

宇宙：近未来のヒト生活環境と微生物(1)

Space: living environment for human and fungi in near future (1)

—真菌から見た宇宙におけるヒト生活環境— ウォストークからミールまで —History of fungal burden on board Vostok rocket to Mir space station—

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 分子生物学・遺伝子診断部門 横村 浩一
KOICHI MAKIMURA, M.D., Ph.D. (Associate Professor and Manager)

Department of Molecular Biology and Gene Diagnosis, Institute of Medical Mycology and Genome Research Center,
Graduate School of Medicine and Faculty of Medicine, Teikyo University

1. はじめに

独自の有人宇宙ロケットや宇宙ステーションを持たない日本に住む大部分のヒトにとって、宇宙は永らくSFの世界に過ぎなかった。しかし、2008年の春、我が国の実験モジュール「きぼう」が国際宇宙ステーション (International Space Station; ISS) に設置されたことによって、事態は一変した。良くも悪くも宇宙ショーの観客に過ぎなかった立場から、日本が一気に有人宇宙計画の当事者となったことを意味するからである。ISSは国際共同施設であり、「きぼう」も固有の「領土」というわけではないけれども、いわば地球外初の我が国の施設であることは間違いない。また、そこにヒトがいる限り、宇宙にあっても常在菌として、あるいは環境菌としての真菌との関係を断ち切ることは出来ない。これら真菌叢が、宇宙におけるヒト生活環境において機器と宇宙飛行士(乗員)の健全性に影響を及ぼす事例が報告されている。そこで、我が国の施設と乗員の安全

を我が国の技術によって守るため、過去の有人宇宙計画における真菌叢とその影響を概観しておきたい。

2. 宇宙におけるヒト生活環境とその変遷

定義にもよるが、地上100km(程度)を超える高空が宇宙と呼ばれている。従って、この高さを飛んだ弾道飛行等も理屈では宇宙飛行だが、これについて(真菌発育の時間的余裕がないので)本稿では論じない。

2.1 宇宙におけるヒト生活環境とは

アメリカ航空宇宙局(NASA)は2025年、我が国の宇宙航空研究開発機構(JAXA)は2030年に月面基地の建設を予定しており、惑星探査(火星)も宇宙開発の視野に入っているが、当面の「宇宙におけるヒト生活環境」は、宇宙船または宇宙ステーション内の与圧部環境に限られる。スペースシャトル(STS)は高度160-640km、ISSは高度400km程度の軌道を周回している。その外界は 10^{-5} Paの真空中に曝

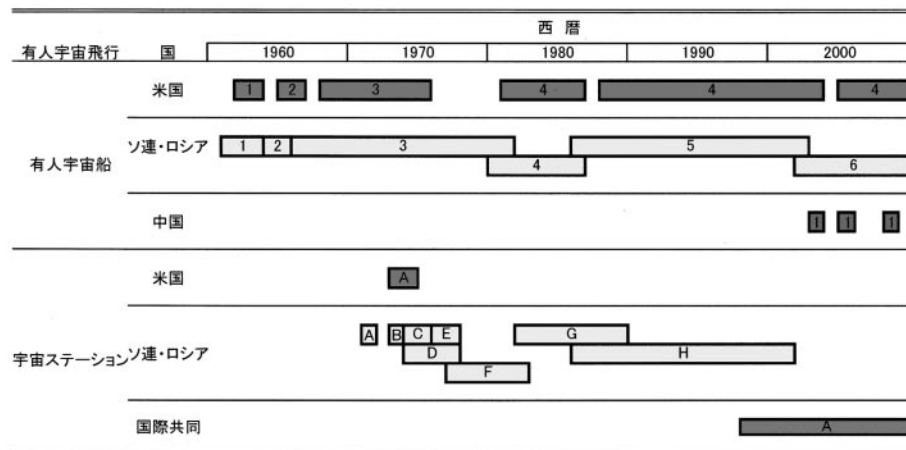


表 有人宇宙飛行計画とその推移

- 有人宇宙船:
- 米国: 1 アトラス, 2 タイタン, 3 サターン, 4 スペースシャトル
 - ソ連・ロシア: 1 ウォストーク, 2 ウォスホート, 3 ソユーズ, 4 ソユーズT, 5 ソユーズTM, 6 ソユーズTMA
 - 中国: 1 神舟
- 有人宇宙ステーション:
- 米国: A スカイラブ
 - ソ連・ロシア: A-G サリユート1-7, H ミール
 - 国際共同: A 国際宇宙ステーション

される微小重力 ($10^{-6} \sim 10^{-4}g$) であるが、ヒトの生活環境である与圧部は、地上同様の気圧、酸素分圧と快適な温度 ($18.3 \sim 26.7^{\circ}C$)・湿度 ($25 \sim 70\%$) が保たれている^{1,2)} ため、微小重力であることを除けば「通常」の生活が可能である。

2.2 有人宇宙計画の歴史

現在までに行われた有人宇宙飛行計画^{3,4)}を年次にわたって国別にまとめた(表)。



図1 ウォストーク ロケット (カルーガ、ロシア)

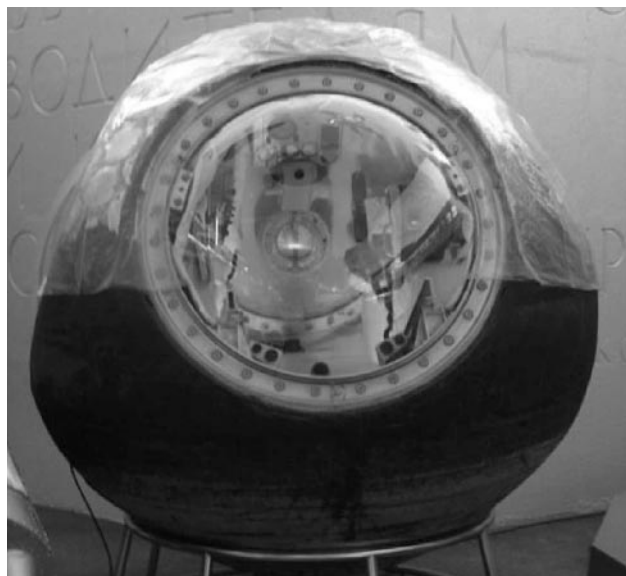


図2 ウォストーク5号 宇宙船カプセル(カルーガ、ロシア)
奥に見える座席と比較すると、その居住空間を推し量ることができる。

宇宙船による有人宇宙飛行は、1961年4月12日 旧ソビエト連邦共和国(ソ連)のウォストーク・ロケット(図1)に乗り込んだY.ガガーリンによって初めて成し遂げられた。ウォストーク宇宙船は小さな一人乗りの宇宙船であり、そのカプセルは今も見る事ができる(図2)。これが現在、最も信頼性が高いロケット・宇宙船として活躍しているソユーズ(少なくとも1980年以降、重大事故の発生がない)の原型である。この有人飛行に引き続き、ソ連・ロシアは今日まで絶えることなく有人飛行を続けている。一方、アメリカ合衆国(米国)はソ連に遅れること10ヶ月、アトラス・ロケットによるマーキュリー計画で初めて有人軌道飛行を行った。その後、米国はサターン・ロケットによるアポロ計画で人類初の月面到達を成し遂げ、1981年からは再利用型有人宇宙船であるスペースシャトルを運用している。

宇宙船は従来型にしても再利用型にしても、ミッションはせいぜい2週間程度と比較的短期間で終結するため、常在または環境微生物による影響を受けるには時間的に短すぎる。しかし、宇宙ステーションであれば、「宇宙におけるヒト生活環境」において真菌を始めとする微生物が発育するのに十分な時間が与えられる。

米国独自の宇宙ステーションとしては、1973年から翌年にかけて行われたスカイラブ計画が唯一であるが、ソ連・ロシアはミール・宇宙ステーションがISSへ役割を引き継ぐまで延々と宇宙ステーションを維持してきた。これから見ても、ロシアには有人宇宙開発に関わる相当な科学技術とノウハウの蓄積があるものと考えられるが、宇宙計画関連の情報は公開される部分が少ない上に、ロシア人研究者の多くの論文がロシア語で記載されている⁵⁻⁷⁾のも我々にとっては障壁となっている。

3. 国際宇宙ステーション以前の有人宇宙環境と真菌叢

従来有人宇宙船や宇宙ステーションには、特に選ばれた少数の心身強健なヒトのみが宇宙飛行士として搭乗を許されてきた。しかしながら、国際宇宙ステーションの建設が始まるまで、宇宙における機器や乗員が真菌などの微生物によって影響を受けてきた事実はあまり報道されていなかった。

一般にストレス負荷時に、個体の免疫力が低下する現象が知られており、宇宙空間滞在時の心身におけるストレスに対しても乗員の免疫力にも同様の変化が起きる事が

想像できる。そのうえ宇宙放射線にさらされる乗員の免疫力は、少なくとも軽度の抑制状態にあると考えられる。このような乗員に対して、常在または環境中の微生物は様々な影響を与える。

特に宇宙ステーションでは、長期にわたって船体が宇宙環境に置かれるため、船内の清掃に限界がある上、乗員の滞在期間も長い(通常月単位、飛行一回当たりの最長滞在記録は437日17時間58分^{1,2)})。そのため、環境真菌・常在真菌共に「宇宙におけるヒト生活環境」において充分増殖の機会がある。従って今後考えられるより長期のミッションを踏まえて必要とされる微生物管理上の情報は多い。また、宇宙ステーションが曝される温度差を考えても、環境真菌の発育は宿命的にも見える(図3)。

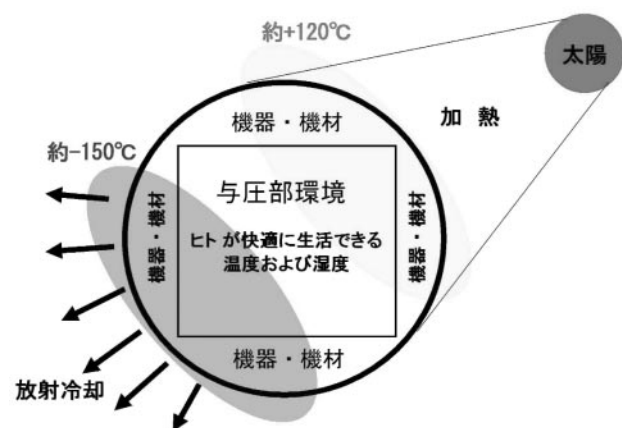


図3 微生物生育環境としての宇宙におけるヒト生活環境

1970年代に56日にわたるに宇宙滞在(スカイラブ)模擬試験を行ったところ、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したことが報告された⁸⁾。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り、免疫攪乱状態にあるヒトの腸管において増殖し、条件によって全身感染を惹起することが知られている。このことから宇宙ステーション滞在自体によってもたらされる免疫抑制効果を押し量る事もできる。また、実際のスカイラブ計画では、ミッションを経るに従って、*Aspergillus*属や*Penicillium*属の糸状菌による船内汚染の拡大が報告された⁹⁾。

2001年に役割を終えたロシアの宇宙ステーション・ミール船内は、真菌や細菌のみならず、ダニ、原虫も含めた様々な環境微生物に汚染されていたことが様々な報告で

明らかとなっている¹⁰⁻¹³⁾。このうち、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(図4)。これらの菌叢は、我々が生活している都市空間の環境菌叢にさわめて類似している。ステーション本体や各種機器、さらには宇宙飛行士に至るまで、都市的環境から宇宙へと送り出されているのだから、当然の帰結であろう。環境真菌による微生物災害として、ミール・宇宙ステーションの生命維持装置をはじめとした主要機器が頻繁に障害を受けていた¹⁴⁾事を考えあわせると、「宇宙におけるヒト生活環境」における微生物叢対策は焦眉の急と言えよう。

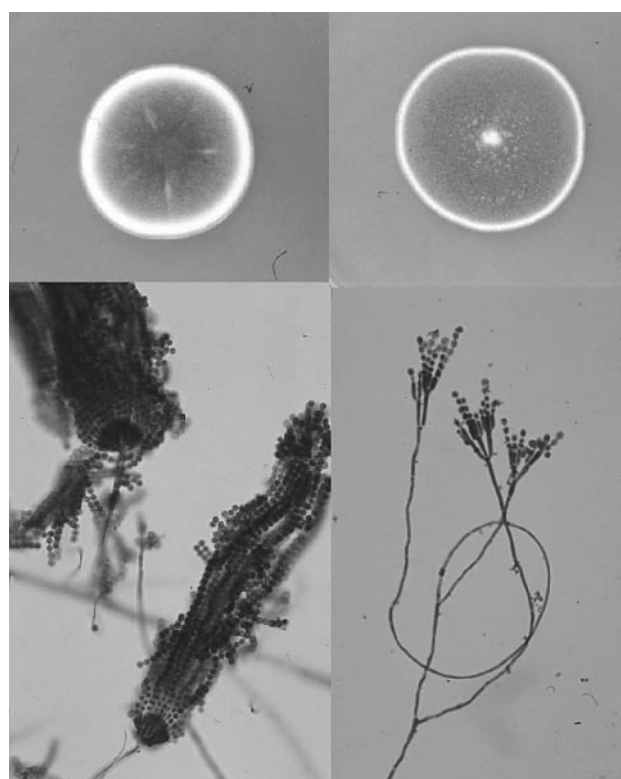


図4 ミール宇宙ステーションから分離同定された環境真菌¹³⁾
 左上 *Aspergillus versicolor*巨大コロニー
 左下 同スライドカルチャー像400倍
 右上 *Penicillium chrysogenum*巨大コロニー
 右下 同スライドカルチャー像400倍

4. おわりに

本格的な利用が始まったISS等の地球外の人工空間においても、内因性、および環境由来微生物(真菌、細菌、および原生生物)の排除は実際上困難である。従って、これら微生物によって、宇宙環境固有の様々なストレスにより免疫力を攪乱された乗員の健康が損なわれ、感染またはアレルギーを惹起することが懸念される。

宇宙における微生物情報は、より長期のミッションとなる月面基地、および火星探査等において、如何なる微生物叢が環境中に繁茂し、生態系を確立するかを考察するために必要である。これを以て微生物防御、宇宙農業等の微生物利用等の形成並びに発展に寄与することが期待できる。とりわけ、今後ミッションが長期化し、また宇宙観光が事実上始まっている状況を考慮すると、宇宙に滞在するヒトの安全性を担保するために、環境およびヒト常在微生物に関する情報は、きわめて重要なものとなろう。これを踏まえて、ISS以降の展望は稿を改めて論じたい。

地上においても、我々人類の将来的な展望を見据えた上で、真菌と関連健康障害への研究と対策のための体制整備が今正に求められている。またこの領域における研究と開発こそ、カビ、コウボ、キノコとの密接な関係によって培われた文化を持つ我が国として果たすべき、優れた国際貢献となることを強調して稿を終える。

- 9) Brockett RM, Ferguson JK, Henney MR. Prevalence of fungi during Skylab missions. *Appl Environ Microbiol.* **36** (2),243-6 (1978)
- 10) ovicova ND: Review of the knowledge of microbial contamination of the Russian manned spacecraft. *Microbial Ecol* **47**,127-132 (2004)
- 11) Ott CM, Bruce RJ, Pierson DL. Microbial characterization of free floating condensae aboard the Mir space station. *Microbial Ecol* **47**,133-136 (2004)
- 12) Pross, H.D., Casares, A., Kiefer, J. Induction and repair of DNA double-strand breaks under irradiation and microgravity. *Radiat. Res.* **153** (5 Pt 1),521-525 (2000)
- 13) Makimura K, Hanazawa R, Takatori K, Tamura Y, Fujisaki R, Nishiyama Y, Abe S, Uchida K, Kawamura Y, Ezaki T, Yamaguchi H: Fungal flora on board Mir-space station, identification by morphological features and ribosomal DNA sequences. *Microbiology and Immunology* **45** (5),357-363 (2001)
- 14) 宇宙航空研究開発機構:ミール事故履歴
<http://iss.jaxa.jp/mir/jmirdoc310.html> 2008年11月4日 接続

引用文献

- 1) 日本宇宙フォーラム:宇宙実験を計画するために. 2007、日本宇宙フォーラム、東京.
- 2) 宇宙開発事業団:「きぼう」船内実験室利用ハンドブック. 2007、宇宙航空研究開発機構、東京
- 3) 宇宙開発事業団:宇宙開発データブック2000. 2000、日本宇宙フォーラム、東京.
- 4) 日本宇宙フォーラム:JAXA NOTE 2008. 2008、日本宇宙フォーラム、東京.
- 5) Viktorov, A.N., Novikova, N.D., Deshevaya, E.A., Bragina, M.P., Shnyreva, A.V., Sizova, T.P., Dyakov, Y.T. Residential colonization of orbital complex "Mir" environment by *Penicillium chrysogenum* and problem of ecological safety in long-term space flight. *Aviakosm. Ekolog. Med.* **32**, 57-62 (1998) (in Russian)
- 6) Viktorov, A.N., Novikova, N.D., Deshevaia, E.A., Polikarpov, N.A., Poddubko, S.V., Bragina, M.P. Comparative evaluation of microorganisms biological characteristics isolated in the orbital complex "Mir" on different phases of its operation. *Aviakosm. Ekolog. Med.* **32**, 61-68 (1998) (in Russian)
- 7) Zaloguev, S.N., Viktorov, A.N., Shilov, V.M., Gorshkov, V.P., Zarubina, K.V. Results of microbiological research conducted during the mission of the Saliut-6 orbital station. *Kosm. Biol. Aviakosm. Med.* **19**, 64-66 (1985) (in Russian)
- 8) Henney MR, Raylor GR, Molina TC. Mycological profile of crew during 56-day simulated orbital flight. *Mycopathologia.* **63** (3),131-44 (1978)