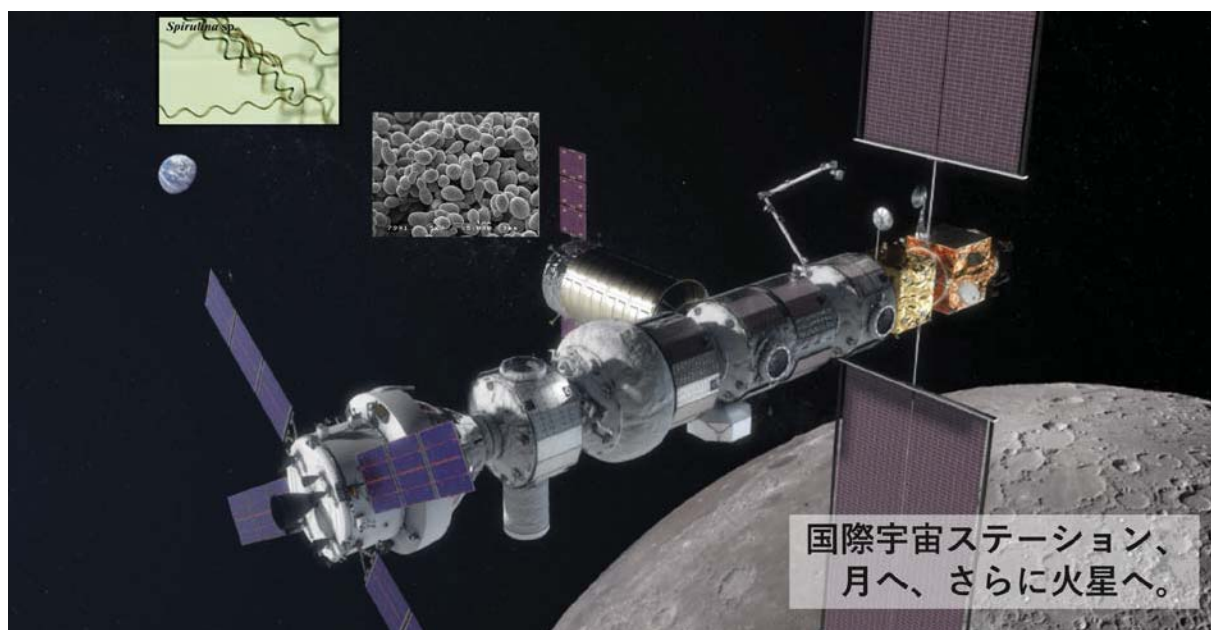


きぼう利用ミニワークショップ  
～宇宙微生物研究の成果と未来への展望～

プログラム/講演要旨



<https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/cislunar-update-gerstenmaier-crusan-v5a.pdf> より改変引用

- ・ 日時 : 2019 年 8 月 29 日 (木) 13:00～17:00
- ・ 場所 : 日本橋ライフサイエンスビルディング 201 会議室  
<https://www.nihonbashi-lifescience.jp/building/>
- ・ 主催 : JAXA、宇宙微生物研究会

## －アクセス－



日本橋ライフサイエンスビルディング

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町 2-3-11

東京メトロ銀座線・半蔵門線「三越前」駅 A6 出口より徒歩 3 分

JR 総武線「新日本橋」駅 5 番出口より徒歩 2 分

JR 山手線・京浜東北線・中央快速線「神田」駅南口より徒歩 11 分

JR 山手線・京浜東北線・中央快速線「東京」駅日本橋口より徒歩 13 分

## －プログラム－

総合司会：梅村さや香 JAXA きぼう利用センター

時間	内容	頁
13:00-13:05	開会挨拶 小川 志保（JAXA きぼう利用センター）	-
13:05-13:15	これまでの宇宙微生物研究 大森 正之（東京大学名誉教授）	3
13:15-14:30	きぼう船内での微生物実験の成果（座長：槇村 浩一 帝京大学） 一條 知昭（大阪樟蔭女子大学） 佐藤 一朗（帝京大学） 杉田 隆（明治薬科大学）	4-5
14:30-15:00	微生物船外曝露実験の成果（座長：稲富 裕光 JAXA 宇宙科学研究所） 山岸 明彦（東京薬科大学名誉教授） 木村 駿太（東京大学/日本学術振興会特別研究員）	6-7
15:00-15:15	休憩	-
15:15-16:30	これからの宇宙微生物研究の展望（座長：石岡 憲昭 JAXA 名誉教授） 山崎 丘（帝京大学） 坂下 哲也（JAXA きぼう利用センター） 太田 寛行（茨城大学） 布施 哲人（JAXA 宇宙探査イノベーションハブ） 中原 剣（株式会社ちとせ研究所） 嶋津 徹（日本宇宙フォーラム）	8-11
16:30-16:50	超長期宇宙滞在時代の宇宙微生物研究（座長：大森 正之 東京大学 名誉教授） 那須 正夫（大阪大谷大学）	12
16:50-16:55	閉会挨拶 込山 立人（JAXA 宇宙飛行士健康管理グループ）	-

## － 講演要旨 －

### 1. これまでの宇宙微生物研究

大森正之（東京大学名誉教授）

国際宇宙ステーションへの「きぼう」の打ち上げにともない、私たち宇宙微生物研究班は、2007年から「国際宇宙ステーション内における微生物動態に関する研究（Microbe-I）を開始した。研究の目的は、宇宙居住空間におけるヒトと微生物の関係を理解し、お互いが共生していくための基礎的な知見を集積することであった。

そこで、まず2007年に打ち上げ直前の「きぼう」内の微生物をサンプリングした。通常の生物実験のタイム0の測定を行ったのである。その後Microbe-II, IIIと実験は継続された。2012年からは「宇宙居住の安全・安心を保証する「きぼう」船内における微生物モニタリング」（Microbe-IV）を実施している。その研究成果は今回のワークショップで発表されるが、宇宙居住環境における微生物の変遷をスタートから現在に至るまで、先端的微生物解析法を用いて途切れることなく、精緻に解析している国際的にも稀有な例であり、非常に高く評価されている。このような研究が成立したのは、JAXAの故松宮博士の尽力で2002年に第1回“The ISLSWG International Workshop on Space Microbiology”を東京の浜松町で開催したことに始まる地道な研究の積み重ねがあったからである。その後、第5回（2007年、東京）、第8回（2013年、大阪）と会議を開催し、国際的な研究のつながりを維持してきた。最近は、アストロバイオロジーの「たんぽぽ計画」でも微生物の宇宙曝露実験が取り上げられている。これらの研究を支えて下さった、JAXA きぼう利用センター、日本宇宙フォーラムに深く感謝したい。



第1回 ISLSWG International Workshop  
on Space Microbiology in TOKYO  
(2002年)



第5回 ISLSWG International Workshop  
on Space Microbiology in TOKYO  
(2007年)



第8回 ISLSWG International Workshop  
on Space Microbiology in OSAKA  
(2013年)



## 2. きぼう船内での微生物実験の成果（座長：榎村 浩一帝京大学大学院）

### 2.1 国際宇宙ステーション「きぼう」における細菌モニタリング

一條 知昭（大阪樟蔭女子大学 健康栄養学部）

宇宙居住環境は微小重力下かつ宇宙線に曝露される閉鎖環境であり、微生物はこのような特殊な環境にも適応する。これまでの研究により、宇宙居住環境ではヒトと微生物の関係が地上と比べて大きく変化すると考えられている。ヒトの免疫がストレス等で低下する一方、一部の細菌では病原性が高くなることなどが報告されている。したがって、将来の長期宇宙滞在における微生物学的な安全性を確保するためには、宇宙居住空間におけるヒトと微生物との関係を詳細に理解する必要がある。我々は JAXA と共同で 2009 年から国際宇宙ステーション「きぼう」船内における継続的な微生物モニタリング（実験名：Microbe）を実施してきた。その結果、「きぼう」船内は衛生微生物学的に適切に管理されていることがわかった。機器表面や空調機のフィルター等に存在する細菌の大部分がヒトの皮膚や腸内に常在する細菌であり、「きぼう」船内の細菌は宇宙飛行士に由来することを明らかにした。また物資とともに地上から持ち込まれた細菌も定着していることがわかった。一方、宇宙居住環境での細菌の生理状態についての知見は乏しく、現在実施中の Microbe-IV では細菌の生理活性に着目した検討を進めている。

本講演では、現在までに実施した宇宙実験から得られた成果に加え、地上応用についても紹介したい。

### 2.2 日本実験棟「きぼう」における真菌動態解析

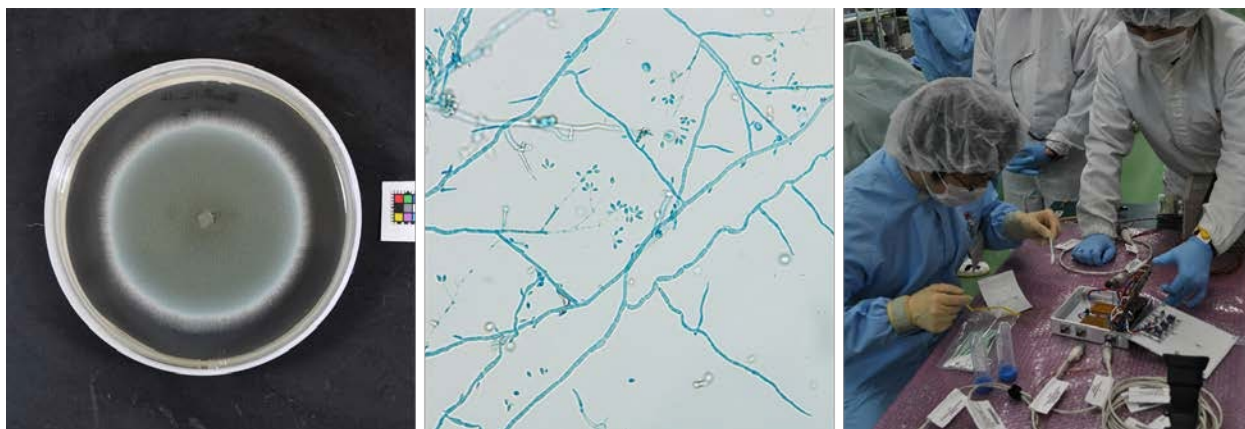
佐藤 一郎<sup>1</sup>、山崎 丘<sup>1,2</sup>、榎村 浩一<sup>1</sup>（<sup>1</sup>帝京大学大学院、<sup>2</sup>JAXA きぼう利用センター）

国際宇宙ステーション（ISS）に存在あるいは増殖した真菌が、機器の正常な稼働や宇宙飛行士の健康に影響を及ぼすことが懸念されている。そこで ISS 日本実験棟「きぼう」与圧部から運用開始後約 500 日（Microbe-I）、約 1000 日（Microbe-II）、約 1500 日時点（Microbe-III）それぞれにおける軌道上のサンプルを採取し、真菌の動態について解析した。Microbe-I において微生物検出シート（MDS）では培養による真菌の分離菌株は得られなかったが、クローンライブラリー法による解析ではヒトの常在真菌である *Malassezia* 属を優占とした真菌 DNA が検出された<sup>1)</sup>。引き続き、Microbe-II および III で得られたスワブから抽出した DNA を用いて、同様に解析を実施した結果、*Malassezia* 属以外にヒトが持ち込んだ各種の環境真菌の DNA が検出された。Microbe-II および III では、MDS から複数の真菌が分離培養された。MDS によって検出された真菌数(CFU)は回を重ねるごとに増加しており、きぼう与圧部で真菌が増加していることが示唆された。

きぼうやスペースシャトルで使用されていた機器からは *Penicillium* 属や *Aspergillus* 属などの環境真菌が分離された<sup>2)</sup>。これらの菌株での形態や薬剤感受性は地上で得られた既知の株と差異は認められなかった。分離菌には呼吸器疾患など健康へ悪影響をおよぼし得る菌種が含まれており、宇宙飛行士の健康を守るために微生物管理の重要性が増したと考えられる。

<sup>1)</sup> Satohetal. (2011) Microbiol.Immunol.,55,823-829.

<sup>2)</sup> Satohetal. (2016) Microbiol.Immunol.,60,295-302.



左：Multi Protocol Converter から分離された *Penicillium*  
 中：MPC から分離された *Sordariomycetes*  
 右：MPC からの分離作業

## 2.3 ISS に長期滞在する宇宙飛行士の皮膚マイクロバイオームの解析とその意義

杉田 隆、張音 実（明治薬科大学 微生物学研究室）

ISS 内は微小重力環境であるため入浴を行えない。そのため宇宙飛行士は身体をウェットタオル等で清拭している。ISS に 6 ヶ月間滞在した 10 名の宇宙飛行士の皮膚マイクロバイオームを経時的に解析したところ、ISS 滞在中の *Malassezia* 定着量は有意に上昇した。3D-クリノスタットを用いた地上実験では、*Malassezia* の lipase 活性は擬似的微小重力下でも変動しなかった。このことから ISS 滞在中の宇宙飛行士は *Malassezia* の栄養源である皮脂が増加している可能性が考えられた。また、マイクロバイオームの多様性は低下した。ISS は完全な閉鎖空間であるため、環境微生物の曝露を受けづらくなっているためと考えられる。*Malassezia* 定着量の増加と多様性の低下の事象が超長期の宇宙飛行を行う宇宙飛行士の健康にどのような影響があるか十分な議論が必要である。



*Malassezia restricta*

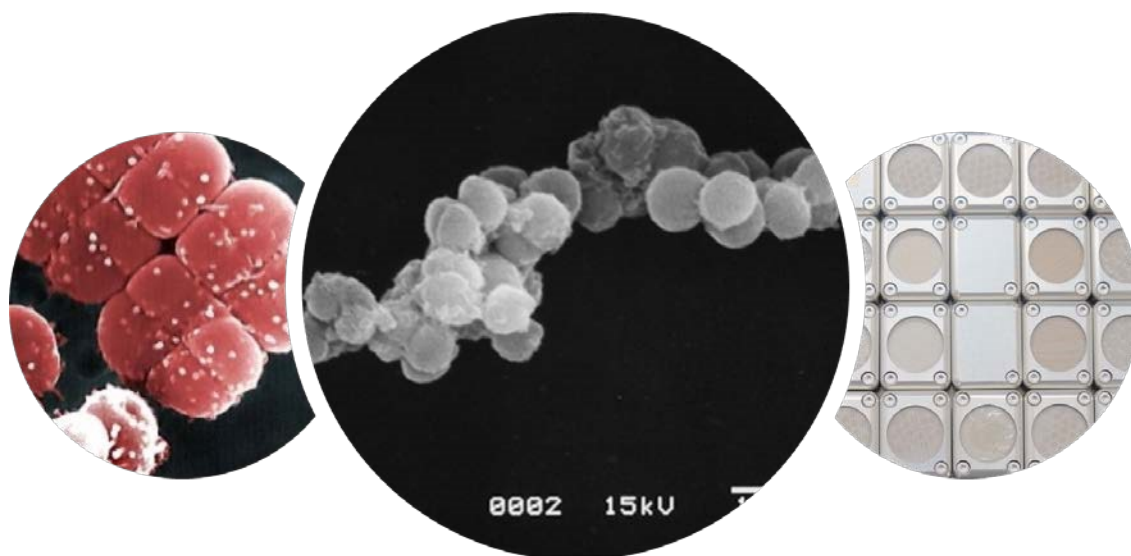
### 3. 微生物船外曝露実験の成果（座長：稲富 裕光 JAXA 宇宙科学研究所）

#### 3.1 国際宇宙ステーションでの微生物曝露実験「たんぼぼ」

山岸 明彦（東京薬科大学名誉教授）

生命の起源に関して様々な研究が行われている。地球生命の起源は地球であると広く信じられているが、実はその証拠はない。今から 100 年以上前、Arrhenius は微生物の孢子が宇宙空間を移動するという説を提唱した。この説はパンスペルミア仮説と呼ばれている。欧州およびロシアの研究者たちはこれまで、パンスペルミア仮説に関する実験をおこない、岩などに保護された状態であれば微生物が長期間生存可能であるという結果を得た。この仮説は岩を意味するリソを冠して、リソパンスペルミア仮説と呼ばれている。われわれは、微生物が塊で移動することをマサパンスペルミアと名付けた。マサは塊を意味している。われわれは国際宇宙ステーションで微生物曝露実験をおこなった。

実験材料として、放射線や紫外線、乾燥に対して高い耐性をもつ真正細菌 *Deinococcus radiodurans* を用いた。*D.radiodurans* の懸濁液をアルミ製試料板にあけた深さ 2mm の穴に充填して乾燥させたものを宇宙空間で曝露した。菌の塊では表面の菌体は死滅するが、それが下層の菌体を遮蔽して、0.5mm 以上の厚みをもつ菌の塊では 1 年後の生存が確認された。菌体から調整した DNA の損傷解析や、変異株の比較を行い、宇宙生存の機構を解析した。



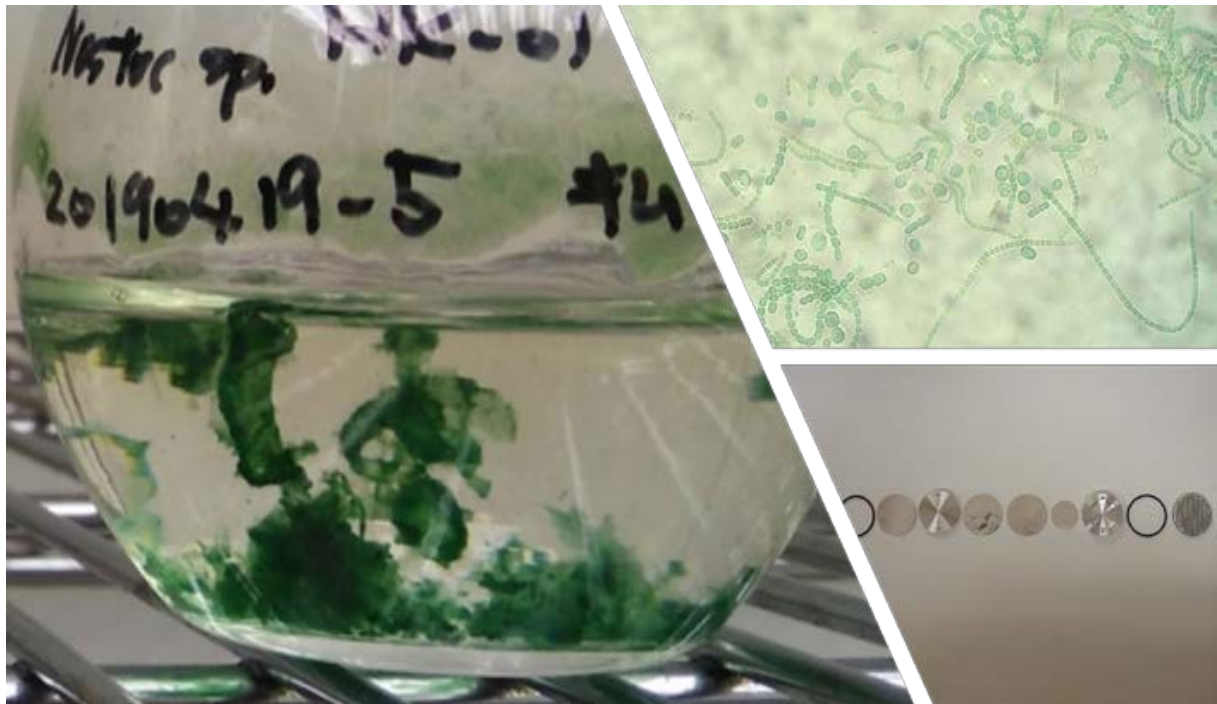
左：Deinococcus radiodurans、中：D. aerius、右：曝露パネル

#### 3.2 たんぼぼ計画における陸棲藍藻 Nostoc sp. HK-01 の宇宙曝露実験

木村 駿太（東京大学大学院・日本学術振興会特別研究員）

たんぼぼ計画藍藻研究班の研究成果について発表する。本実験は、酸素発生型光合成微生物の天体間の移動の可能性および将来の有人宇宙活動利用の可能性の検証を目的として、陸棲藍藻 *Nostoc* sp. HK-01（以降 HK01）の宇宙環境耐性を評価した。HK01 は光合成能、窒素固定能および食資源としての有用性を備え、乾燥状態で長期間生存し、加水すると代謝を再開することから、長期有人宇宙活動時に利用できると期待される。本実験では、HK01 細胞をアルミ箔上で乾燥し、曝露用ユニット内に固定した。全ての試料は 2015 年 4 月に打ち上げられ、同年 5 月に船外曝露が

開始された。1年曝露試料は2016年6月に、2年曝露試料は2017年7月、3年曝露試料は2018年7月にそれぞれISS与圧室に回収された。宇宙曝露後の各試料は地球に帰還後、蘇生、光合成活性、タンパク質の変化が調べられた。遮光された宇宙曝露試料およびISS与圧室対照試料は、少なくとも3年間は地上対照と遜色ない蘇生が認められることが明らかとなった。蘇生活性が認められた試料は、確かな光合成活性を示した。蘇生過程のタンパク質の分布に明確な変化は認められなかった。遮光しない宇宙曝露試料については、3年曝露試料のみでわずかな蘇生活性が見出された。アルミ箔上に固着させた細胞の厚みの差異が生存に深く関わると考えられる。今回見出されたHK-01の3年間の宇宙曝露後の生存は、光合成生物の報告として最長である。



左：培養中の藍藻の写真

右上：藍藻の顕微鏡写真

右下：藍藻宇宙曝露用ユニットの部品一覧



## 4. これからの宇宙微生物研究の展望（座長:石岡 憲昭 JAXA 宇宙研名誉教授）

### 4.1 宇宙船内水環境微生物のオンボードモニタリング法の開発

山崎 丘（帝京大学大学院 宇宙環境医学研究室/JAXA きぼう利用センター）

現在、ISS では軌道上の飲料水を定期的に地上に回収し培養試験により微生物検査を行っているが、将来の有人宇宙探査時には地上に試料を回収することが難しくなること、有人宇宙機内での微生物培養検査は環境汚染のリスクが大きいことなどから、培養することなく軌道上で実施できるリアルタイム微生物検査法の実用化が求められている。また、水には微生物が必ず混入し完全な殺菌は不可能であり、有人宇宙探査時に長期間に亘り運用される水製造装置内におけるレジオネラ菌やマイコバクテリアのような水棲細菌の異常増殖を未然に防ぐためにも、早い段階で微生物を検出できる高精度な微生物モニタリング法の開発が急務である。

本研究は、軌道上から ISS における安全基準を満たした飲料水を回収し、リアルタイム計測が可能な粒子計を利用して微生物の量的変動の計測データを得た上で、従来からの培養法によるコロニー数計測結果（CFU）と比較することにより、有人宇宙機内の飲料水に適用できる、培養法によらない新たな衛生微生物学的管理法を提案する。さらに、軌道上から回収した ISS 飲料水中に含まれる微生物を先端的な分子生物学的手法により詳細に解析し、これまでに蓄積されてきた環境微生物叢のデータと比較することで、軌道上で長期間に亘り運用される水製造装置に対する環境微生物の影響の有無を事例研究として明らかにする。

### 4.2 宇宙におけるプロバイオティクス飲用効果の研究

坂下 哲也（JAXA きぼう利用センター）

宇宙滞在時には様々な医学的課題が存在する。その一つとして、宇宙滞在に関連する諸要因の複合的な影響として、免疫機能の低下が報告されている。一方、これまでの地上研究でプロバイオティクスの摂取が腸内環境の改善および免疫機能の維持・活性化に有効であることが多数示されていることから、宇宙滞在中の免疫機能低下リスクへの対策としてプロバイオティクスの活用が期待できる。

このような背景を受け、JAXA は、「閉鎖微小重力環境下におけるプロバイオティクスの継続摂取による免疫機能および腸内環境に及ぼす効果に係る共同研究」と題し、宇宙滞在中の L.カゼイ・シロタ株（LcS）摂取効果について、2014 年にヤクルト本社と共同研究を開始した。LcS は 80 年以上の食経験がある乳酸菌株であり、米国 GRAS 認証を取得している。LcS の有効性および安全性については様々な知見が蓄積しており、LcS が生きたまま腸に届き、免疫機能の維持・向上や腸内フローラの改善・正常化をもたらすこと、LcS の摂取が NK 細胞活性を向上させることが地上実験で示されている。

本研究で得られる成果は、宇宙飛行士の健康管理の支援や、機能的宇宙食の開発につながるだけでなく、地上においても、極限環境下の人々や被災者の健康管理に貢献できることが期待される。宇宙実験はまだ継続中である。今回は実験の概要および摂取サンプルに関する事前の確認について、これまでに得られた結果を紹介する。

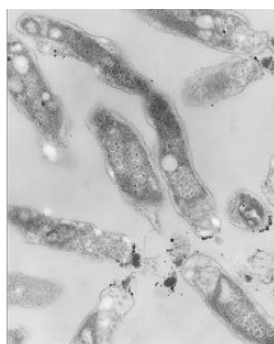
### 4.3 火星での土壌生成を考える

太田 寛行（茨城大学）

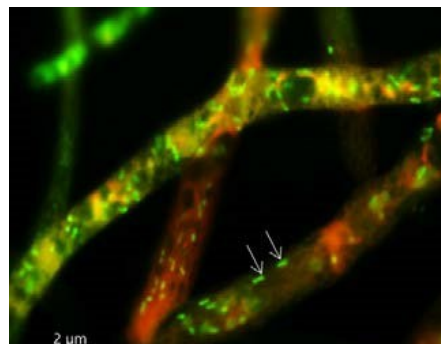
和田秀徳の論考、「地球の農業と火星の農業」(Biological Science in Space 21:135-141,2007)、のなかで、レゴリスの土壌化に必要なことが6つあげられている：①透水性と通気性の改善、②脱塩と  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSO}_4$  除去による固化の防止、③pH 調整、④リン酸固定防止、⑤有機物の集積、⑥微生物の定着。これらは人為的な農業土壌化の一体的な条件と言える。一方、地球上で自然に起きている土壌生成を俯瞰すると、物理性、化学性、微生物性の変化速度は大きく異なる。演者らが扱ってきた、三宅島 2000 年噴火の火山灰堆積物は有機物をほとんど含まず、酸性 (pH 3) で、団粒構造がない点では、火星のレゴリスに近いものと考えられる。この火山灰堆積物の 2003 年からの 10 年間の調査結果では、山頂付近の植生回復が生じていない地点では、堆積物の物理性や化学性に大きな変化がなくても細菌叢はケモトロフからヘテロトロフへ遷移した（細菌分類での「門」レベルの変化）。さらに、2014 年の調査では、主にオオバヤシャブシが群生する地点の火山灰堆積層 (C 層) の表層部に A 層 (いわゆる「表土」) の形成を見いだした。この層位形成では、C 層ですでに主要となっているヘテロトロフが「科」ないし「属」レベルで変化した。この層位形成のトリガーは、地上部からの大量な有機物流入であり、A 層の全炭素は一過的に 10% に達していた。このような微生物性と化学性の変化と比べると、物理性の変化は遅い。三宅島火山灰堆積物のパイオニア微生物 (ケモトロフ) は  $\text{N}_2$  固定性の鉄酸化細菌であり、鉄酸化と共に  $\text{CO}_2$  固定と  $\text{N}_2$  固定が起きていると推察された。一方、火星環境を考えると、酸化鉄に被われた赤褐色の表面様相からは、鉄酸化が微生物の主要なエネルギー代謝になるとは考えにくい。火星大気の組成 { $\text{CO}_2$  (95%)、 $\text{N}_2$  (2.7%)、Ar (1.6%)、 $\text{O}_2$  (0.13%)、CO (0.07%)、 $\text{H}_2\text{O}$  (0.03%)} からすれば、CO 酸化菌がパイオニア・ケモトロフになると推定される。G. M. King (2015) は、火星レゴリスの高塩濃度と低い水ポテンシャル環境も考えて、CO 酸化性 extreme halophiles の増殖を想定し、実際に、地球上の各地の塩水だまり (saline brine) から飽和食塩水 (5.4 M NaCl) 中でも、また -118MPa の水ポテンシャル条件でも増殖する CO 酸化性 extreme halophiles を分離し、そのような微生物の存在を示した。三宅島の初成土壌生成での細菌叢遷移から類推すれば、火星のレゴリスでの CO 酸化菌のバイオマスの増加と共にその死菌体 (=有機物) を利用する好塩性ヘテロトロフへの遷移と細菌叢の多様化が推察される。このような細菌叢の多様化が起きても、土壌に特有な腐植の生成や団粒構造の形成に至るには、糸状菌に加えて植物やマクロファウナの出現を待たなくてはならないだろう。



三宅島



Oligotrophic Bacterium



茨城大学で採取されたクサレケカビ  
(*Mortierella elongata*)

## 4.4 宇宙探査イノベーションハブの活動紹介

### 布施 哲人（JAXA 宇宙探査イノベーションハブ）

宇宙探査イノベーションハブ（以下探査ハブ）は「太陽系フロンティア開拓による人類の生存圏・活動領域拡大に向けたオープンイノベーションハブ」として、2015年に開始された科学技術振興機構 JST のイノベーションハブ構築支援事業に採択された。イノベーションハブ構築支援事業は、国立研究開発法人が我が国の研究開発成果の中核的な拠点として必要な役割を果たすための機能強化目的として 2015 年から 5 年間に実施してきた。

探査ハブでは、従来の宇宙関連企業への発注型から、異分野融合によりイノベーションを創出し、宇宙探査をテーマとした宇宙開発利用の拡大と事業化を目指す新たな仕組みを構築することを目的としている。アウトカムとして、宇宙探査への参加者を拡大し、新たな技術に裏打ちされた宇宙探査シナリオ・ミッションを実現するとともに、入り口から社会実装も考慮することにより社会課題の解決や産業競争力の向上を達成する。

具体的には、宇宙探査の課題（大型化、長期化、高コスト化）を解決するための技術課題について、産官学を対象とし、情報提供依頼書（RFI）、研究提案の募集（RFP）を行い、FY27 から 75 テーマを選定し、124 の機関と研究を実施してきた。

本講演では探査ハブの取り組みの紹介と、探査ハブの取組みの中でも月面農場の研究及び微生物研究の概要について紹介する。

## 4.5 藻類を用いたコンパクトなタンパク質生産システムの開発

### 中原 剣（ちとせ研究所取締役最高光合成責任者）

人体は水分を除くと重量の約半分をタンパク質が占めている。タンパク質は体内に貯蔵できず、日々必要量を摂取しなければならない。その量は体重 1kg あたり約 1g と言われており、体重 60kg であれば 1 日 60g の摂取が必要となる。このため、近い将来予定されている有人月面滞在においてもタンパク質の安定的な自給は、クルーの生命維持に関わる重要なテーマの一つとなる。

現在我々は将来の有人月面滞在を想定し、スピルリナ（*Arthrospira platensis*）と呼ばれる藻類を用いた省資源かつコンパクトなタンパク質生産装置の開発を JAXA らと共同で進めている。スピルリナは古くからの食経験を持つ藻類で、光合成によってタンパク質を生産する。池を用いたスピルリナの単位面積当たりのタンパク質の生産性は、大豆（625 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>）の 15 倍以上（10,000 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>）となり、現状人類が生産管理できる生物の中で最もタンパク質生産性の高い生物と言っても過言ではない。また、スピルリナはタンパク質含有量に加え、ビタミン・ミネラルといったその他の栄養価にも優れるため、NASA や ESA でも宇宙食利用の研究開発が進んでいる。今回我々が開発した両面発光パネルを用いた担持体式培養装置は、高密度・省資源・コンパクトにスピルリナを生産でき、単位面積当たりのタンパク質生産性を大豆の 245 倍にまで高めることに成功した。本講演では装置開発までの取り組みの様子および地上での応用展開の可能性なども含めた今後の展望についてご紹介したい。

## 4.6 海外の研究動向（これからの宇宙微生物研究の展望）

嶋津 徹（（一財）日本宇宙フォーラム宇宙利用事業部）

海外の研究動向として、NASA、ESA およびロシア宇宙庁の活動を紹介する。

NASA は、ISS 船内環境中微生物をカタログ化するための研究 (Microbial Tracking-1、MT-1)、およびヒト病原体を解析する研究 (MT-2) などを実施している。培養法と分子生物学的手法のいずれにおいても、時間経過につれて細菌群集の多様性は増加し、真菌群集の多様性は低下し、メタゲノミクス解析により、腸内細菌科の細菌および  $\beta$  ラクタム系抗菌薬に対する耐性遺伝子の割合がフライト 1 から 3 に進むにつれ増加したことが報告されている。

軌道上で利用される解析装置として、2016 年の miniPCR システムによる DNA 増幅が初めてであり。NASA エイムズリサーチセンターが率いる Wetlab-2 プロジェクトでは、試料処理と遺伝子発現解析の両方を完全に軌道上で行うことができた。もう一つの NASA サーモサイクラー、RAZOREX も微小重力で働くことが示された。また、小型の市販 DNA シーケンサーである MINION による解析が可能であり、イルミナ MiSeq と PacBio RS II 機器の地上での標準品と比較して、微小重力において大きなエラーなく配列を決定できたことが報告されている。

ESA の実験モジュール、コロンバスでは、定期的に機器表面の微生物汚染をスクリーニングしている。この微生物検査は、NASA の実験機器と手順と全く同様である。しかし、コロンバスの ECLSS の特性から、空気と表面のみを検査している。

ロシアモジュールにおいて、ロシア宇宙庁は約 1,500 の微生物サンプルを採取しており、地上に回収した試料から、培養法などで 66 種の細菌と 34 種の真菌類を見出している。ヒト粘膜および皮膚の常在細菌である *Staphylococcus*、*Corynebacterium*、*Micrococcus* 属が優占種であった。また、*Bacillus* 属の芽胞形成細菌ならびにグラム陰性細菌も ISS でしばしば見出された。真菌群集構造は多様であり、*Aspergillus*、*Penicillium* および *Cladosporium* 属の真菌は、ISS 船内で最も広く存在していた。

NASA、ESA、ロシア宇宙庁の研究から、ISS 船内において最適な衛生的・微生物学的状態を維持し、また構造材の微生物学的変質を防止するためには、環境中の微生物を継続的にモニタリングする必要性のあることが示唆された。さらに化学的および物理的な方法による新たな防菌法を開発、また ISS の衛生・微生物学的状態を最適に維持するための手段および方法を開発する必要があるとされている。



## 5. 超長期宇宙滞在時代の宇宙微生物学研究（座長：大森 正之 東京大学名誉教授）

那須 正夫（大阪大谷大学大学院薬学研究科）

宇宙における微生物学研究は、基礎科学と宇宙居住の両面から考える必要があり、両者は相互に補いながら、有人宇宙探査に微生物学的側面から寄与し、得られた知見は基礎科学として高く評価されるものとなる。また地上における私たちの生活の安全と安心を、衛生微生物学的に担保するための基盤となる。

超長期宇宙滞在では、リスク管理とともに、ヒトと微生物との共存・共生、さらには積極的な利用に関する研究がこれまで以上に必要となる。宇宙環境における微生物の病原性の変化、微生物の環境適応・応答、ヒト免疫への影響等の基礎研究、また微生物モニタリングや微生物管理技術開発が宇宙居住に関わる重要研究課題として認識され、ヒトの健康維持に微生物を積極的に利用するプロバイオティクスや微生物のリサイクル機能を活用する生命維持システムの開発等の研究も世界各国で着実に進められている。NASA では宇宙でのオミックス (omics in space; OIS) を展開させるために新たな組織を設立し、欧州では生命維持システム MELiSSA (Micro Ecological Life Support System Alternative) で微生物と物質循環に関する研究に基礎と応用の両面から 30 年以上にわたり息長く取り組んでいる。我が国でも ISS「きぼう」を舞台とする宇宙実験等が宇宙微生物学の新たな展開を具体的に示し、超長期宇宙滞在を前提とした各国の研究者との連携体制を構築している。

微生物学を取り巻く環境は、この 10 年で大きく変化した。新たに開発された手法の多くは培養に依存することがなく、従来法とは基本原理が異なることから、宇宙居住に関わる微生物学的限度値・基準も一部では再検討が必要となっている。超長期の宇宙滞在での宇宙飛行士の健康確保のためには微生物学的アラートレベル、アクションレベルの設定とともに、オンサイトでの微生物モニタリングが必要となる。地上においても新たな微生物学的アプローチに対する期待は大きく、製薬・食品工業等、高度な微生物管理を必要とする分野では、日本はもとより世界各国で具体的な取り組みが始まっている。

宇宙環境における微生物・微生物生態系を統合的に理解することが私たちに課せられた使命の一つである。宇宙居住という究極の生存環境で得られた成果は、人類の地上での生活を原点から考え、ヒトと微生物が共生するための貴重な知見を与えてくれる。



SPACE MICROBIOLOGY in OSAKA 2017 at  
Osaka Ohtani Univ.. Harukas Campus

Osaka Ohtani Univ., Osaka Univ., Meiji Pharmaceutical Univ.,  
NASA-JPL, NASA-Ames, ESA-ESTEC, NIRS, DLR, JAXA



- 国際宇宙ステーション内における微生物動態に関する研究(Microbe-I,II,III)
- 宇宙居住の安全・安心を保証する「きぼう」船内における微生物モニタリング(Microbe-IV)

<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/field/scientific/#life>