぼぼ計画」が 2015 年から 2018 年まで実施された。「たんぼぼ計画」では、エアロゲルという超低密度媒体を用いた微粒子捕集を行っている本研究では ISS から帰還するエアロゲルの微生物の有無の検証を行う。宇宙での微生物存在の検証は世界で初めての独創的実験である。また、「たんぼぼ計画」では同時に地球の極限環境微生物を宇宙空間に曝露し、長期生存を調べた。

### 2. 研究の目的

パンスペルミア仮説検証のために、微生物が宇宙空間で長期生存可能かを検証する。また微生物の捕集実験を行い、軌道上での微生物存在を明らかにする。

### 3. 研究の方法

微生物の曝露実験では、放射線耐性菌 *Deinococcus* 属細菌の乾燥体を国際宇宙ステーション外部に、1、2、3 年間曝露し、地上にてコロニーカウント法による生存率測定を行なった。DNA 修復系遺伝子変異株の生存率を比較し DNA 損傷の蓄積を調べた。微生物の捕集実験では、ISS 船外部に曝露した、低密度エアロゲルの衝突痕を実体顕微鏡で調べた。

### 4. 研究成果

乾燥した放射線耐性菌 *Deinococcus* 属細菌を宇宙環境に曝し、地上にて生存率解析を行なった。500 μm 厚の微生物の凝集体は宇宙で 1 年間生存できることがわかった。2、3 年間にわたり宇宙曝露した微生物は生存可能であった。1 年間曝露で生存率は大きく低下するが、2、3 年間曝露による生存率は 1 年間曝露の生存率とほぼ同等であった。地上コントロールサンプルと比較して 1 年間曝露で生存率が下がった要因は、宇宙環境要因ではなく、サンプル調整過程や、保存時に生じた酸化損傷であることが推定された。また、宇宙環境では酸化損傷の要因となる酸素がなく、真空により生体内の水分が抜けることで、DNA 損傷の蓄積が抑えられると考えられた。宇宙曝露した DNA 修復系遺伝子変異株の生存率の結果から、紫外線により誘発される塩基損傷が最も深刻な生存率の低下要因であることがわかった。実験値を元に推定した生存曲線から、1mm の *Deinococcus* 属細菌の凝集体は宇宙空間で約 40 年間生存可能であることが推定された。パンスペルミア仮説を強く支持する結果である。共同研究者 Milojevic Tatyana 氏 (ウィーン大学)らにより、宇宙曝露した微生物のプロテオーム解析が行われた。酸化損傷修復に関するタンパク質や、TCA 回路に関するタンパク質の発現が増加していることがわかった。

約 1 年間にわたり ISS 線外部に曝露した低密度エアロゲルには、衝突痕が数 10 個観察された。これらの衝突痕をエアロゲルから切り出し、DNA に特異的な蛍光染色液を用いて微生物の有無を調べている。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 12 件)

1. Ott, E., [Kawaguchi, Y.](#), Özgen, N., Yamagishi, A., Rabbow, E., Rettberg, P., Weckwerth, W., Milojevic, T. . Proteomic and Metabolomic profiling of *Deinococcus radiodurans* recovering after exposure to simulated Low Earth Orbit vacuum conditions. *Frontiers in microbiology*, 10, 909.(2019) (査読有)
2. Kebukawa, Y., Okudaira, K., Yabuta, H., Hasegawa, S., Tabata, M., Furukawa, Y., Ito, M., Nakata, A., David Kilcoyne, A.L., Kobayashi, K., Yokobori, S., Imai, E., [Kawaguchi, Y.](#), Yano, H., and Yamagishi, A. STXM-XANES analyses of Murchison meteorite samples captured by aerogel after hypervelocity impacts: A potential implication of organic matter degradation for micrometeoroid collection experiments. *Geochemical Journal*. 53 (1), 53-67. (2019) (査読有)
3. 国際宇宙ステーション船外部を利用した微生物惑星間移動の検証:宇宙実験「たんぼぼ」, [河口優子](#), 月刊「細胞」, 10 (2019) (査読無)
4. Yamagishi, Y., [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 (11), 1369-1374 (2018). (査読有)
5. Satoh, K., Arai, H., Sanzen, T., [Kawaguchi, Y.](#), Hayashi, H., Yokobori, S., Yamagishi, A., Oono, Y., Narumi, I., Draft genome sequence of the radioresistant bacterium *Deinococcus aetherius* TR0125, isolated from the high atmosphere above Japan. *Genome Announcements* 6, e00080-18 (2018). (査読有)
6. 有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集 (たんぼぼ) 計画、山岸明彦, [河口優子](#), 横堀伸一, 橋本博文, 矢野創, 今井栄一, 田端誠, 小林憲正, 三田肇, 日本航空宇宙学会誌, 66(6), 173-179, (2018) (査読有)

7. 国際宇宙ステーション曝露部を利用した惑星間での微生物の移動検証 (たんぼぼ計画)、河口優子、日本航空宇宙学会誌、66(9)、263-266、(2018)(査読有)
8. 微生物の長期宇宙生存の科学的検証：宇宙実験「たんぼぼ」、河口優子、生物工学会誌、96(12)、693-694 (2018) (査読無)
9. 生物材料インデックス：研究室の片隅で生き物への愛を語る 世界で最も放射線に強い細菌 *Deinococcus radiodurans*、山岸明彦、河口優子、生物工学会誌、96(5)、295-297、(2018)、(査読無)
10. Ott, E., Kawaguchi, Y., Kölbl, D., Chaturvedi, P., Nakagawa, K., Yamagishi, A., Weckwerth, W., Milojevic, T., Proteometabolomic response of *Deinococcus radiodurans* exposed to UVC and vacuum conditions: initial studies prior to the Tanpopo space mission. PLoS One, 12(12) e0189381 (2017) (査読有)
11. Cottin, H., Kotler, J. M., Billi, D., Cockell, D., Demets, R., Elsaesser, P., d'Hendecourt, L., van Look, J., Martins, Z., Onofri, S., Quimm, R., C, Rabbow, E., Rettberg, P., Ricco, A., J, Slenzka, K., de la Torre, R., de Vera, J., Westall, F., Carrasco, N., Fresseau, A., Kawaguchi, Y., Kebukawa, T., Nguyen, D., Poch, O., Saiagh, K., Stalport, F., Yamagishi, A., Yano, H., Klamm, B., A, (2017) Space as a tool for astrobiology: review and recommendations for experimentations in Earth orbit and beyond. Space Science Reviews, 209 (1-4), 83-181. (査読有)
12. Kawaguchi Y., S., Yokobori, H., Hashimoto, H., Yano, M., Tabata, H., Kawai, and A., Yamagishi, (2016) Investigation of the interplanetary transfer of microbes in the Tanpopo mission at exposed facility of the International Space Station. Astrobiology, 16: 363–376. (査読有)

〔学会発表〕(計 17 件)

1. Kawaguchi, Y., Survival and DNA damage of *Deinococcus* spp. exposed to out-side of ISS in the Tanpopo mission, Cosmic Labo, March 2019, Chiba, Japan.
2. Kawaguchi, Y., Shibuta, M., Kinoshita, I., Hayashi, R., Yatabe, J., Narumi, I., Fujiwara, D., Hashimoto, H., Yokobori, S., Yamagishi, A. Survival and DNA damage of cell-aggregate of *Deinococcus* spp. exposed to space for two-years in Tanpopo mission. 18th European Astrobiology Network Association (EANA), Astrobiology Conference (EANA18), September 2018, Berlin.
3. Kawaguchi, Y., Hashimoto, H., Yokobori, S., Yamagishi, A., Shibuya, M., Kinoshita, I., Hayashi, R., Yatabe, J., Narumi, I., Fujiwara, Y., Survival and DNA damage of cell-aggregate of *Deinococcus* spp. exposed to space for two-years in Tanpopo mission. 42nd COSPAR Scientific Assembly. Held 14-22 July 2018, in Pasadena, California, USA, Abstract id. F3.1-5-18.
4. 河口優子、澁谷美緒、木下伊織、藤原大佑、矢田部純、林梨沙子、鳴海一成、橋本博文、横堀伸一、山岸明彦、宇宙空間での微生物凝集体長期存を検証 (たんぼぼ計画)、生命の起原および進化学会第 43 回学術講演会、2018/3、さいたま
5. 河口優子、澁谷美緒、林梨沙子、藤原大佑、矢田部純、谷口紀恵、青木元秀、鳴海一成、橋本博文、横堀伸一、山岸明彦。微生物の宇宙生存と DNA 損傷。第 18 回宇宙科学シンポジウム、2018/1、相模原
6. Kawaguchi, Y., Cell-aggregate of *Deinococcus* spp. in 500  $\mu\text{m}$  is sufficient enough thickens to survive in space for one-year exposure. Japanese Society for Biological Sciences in space, September 2017. (Invited talk)
7. Kawaguchi, Y., Kinoshita, I., Yatabe, J., Murano, Y., Fujiwara, D., Hayashi, R., Harada, M., Nakagawa, K., Narumi, I., Kodaira, S., Uchihiro, Y., Hashimoto, H., Yokobori, S., Yamagishi, A., 500  $\mu\text{m}$  cell-aggregate of *Deinococcus* spp. was sufficient to survive after one-year exposure on ISS orbit in Tanpopo mission. 17th European Astrobiology Network Association (EANA), Astrobiology Conference (EANA17) August 2017.
8. Kawaguchi, Y., Kinoshita, I., Yatabe, J., Murano, Y., Fujiwara, D., Harada, M., Nakagawa, R., Narumi, I., Kodaira, S., Uchihiro, Y., Hashimoto, H., Yokobori, S., Yamagishi, A., 500  $\mu\text{m}$  cell-aggregation of *Deinococcus* spp. was enough thickness to survive after 384 days exposure at ISS orbit in Tanpopo mission, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017/5, Chiba
9. 河口優子、微生物の惑星間移動の検証：たんぼぼ計画、生命科学系学会合同年次大会 (ConBio2017)、2017/12、神戸
10. 河口優子、たんぼぼ計画微生物実験、サイエンスアゴラ 2017 宇宙での生命と有機物探査：たんぼぼ計画とアストロバイオロジーの今後の展開、2017/11、東京
11. 河口優子、国際宇宙ステーション曝露部での微生物宇宙生存機構解析と採集実験、環境微生物系学会合同大会 2017、2017/8、仙台

12. 河口優子、たんぼぼ初年度試料の分析結果速報、アストロバイオロジー特別講演会「深海と深宇宙の生命探査」、2017/8、相模原
13. 河口優子、生命が宇宙を旅する、Keio Astrobiology Camp2017、2017/03、鶴岡
14. Kawaguchi, Y., Fujiwara, D., Kinoshita, I., Yatabe, J., Narumi, I., Aoki, M., Yokobori, S., Hashimoto, H., Nakagawa, K., Yamagishi, A., Survival and DNA Damages of *Deinococcus* spp. Caused by Space in Tanpopo Mission with the Ground-Based Experiments, 16th EANA Astrobiology Conference (EANA16), September 2016.
15. Kawaguchi, Y., Togashi, Y., Murano, Y., Narumi, I., Nakagawa, K., Yokobori, S., Yamagishi, A., Analysis of mutations of *rpoB* gene in *Deinococcus radiodurans* R1 exposed to simulated space conditions. Japan Geoscience Union (JpGU) Meeting, May 2016.
16. 河口優子、木下伊織、藤原大佑、矢田部純、鳴海一成、青木元秀、中川和道、橋本博文、横堀伸一、山岸明彦、模擬宇宙環境で生じた *Deinococcus* 属細菌の DNA 損傷の解明、アストロバイオロジーネットワーク 2016 年年会、仙台、2016.
17. 河口優子、横堀伸一、橋本博文、矢野創、富田横谷香織、林宣宏、鳴海一成、今井栄一、田端誠、河合秀幸、奥平恭子、佐々木聡、中川和道、山岸明彦、国際宇宙ステーション曝露部を利用した惑星間での微生物の移動検証、第 60 回宇宙科学技術連合講演会、函館、2016.

〔図書〕(計 1 件)

1. Panspermia Hypothesis: History of a Hypothesis and a Review of the Past, Present, and Future Planned Missions to Test This Hypothesis, Kawaguchi, Y., Astrobiology, Springer, Singapore, 419-428, (2019)

〔その他〕

1. 卒業研究論文『宇宙曝露した *Deinococcus* 属細菌の生存と DNA 損傷』、東京薬科大学生命科学部 極限環境生物学研究室、2016 年度、木下伊織.
2. 卒業研究論文『*Deinococcus radiodurans* R1 に宇宙で生じた DNA 損傷の定量 PCR による解析』、東京薬科大学生命科学部 極限環境生物学研究室、2016 年度、矢田部純.
3. 卒業研究論文『*Deinococcus radiodurans* R1 の突然変異』、東京薬科大学生命科学部 極限環境生物学研究室、2016 年度、藤原大佑.
4. 卒業研究論文『LC-MS/MS を用いた損傷核酸塩基の定量解析』、東京薬科大学生命科学部 生命分析化学研究室、2016 年度、谷口紀恵.
5. 卒業研究論文『*Deinococcus* 属 DNA 修復遺伝子変異株を用いた宇宙で生じる DNA 損傷の経時変化の解析』、東京薬科大学生命科学部 極限環境生物学研究室、2017 年度、澁谷美緒.
6. 卒業研究論文『長期乾燥耐性に関与するカロテノイドの探索』、東京薬科大学生命科学部 極限環境生物学研究室、2017 年度、林梨沙子
7. 卒業研究論文『HPLC-PDA-APCI-MS2 を用いた *Deinococcus* 属細菌に含まれるカロテノイドの分離分析』、東京薬科大学生命科学部 生命分析化学研究室、2017 年度、野呂幸佑
8. 修士学位論文『宇宙実験たんぼぼ計画で宇宙曝露した *Deinococcus radiodurans* R1 の DNA 損傷解析』、東京薬科大学生命科学部極限環境生物学研究室、2018 年度、矢田部純.
9. 修士学位論文『宇宙実験たんぼぼ計画で宇宙曝露した *Deinococcus radiodurans* R1 の *rpoB* 遺伝子突然変異解析』、東京薬科大学生命科学部極限環境生物学研究室、2018 年度、藤原大佑.

6 . 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名：ミロジェビク タチアナ(ウィーン大学)

ローマ字氏名：MILOJEVIC Tatyana (ウィーン大学)

研究協力者氏名：オット エマニュエル (ウィーン大学)

ローマ字氏名：OTTO Emanuel (ウィーン大学)

研究協力者氏名：山岸 明彦 (東京薬科大学生命科学部)

ローマ字氏名：YAMAGISHI Akihiko

研究協力者氏名：横堀 伸一 (東京薬科大学生命科学部)

ローマ字氏名：YOKOBORI Shin-ichi

研究協力者氏名：青木 元秀(東京薬科大学生命科学部)  
ローマ字氏名：AOKI Motohide

研究協力者氏名：矢田部 純 (東京薬科大学生命科学部)  
ローマ字氏名：YATABE June

研究協力者氏名：藤原 大佑 (東京薬科大学生命科学部)  
ローマ字氏名：FUJIWARA Daisuke

研究協力者氏名：谷口 紀恵 (東京薬科大学生命科学部)  
ローマ字氏名：TANIGUCHI Kie

研究協力者氏名：鳴海 一成(東洋大学生命科学部)  
ローマ字氏名：NARUMI Issay

研究協力者氏名：橋本 博文(JAXA)  
ローマ字氏名：HASHIMOTO Hirofumi

研究協力者氏名：矢野 創 (JAXA)  
ローマ字氏名：YANO Hajime

研究協力者氏名：奥平 恭子 (会津大学)  
ローマ字氏名：OKUDAIRA Kyoko

研究協力者氏名：中川 和道 (神戸大学)  
ローマ字氏名：NAKAGAWA Kazumichi

研究協力者氏名：田端 誠 (千葉大学)  
ローマ字氏名：TABATA Makoto

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。