

特集：宇宙医学
(解説)

宇宙環境における微生物に関する研究

山崎 丘¹・杉田 隆²・楨村 浩一³

Microbiology in Space

Takashi YAMAZAKI¹, Takashi SUGITA² and Koichi MAKIMURA³

Abstract

The living environment in spacecrafts would be progressively contaminated by microorganisms. Various microorganisms have been isolated from on board manned spacecrafts and they have been brought with commodities, crew members themselves, and so on. So it is unavoidable to bring microorganisms such as fungi and bacteria into manned spacecrafts. Some microorganisms are known as possible allergens in our living environment and many researchers are studying the correlation between environmental microbiota and allergic reactions. Normal flora is thought to be strongly affected by living environment. So we should monitor and evaluate both of environmental microbiota on board spacecrafts and normal flora of crew members, and finally develop effective medical countermeasures to protect crew members against microorganisms in manned spacecrafts, which have confined living space under microgravity.

1. はじめに

「宇宙環境における微生物学」と聞くと、圏外生物学、すなわちエクソバイオロジーやアストロバイオロジーとしての微生物学（アストロマイクロバイオロジーという言葉も使われる）を想像される方が多いかもしれない。例えば、太陽系に無数に浮かぶ小惑星や火星のような惑星、さらには宇宙空間を漂流する極小さなダストに生命の痕跡を見出し、それらから地球外生命の存在や地球生命の起源を探るというような研究がそれにあたる。一方で、太陽エネルギーを利用して光合成により酸素を生成することができ、原始地球で大気の形成に重要な役割を果たしたと考えられているシアノバクテリア（藍藻類）や、比較的生物にとって過酷な環境にも生息する極限微生物（好熱性細菌など）を積極的に利用して、惑星を地球のような生物が暮らしていける星にする、いわゆるテラフォーミングなども興味深いテーマのひとつであろう。しかしながら宇宙医学分野における微生物研究とは、有人宇宙船や宇宙ステーション、将来的には月面基地や火星基地で活動するヒトはもちろん、宇宙船そのものや装置、機器、生活用品などに対し環境中に生息する微生物が及ぼす影響を最小限に留め、

微生物災害から守り宇宙飛行士の安全を確保するための研究である。放射線防護や重力影響、生理的・心理的対策などと同じく、有人宇宙活動をサポートするために必要不可欠な研究課題のひとつである。

2. 環境微生物叢

2.1 宇宙ステーション内の環境微生物叢

旧ソ連〜ロシアの宇宙ステーション・ミールや ISS (International Space Station) はヒトの長期宇宙滞在を可能にする居住施設であり、そこに搭載される機器や物品は十分に除菌された上で打上げられる。しかし、実際には宇宙飛行士自身の常在菌はもちろん、身体や生活用品などに付着して船内に持ち込まれる微生物を完全に排除することはできないため、船内への微生物持ち込みそのものは不可避である。船内はヒトにとって快適なコンディションが保たれており、微生物にとっても生育に適した環境である (Fig. 1)。船内の空気はHEPAフィルターなどにより清浄化されているものの、そこでヒトが暮らしている以上、高い清浄度を維持し続けることは困難である。事実、ミールや ISS の船内からはすでに多種多様な微生物が見つかり、これらの微生物の中には日和見感染症起因菌も数多く同定

- 1 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 宇宙科学研究本部 ISS 科学プロジェクト室 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1 ISS Science Project Office, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), 2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505, Japan
(E-mail: yamazaki.takashi2@jaxa.jp)
- 2 明治薬科大学微生物学教室 〒204-8588 清瀬市野塩 2-522-1
Department of Microbiology, Meiji Pharmaceutical University, 2-522-1 Noshio, Kiyose-shi, Tokyo 204-8588, Japan
- 3 帝京大学大学院医学研究科・医学部 医真菌研究センター/ゲノム解析リサーチ・センター 〒192-0395 東京都八王子市大塚359
Teikyo University Institute of Medical Mycology, 539 Otsuka, Hachioji, Tokyo 192-0395, Japan



Fig. 1 An example of microbial contamination on one of the interior panels on board ISS. (NASA Image: ISS010E11563, © NASA)

されている^{1,2)}。宇宙環境においては人の免疫能が低下するという報告もあり、これらの起因菌による日和見感染症発症リスクが地上に比べ格段に高まる可能性がある。従って、地上での生活以上に、微生物学的な側面からの安全対策を講じる必要があることは明らかである。

宇宙環境で生活する宇宙飛行士は地上と異なる様々な外的影響を受けており、強い放射線が身体へ及ぼす影響や、微小重力環境における筋肉の委縮、骨量の減少、免疫力の低下など、特に滞在が長期に亘るほど症状として強く現れてくる。医師や研究者はこれらの影響評価やその対策については有人宇宙開発の初期から研究を続けており、現在ISSに長期滞在する宇宙飛行士の健康管理にも大いに役立っている。一方、宇宙ステーションのようにヒトが宇宙環境で暮らすことができる居住施設が長期的に運用されるようになると、次第に宇宙船内環境（すなわち人の生活環境そのもの）の微生物汚染が問題となってきた。

1970年代にNASAにより実施されたスカイラブ計画では、ミッションを経るに従って、アレルギーとなり得る *Aspergillus* 属や *Penicillium* 属などの糸状菌による船内汚染の拡大が報告された³⁾。1986年に最初のモジュールが打ち上げられ、10年以上に亘り延べ100人以上が滞在したミール（ちなみに連続滞在の最長記録はワレリー・ポリャコフの437日18時間）では、船内微生物叢調査が度々実施された。当時の宇宙開発事業団（NASDA、現在のJAXA）も、ミール利用宇宙実験（J・Mir-Mission）の中で、「宇宙船内の微生物相計測実験」として1997年2月10日から2月28日に

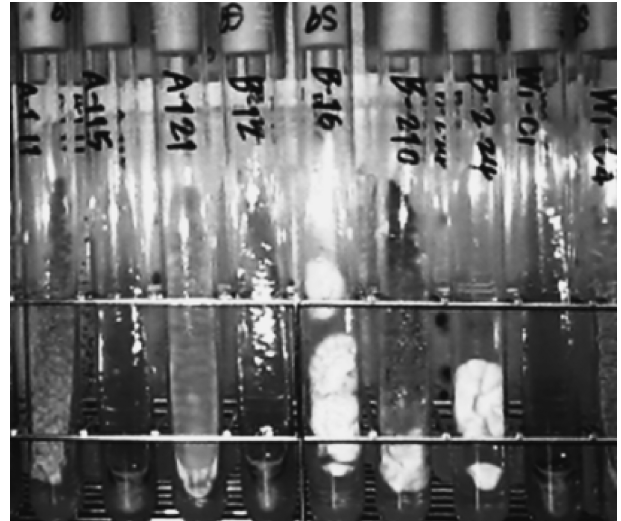


Fig. 2 Fungal strains isolated from on board Mir.

掛けて船内からの試料採取を行った（Fig. 2）^{4,5)}。それらの調査の結果、ミールの船内には細菌や真菌のみならず、ダニや原生生物まで多種多様な微生物が存在していたことがわかっている^{1,2,4,5)}。ミールの運用後期には装置や機器が頻繁にトラブルに見舞われていたことが報告されており、一部は微生物に起因するものであったと考えられている。また、ミール船内の微生物叢を定期的にモニタリングしたところ、船内の空気中に存在する真菌、細菌の量は共に定常的に安定ではなく、およそ $10^2 \sim 10^4$ CFU/m³の範囲で大きく変動していた¹⁾。研究者らはその報告の中で、ミールで実施されていた定期清掃は微生物の除去に大変効果的であったものの、太陽の活動や放射線レベル、磁場の状態などの宇宙環境特有な物理的要因も船内の微生物叢変化に大きな影響を及ぼす要素であることを示唆している¹⁾。これらの報告は、完全に閉鎖された宇宙滞在施設の生活環境中の微生物動態がいかに外的要因に左右され、コントロールすることが難しいかを示している。なお、ミール船内の主要環境真菌はスカイラブ同様、*Aspergillus* 属や *Penicillium* 属ならびに *Cladosporium* 属をはじめとした糸状菌であった¹⁾。これらの菌叢は、我々が生活している都市空間の環境真菌叢に極めて類似している。製造国や設計、構造が異なる宇宙ステーション内部の真菌叢が類似していたことはもちろん、ヒトの手によって作られた都市空間の真菌叢とも類似していたという事実は大変興味深い。私たちの生活環境中では、*Aspergillus* 属や *Penicillium* 属が最優勢となる居住施設に暮らす人々の間では、アレルギー疾患やシックハウス（ビルディング）症候群のような症状が多発したという事例も報告されている⁶⁾。ミールの船内で検出された細菌、真菌の量と、これらの真菌種が最優勢となっていたという事実を踏まえると、ミール船内は微生物学的には良好な環境であったとは言い難い。

ISSにおいても、運用の初期段階から船内の微生物モニ

タリングが実施されており、真菌の中では *Aspergillus* 属が最も多く検出されたという NASA の研究グループの報告がある⁷⁾。ISS においてはミールの真菌叢と多少異なる傾向が見られたが、その理由について、ミールは運用年数が長く多くの人滞在上、機器や装置の故障も多く温度や湿度コントロールがままならず、微生物の温床となる凝縮水などが多数発生するような環境であったためであろうと説明している⁷⁾。なお、NASA/ジョンソン宇宙センターのグループによって既に開始されている SWAB プロジェクト (Surface, Water and Air Biocharacterization—A Comprehensive Characterization of Microorganisms and Allergens in Spacecraft Environment) は、ISS 内壁面、水、空気を対象とした科学的な微生物モニタリングであり、詳細な分析結果を期待したい。なお、各国の宇宙機関は ISS についてもミールと同様の問題が起きる可能性を十分認識しており、衛生環境の維持や微生物汚染対策について、研究者間で様々な側面から活発な議論がなされている。また、NASA の研究グループがスペースシャトルでサルモネラ菌を対象とした宇宙実験を行ったところ、回収したサルモネラ菌の遺伝子発現パターンが変化し、病原性が上昇していたことが示された⁸⁾。この結果は、宇宙環境において微生物の表現型が変化した例のひとつである。船内に言えば自然に生息する微生物に宇宙環境がどのように影響し、どのような変化が表れるかについてはまだよくわかっていないが、サルモネラ菌の実験結果は宇宙における生活環境中の微生物にも同じように起こり得る事象として、常に念頭に置いておくべきである。

2.2 「きぼう」日本実験棟を利用した船内微生物叢モニタリング

日本でも「きぼう」日本実験棟を利用して、宇宙ステーション内の微生物叢モニタリングが開始されようとしている。2008年3月11日、日本の実験モジュール「きぼう」船内保管庫を搭載したスペースシャトル (STS-123, 1J/A) が、建設中の ISS に向けて打上げられた。続いて2008年6月に船内実験室が、2009年7月に船外実験プラットフォームが取り付けられ、「きぼう」日本実験棟が完成した。船内保管庫および実験室は、船外実験プラットフォームの打上げを待たずに運用が開始され、微小重力環境を利用した様々な宇宙実験などに利用されている。「きぼう」は、既に打上げ済の他国のモジュールと同じように徐々に微生物叢が形成されていくことになる。新規に打上げたモジュールについて運用開始時から経時的に微生物叢モニタリングを行うことにより、船内の微生物叢がどのように形成され、どのように変化していくのかを理解するために必要な基盤データを得ることができる。

そこで「きぼう」与圧部内微生物叢モニタリングのゼロタイムリファレンス試料の採取について検討した。2007年6月11日、ケネディ宇宙センター SSPF (Space Station Processing Facility) 内で最終出荷準備中の SAIBO (細胞



Fig. 3 Zero-time reference samples have been collected from the surface and inside of the SAIBO rack in SSPF, Kennedy Space Center at 11th June, 2007.

ラックの表面および内部から、注射用無菌水にて湿らせた無菌綿棒による拭き取りを行いゼロタイムリファレンス試料とした (Fig. 3)。その後、SAIBO ラックは「きぼう」船内保管庫に搭載され、ISS に向けて打上げられた。2009年8月現在、「国際宇宙ステーション」における微生物動態に関する研究 (Microbial dynamics in ISS; Microbe-I~III) の軌道上実験準備が整い、軌道上で最初の「きぼう」微生物叢モニタリングが開始されようとしている。本研究は日本初の有人宇宙施設である「きぼう」を利用し、運用開始時からの微生物叢を日本独自の最新技術を駆使して高精度に分析・同定するだけでなく、得られたデータを十二分に活用し、今後の有人宇宙活動の安全な運用と更なる宇宙開発の推進に貢献することを目指すものである。

3. ヒトの常在菌叢

3.1 環境微生物叢と常在菌との関連

ヒトの常在菌叢は、生活習慣や生活環境を色濃く反映することが知られている。地上で生活する場合、生活環境を取り巻く微生物叢はその土地の気候や立地条件、窓の開け閉めなどの生活施設使用状況、空調機の運転状況や降雨、強風などによって容易に変化する。しかし、宇宙空間で完全に閉鎖された状態を維持する宇宙船内では、地上と異なりそれら外的環境の影響をほとんど受けることがない。微小重力環境下ではゴミや埃の挙動は地上と大きく異なり、フィルターや壁面に付着しない限り落下することなく船内を浮遊し続け、最終的に宇宙飛行士自身に付着するか吸引されることとなる。特に真菌の胞子や分生子は地上では通常重力により落下する数十 μm の粒子 (人から出る落垢やフケなども含む) と挙動を共にし、宇宙船内では落下せず空中に漂い続けるため、ヒトの体 (特に地上ではあまり考えられない上半身) に付着したり、吸引される量が地上に比べ多くなると考えられる。また、軌道上ではスポンジバ

スで体を清浄に保つよう努めているものの、宇宙滞在中は比較的脂性肌になることが宇宙飛行士の経験から知られている。入浴できないということが脂性肌になる原因のひとつであることに疑問の余地はないが、それ以外にも好脂性真菌の増殖が原因で皮膚の脂の分泌が亢進され、それらがさらに増殖するという悪循環に陥っている可能性がある。また、脂性肌には乾燥肌に比べて船内を漂うあらゆる物質が付着しやすくなり、埃と共に空気中を漂う微生物も例外ではない。前項でも述べたように、ISSにおける船内環境微生物叢モニタリングは既に実施されており、日本も「きぼう」において、その準備が整ったところである。しかしながら、ISS船内で実際に生活する宇宙飛行士自身がそれらの環境微生物から受ける影響や、それらのリスクについて体系的に評価した例はない。

日本では、現在「国際宇宙ステーションに滞在する宇宙飛行士の身体真菌叢評価 (Mycological Evaluation of Crew Member Exposure to ISS Ambient Air; Myco)」研究が計画されている。本研究は、宇宙飛行士が呼吸するISS与圧部空気中の微生物環境を最も反映する試料が得られる鼻腔、その後通過した空気が到達する咽頭、および最も船内の空気に触れている時間が長い頬と、その対照としての前胸部から試料を採取し、微生物叢を解析する。それらの結果から、宇宙飛行士がISS滞在中に呼吸によって体内に取り込む、あるいは環境中の空気に曝露されることで皮膚に付着する微生物（主に真菌）が、身体に及ぼす影響について評価するものである。

3.2 鼻腔および口腔・咽頭粘膜常在菌叢

3.2.1 鼻腔および口腔・咽頭粘膜常在菌叢の生理的意義

鼻腔および口腔・咽頭は、呼吸器および消化器へ向けて体外へと開かれた門戸であり、理論上はここを通して環境等から多くの微生物が生体内へと進入しうる。しかしながら、必ずしも衛生状況が良好ではなかった太古より今日に至るまで、ヒトは様々な程度の病原性を有する多くの微生物にさらされながらも絶える事無く生き延びることが可能であった。これら微生物による感染を防御するためのシステムとしては、特異的あるいは非特異的免疫系の役割が大きい。後述する皮膚常在微生物叢同様に、粘膜面に定着している常在菌叢の役割も重要である。この領域の真菌叢としては、年齢等によって異なるものの *Candida* 属をはじめとする真菌が健康人咽頭の20-60%から分離される⁹⁻¹¹⁾。分離される菌種は、*C. albicans* が圧倒的に多く、*C. parapsilosis* がこれに次ぐが、これら *Candida* 属菌種が微生物学的バリアとして感染防御を担っているとは一般に考えられていない。

また、鼻腔粘膜の真菌叢としては、*Aspergillus* 属菌種が20-40%程度の健康人から分離される^{9,12)}。これらの菌種は、環境中に発育した真菌分生子が鼻粘膜に捕捉されたものであって、通常（一般的に清浄な環境で生活する健康

人に対して）は、一過性の付着に終わるものと考えられている。従って、鼻粘膜の真菌叢についてもその生理的意義は論じられない。

3.2.2 鼻腔および口腔・咽頭粘膜常在菌叢の解析意義

従って、鼻腔および口腔・咽頭粘膜真菌叢を解析する意義は、宿主免疫の反映としての定着真菌、および空気中浮遊真菌分生子を反映する付着真菌の種と数を解析することによって、真菌による健康上の問題（病理的意義）を宿主側と真菌側の両面から考察できることにある。

NASAにより56日に亘って行われたスカイラブを利用した宇宙滞在模擬試験では、乗員の真菌叢構成菌量は全般的に低下したにもかかわらず鼻腔および口腔における *Candida albicans* および *C. tropicalis* の菌量のみが顕著に増加することが報告された¹³⁾。これらの酵母はヒト常在菌叢を形成している日和見真菌であるが、免疫攪乱状態にあるヒトの腸管において増殖し、条件によっては全身感染を惹起することも知られていることから、逆に宇宙ステーション滞自在自体によってもたらされる免疫抑制効果を推し量る事もできる。鼻腔および口腔・咽頭に定着した真菌は、免疫攪乱状態の患者においては日和見型感染症を発症し、免疫力が正常な宿主においても高濃度の曝露によってアレルギー疾患、または地球上におけるシックハウス（ビルディング）症候群¹⁴⁾様の疾患を惹起する恐れがある。また、微小重力下では、真菌分生子のヒトへの曝露ならびに付着の状況が地上とは異なることも容易に想像される。したがって、感染またはアレルギーも自ずから地球上とは異なった病態となりうる。さらに、地上に比較して高線量の宇宙線と微小重力環境に曝露されるこれらの「宇宙微生物」が、高度の病原性またはアレルギー原性を獲得する可能性も否定できない。

従って、宇宙飛行士の健康を担保するための情報基盤として、宇宙環境における微生物叢を適切に管理する為の基盤的情報として、鼻腔および咽頭粘膜真菌叢の解析が必要であり、今まさに Myco プロジェクトがその一端を明らかにしようとしている。

3.3 皮膚常在微生物叢

3.3.1 皮膚常在微生物叢の生理的意義

ヒトの皮膚には多種多様な微生物が常在しており、皮膚微生物叢 (cutaneous microbiota) はヒトの生命機能の恒常性と密接な関係が知られている。例えば、表皮に微生物がバイオフィームを形成することにより、1) 皮脂とともに角質層を保護する。これにより水分の飛散を防止する。2) 微生物が紫外線を吸収することにより皮膚への損傷を軽減させる。3) 外来病原体の侵入を物理的に阻止する。従って、宿主あるいは環境要因により正常な微生物叢が破綻すると様々な皮膚疾患やアレルギーへと進展しヒトの健康維持に影響を及ぼすことになる。

菌量的に優位な皮膚常在微生物を Table 1 にまとめた¹⁵⁾。好気性細菌の90%以上は *Staphylococcus epidermidis* (表

Table 1 Dominant cutaneous microorganisms

細菌	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
	<i>Staphylococcus mitis</i>
	<i>Propionibacterium acnes</i>
	<i>Corynebacterium</i> spp.
	<i>Acinobacter johnsonii</i>
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
真菌	<i>Candida</i> spp.
	<i>Malassezia</i> spp.

皮ブドウ球菌) が占める。本菌は稀に易感染性宿主や新生児に日和見感染を引き起こすが、抗菌ペプチド産生による病原微生物の侵入・増殖阻止や、免疫系においては抗原刺激の役割を担うなど相利共生 (mutualism) 菌である。嫌気菌 *Propionibacterium acnes* は、*S. epidermidis* と並んで最も高密度で存在する正常菌叢である。尋常性ざ瘡 (いわゆるにきび) の原因菌として知られているが、*S. epidermidis* と同様に抗菌物質を産生することにより感染防御の役割を担う相利共生菌である。本菌はプロピオン酸を産生することから至適増殖 pH は弱酸性域 (pH 5.5 付近) である。これは皮膚における感染防御には極めて重要なことである。健康人の皮膚 pH は弱酸性に保持されているため、この pH では増殖できない病原菌 *Staphylococcus aureus* (黄色ブドウ球菌) は健康皮膚には定着できない。しかしながら、皮膚 pH が中性となるドライスキン状態、例えばアトピー性皮膚炎患者では、本菌の侵入を容易にさせ、これが抗原となり炎症反応を惹起させる。グラム陰性細菌 *Pseudomonas aeruginosa* はクオラムセンシング分子 (細胞密度依存遺伝子発現分子) である 3-oxo-C12 homoserine lactone を産生することにより病原真菌である *Candida albicans* や *Aspergillus fumigatus* の増殖を阻害するといった、他の常在細菌とは異なる作用機序を示す。真菌 *Malassezia* は増殖に脂質を必要とすることから、皮脂量の多い部位、例えば頭皮や頭頸部に多く常在する。皮脂を分解して他の微生物に栄養を供給する一方、局所的な異常増殖により炎症を引き起こす。

個々の菌種の生理的役割は上述した通りであるが、この役割を最大限に発揮するには母集団としての常在微生物叢が正常な均衡を保持する必要がある。つまり皮膚微生物叢は単独では構成されていないということである。ではどの位の微生物が常在しているのであろうか。古典的な微生物叢の解析手法は、皮膚サンプルを適当な培地上で増殖させそれを同定する、培養法 (culture-dependent method) が主流であった。これで検出できる微生物は数十菌種程度である。今日では、網羅的に微生物叢を解析する手法として、非培養法 (culture-independent method) が主流となっている。すなわち、皮膚サンプルから直接微生物 DNA を抽出しその DNA 塩基配列から微生物を同定していくものである。次世代高速シーケンサーの登場により解析速度のみならず情報量も飛躍的に向上してきた。最新の非培養法

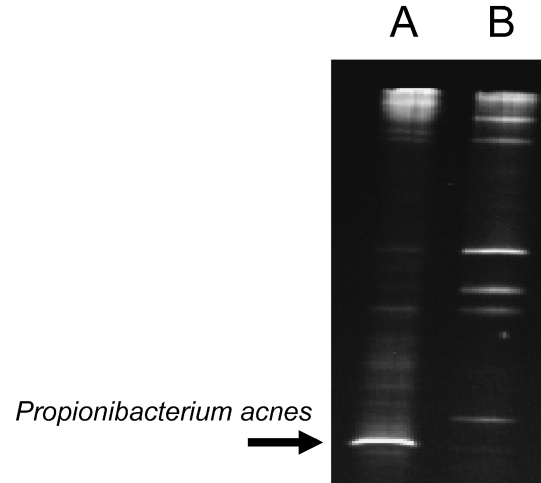


Fig. 4 Bacterial microbiota comparison between normal skin (A) and dry skin (B) by 16S rDNA analysis using DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) method.

による解析では、少なくとも数百の細菌と数十の真菌が皮膚から検出されることが明らかになった¹⁶⁾。しかも多くの新種が含まれていた。個々の菌種の生理的意義は不明であるが、これら数百もの菌種の正常な均衡がヒトの健康維持に重要である。

3.2.2 皮膚常在微生物叢の解析意義

皮膚常在微生物叢は宿主と環境の双方の要因に影響を受けると考えられる。宇宙環境固有の身体ストレスと閉鎖空間および微小重力下における環境要因が皮膚常在微生物叢に与える影響を調べることは、宇宙飛行士の健康維持に有益な情報を与える。

自然免疫における外来異物抗原 (病原微生物) の貪食・排除では、貪食細胞がパターン認識受容体 (PRRs, pattern recognition receptors) を介して微生物表層の分子構造を認識する。この分子はグラム陰性菌のリポ多糖、グラム陽性菌のペプチドグリカンや真菌の β グルカンである。貪食細胞は、PRRs を介して微生物を認識し炎症性サイトカイン (TNF- α , IL-1 β 等) を分泌する。PRRs 中のトール様受容体 2 (TLR, toll-like receptors) 欠損マウスは黄色ブドウ球菌の感染に対する感受性が高まることが知られている。微小重力下での興味深い報告がある。 *Salmonella enterica* variety *enterica* serovar Typhimurium (ネズミチフス菌) の遺伝子変動を DNA マイクロアレイ法を用いて網羅的に比較検討したところ、転写調節、病原因子やリポ多糖生成系遺伝子が重力の影響を受けた¹⁷⁾。微小重力下で病原性が変化することを示唆した貴重な情報である。

前半でも述べた様に、常在微生物叢は単独菌種で構成されているわけではないので、ある特定の菌種の均衡が破綻するだけでも、結果として全体の微生物叢が攪乱されることになる。Fig. 4 はアトピー性皮膚炎患者の非病原部 (健

常皮膚)と病変部(乾燥皮膚)の皮膚細菌叢を変性剤濃度勾配ゲル電気泳動(DGGE, denaturing gradient gel electrophoresis)により解析した結果である。乾燥状態, すなわち皮膚 pH が中性域では *P. acnes* (矢印)が減少しているのが観察できる。同時に健常皮膚では見られないバンド(=細菌)がいくつも出現している。

また, 本来“善玉”であるはずの皮膚微生物も“適正な量”を逸脱すると疾患へと進展する。尋常性ざ瘡は *P. acnes* の毛包内での, 脂漏性皮膚炎は *Malassezia* の脂漏部位での異常増殖が原因の一つである。宇宙ステーション内では様々な因子が複合的に宇宙飛行士の皮膚微生物叢に影響を与えられと考えられる。DGGE と定量 PCR の併用により網羅的かつ定量的に微生物叢を経時的にモニターすることが可能である。

4. 最 後 に

環境微生物叢とヒトの常在菌叢は密接な関係があるため, ある環境で長期間生活するヒトに対する微生物の影響を評価しようとした場合, 両者のデータを収集し突き合わせる必要がある。ISS における船内環境微生物叢モニタリングは既に実施されており, 徐々にデータが蓄積されつつあるものの, そこで実際に生活する宇宙飛行士自身がそれらの環境微生物からどのような影響を受けているかを評価するには至っていない。今後, 船内環境微生物叢データと宇宙飛行士から得られた常在菌叢データを比較照合し, その関連性について十分精査する必要がある。

また, 自身の生活環境がどのような状況であるか宇宙飛行士が自ら把握し, なにか問題があれば即座に対処できるようにするためには, 船内で簡便な方法により環境微生物叢データを取得する技術を開発することも今後の重要な課題のひとつである。将来の月, 火星を目指すさらなる長期宇宙滞在時代の到来を前に, 船内に生息する微生物が引き起こす問題を十分理解した上で, 医学・微生物学見地に基づいた管理技術等に反映していくことが重要である。

参 考 文 献

- 1) N. D. Novikova: Microb. Ecol., **47**(2) (2004) 127-132.
- 2) C. M. Ott, R. J. Bruce and D. L. Pierson: Microb. Ecol., **47**(2) (2004) 133-136.
- 3) R. M. Brockett, J. K. Ferguson and M. R. Henney: Appl. Environ. Microbiol., **36**(2) (1978) 243-246.
- 4) K. Makimura, R. Hanazawa, K. Takatori, Y. Tamura, R. Fujisaki, Y. Nishiyama, S. Abe, K. Uchida, Y. Kawamura, T. Ezaki and H. Yamaguchi: Microbiol. Immunol., **45**(5) (2001) 357-363.
- 5) Y. Kawamura, Y. Li, H. Liu, X. Huang, Z. Li and T. Ezaki: Microbiol. Immunol., **45**(12) (2001) 819-828.
- 6) J. D. Cooley, W. C. Wong, C. A. Jumper and D. C. Straus: Occup. Environ. Med., **55** (1998) 579-584.
- 7) V. A. Castro, A. N. Thrasher, M. Healy, C. M. Ott and D. L. Pierson: Microb. Ecol., **47**(2) (2004) 119-126.
- 8) J. W. Wilson, C. M. Ott, K. Honer zu Bentrup, R. Ramamurthy, L. Quick, S. Porwollik, P. Cheng, M. McClelland, G. Tsaprilis, T. Radabaugh, A. Hunt, D. Fernandez, E. Richter, M. Shah, M. Kilcoyne, L. Joshi, M. Nelman-Gonzalez, S. Hing, M. Parra, P. Dumars, K. Norwood, R. Bober, J. Devich, A. Ruggles, C. Goulart, M. Rupert, L. Stodieck, P. Stafford, L. Catella, M. J. Schurr, K. Buchanan, L. Morici, J. McCracken, P. Allen, C. Baker-Coleman, T. Hammond, J. Vogel, R. Nelson, D. L. Pierson, H. M. Stefanyszyn-Piper and C. A. Nickerson: Proc. Natl. Acad. Sci. USA., **104**(41) (2007) 16299-16304.
- 9) A. M. Darwazeh, A. Al-Dosari and N. H. Al-bagieh: Int. Dent. J., **52**(4) (2002) 273-277.
- 10) G. Campisi, G. Pizzo, M. E. Milici, S. Mancuso and V. Margiotta: Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol. Endod., **93**(3) (2002) 281-286.
- 11) C. L. Kleinegger, S. R. Lockhart, K. Vargas and D. R. Soll: J. Clin. Microbiol., **34**(9) (1996) 2246-2254.
- 12) M. Sellart-Altisent, J. M. Torres-Rodriguez, S. Gomez de Ana and E. Alvarado-Ramirez: Rev. Iberoam. Micol., **24**(2) (2007) 125-130.
- 13) M. R. Henney, G. R. Raylor and T. C. Molina: Mycopathologia, **63**(3) (1978) 131-144.
- 14) A. L. Terr: Med. Mycol., **47** (Supplement 1) (2009) S217-222.
- 15) A. L. Cogen, V. Nizet and R. L. Gallo: Br. J. Dermatol., **158**(3) (2008) 442-455.
- 16) E. A. Grice, H. H. Kong, S. Conlan, C. B. Deming, J. Davis and A. C. Young, NISC Comparative Sequencing Program, G. G. Bouffard, R. W. Blakesley, P. R. Murray, E. D. Green, M. L. Turner and J. A. Segre: Science, **324**(5931) (2009) 1190-1192.
- 17) J. W. Wilson, R. Ramamurthy, S. Porwollik, M. McClelland, T. Hammond, P. Allen, C. M. Ott, D. L. Pierson and C. A. Nickerson: Proc. Natl. Acad. Sci. USA, **99**(21) (2002) 13807-13812.

(2009年 8 月 27 日受理)