

特集「地球外有機物」(2)

地球外環境と微生物

小池惇平¹

1. はじめに

近年、太陽系惑星や小惑星の探査計画が次々と具体化しつつある。特に火星探査は最も注目を集め米国のパースファインダー計画、メジャー計画、ロシアのマース96、さらにヨーロッパでもマースネット計画等が今世紀中に行われようとしている。一方、我が国でも月の表面を探査するルナA計画や火星の上層大気を探査するプラネットB計画が進められている。さらに、21世紀に向けて本格的な月面有人処点の開発や第二世代宇宙ステーションの計画が進められようとしている。こうした状況をかんがみて、かねてより私どもは“宇宙開発と宇宙汚染”といったテーマで基礎的実験を進め報告してきた [1-8]。

私たちが外国に出かける場合、検疫を受けることがある。現在ではある限られた地域に行くときだけに限定されているが、動植物や果物の輸出入には今でもかなりきびしい検疫制度があることはよくご存じのことと思う。今こうした検疫制度が宇宙開発の進展に伴い宇宙でも必要になってきている。いわば、この宇宙検疫ともいえる制度は二つの重要な内容を含んでいる。つまり、宇宙開発に伴い地球外環境での基地設置や惑星の資源探査、生命探査の際に、地球の生物が宇宙空間や惑星表面にばらまかれることによって汚染されることはないか。もう一つの問題は、逆に宇宙から持ち帰ったサンプルによって地球環境が汚染されること

はないかというものである。初めにおことわりしておくが、宇宙船内部を無菌状態にすることは国際間のとりきめで一応きめられている。従って、原則的には宇宙は地球の生物によって汚染は受けないことになっている。しかし、この無菌操作は非常に困難な問題である。もしかりに、完全に無菌化するとなると膨大な費用と技術を要することになるであろうし、有人宇宙船の場合にはもっとやっかいな問題である。だいいち人間を無菌化することは不可能である。このように考えてくると、我々のまわりに常に存在する細菌やカビの孢子などの空中雑菌、人間の腸内や口腔細菌といった微生物が宇宙飛行士の船外活動や惑星探査の際、宇宙船外にまき散らされることは十分に考えられる。

本稿においては、宇宙環境の微生物による汚染の可能性および宇宙環境における微生物の挙動について模擬宇宙環境を用いて行った実験を基に検討を行う。

2. 微生物による宇宙環境の汚染の可能性

宇宙活動に伴って、宇宙空間にまき散らされた微生物はいったいどうなるのか？宇宙の環境は我々が想像する以上に過酷な条件である。まず、地球の約1兆分の1に相当するような超真空である。おまけに、微生物にとってもっとも強敵である殺菌力や突然変異源性の強い紫外線や宇宙放射線が縦横に飛び交っている。さらに、重力や磁場がな

¹ 東京工業大学生命理工学部

い。こうした環境を考えると、とても生物が生きられる場所ではないように考えられる。

そこで、我々は宇宙空間にまき散らされた微生物が本当に死滅するのか、もし死滅しないとすればどんな種類の微生物がどのくらいの期間生きていられるのか、模擬宇宙環境作製装置クライオスタットを用いて簡単な実験を行った（図1）。

この装置は液体窒素とヒーターを用いて 500℃～-150℃、ターボ分子ポンプによって大気圧から 1×10^{-6} torr、種々のガス混合気体を用いて実験できる。さらに、紫外線と太陽風のほぼ95%をしめる陽子線を本学理学部所有の Van de Graaff 型加速器により照射出来るように設計した。実験に用いた微生物は出来るだけ異なった環境で生育している微生物を選んで生存実験を行った（表1）。主なものの性状を記すと、*Escherichia coli*（一般的には大腸菌と呼ばれ、ヒトの腸内に常在し空中雑菌としてどこにでも存在する、閉鎖系生命維持装置

では汚染のモニター菌として注目されている）、*Micrococcus flavus*（球菌の一種で地球環境には普遍的に存在している）、*Bacillus subtilis*（一般的には枯草菌と呼ばれ、我々日本人にはなじみのある納豆菌はこの一種である、この種の菌は有芽胞土壤細菌として地球上どこにでも存在している）、

Virus	Tobacco mosaic virus
Gram negative bacteria	<i>Escherichia coli</i> K-12
Gram positive bacteria	<i>Bacillus subtilis</i> 219
	<i>Streptococcus mutans</i>
	<i>Staphylococcus aureus</i> 209P
	<i>Micrococcus flavus</i>
Anaerobic bacteria	<i>Clostridium manganeti</i>
Actinomycetes	<i>Streptomyces coelicolor</i>
Yeast	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Fungi	<i>Aspergillus niger</i>
Archaeobacteria	<i>Halobacterium halobium</i>

表1 使用した種々の微生物のリスト

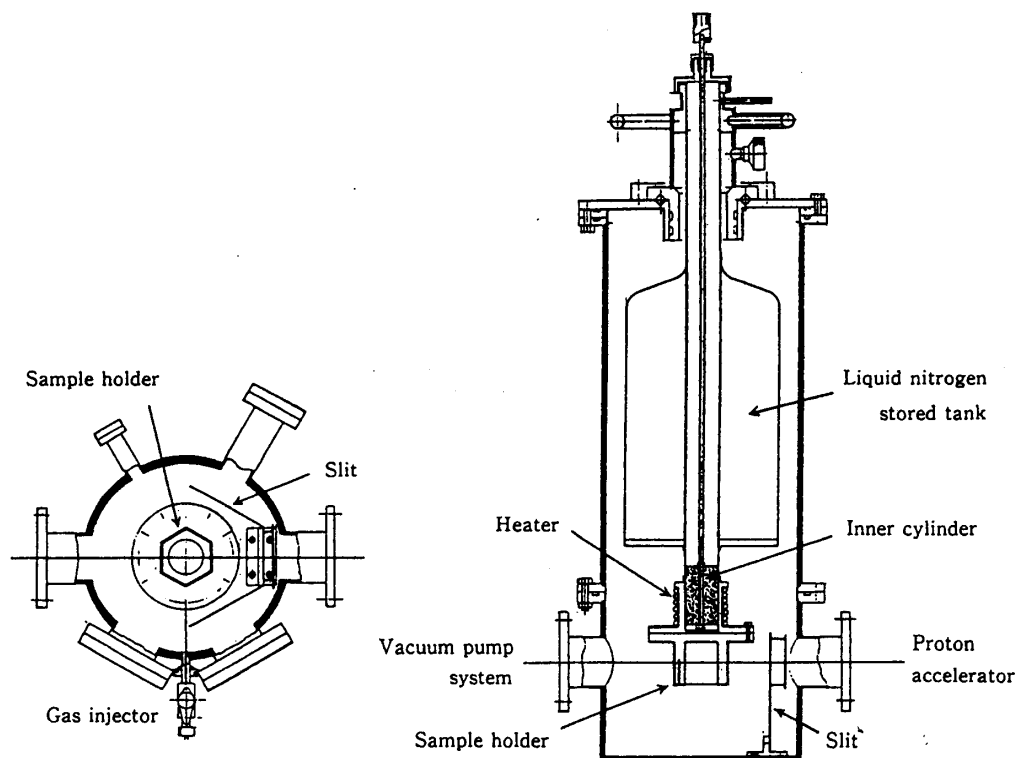


図1 模擬宇宙環境作製装置クライオスタットの断面図

Aspergillus niger (黒コウジカビと呼ばれ、古くなったモチによく繁殖するカビの一種である、我々日本人は味噌、醤油、酒など重要な必需品をこの菌種に担っている), *Clostridium manganoti* (酸素のないところでのみ増殖する嫌気性菌の一種である), Algae は気性、水性、土壌由来のものと温度や乾燥に比較的強いものを選んで用いた。このように、原核細胞に属する細菌類から真核細胞に属する藻類まで、微生物は出来るだけ幅広く種類の異なるものを選んだ。

実験ではクライオスタットに種々の微生物をセットして宇宙環境の大きな特性である、超真空と超低温に24時間曝した後に、各種試験菌の生存率を寒天平板による希釈塗抹法を用いて生菌数を測定した(表2)。

さらに、宇宙空間の250年間に浴びるのと同等の宇宙陽子線を短時間で照射して、その生き残った微生物の生菌数を測定した(表3)。

このように模擬的な宇宙環境とはいえ、これほど生命力が強いとは実際予想もしなかった。こうした我々の実験以外にもライデン大学の研究グループが我々と似た装置を使って、枯草菌の胞子に宇宙空間の1,000年分の紫外線を短時間に浴びせた結果、胞子の0.1%が生き残っていた。彼らはこうした結果から地球外生命体が宇宙塵に包まれた状態で分子雲と共に移動して地球に降ってきたのが地球生命の起源であるとする、19世紀末にアレ

Organisms	Viable cell number		Survival ratio B/A (%)
	seed (A)	exposed (B)	
Tobacco mosaic virus*	1.4×10^2	8.4×10	60
<i>E. coli</i>	3.17×10^6	4.3×10^2	1.4×10^{-2}
<i>B. subtilis</i> (spore)	6.17×10^5	3.4×10^5	55
<i>S. mutans</i>	1.4×10^7	8.5×10^3	6.1×10^{-1}
<i>S. aureus</i>	6.0×10^9	3.8×10^8	6.3
<i>M. flavus</i>	1.2×10^9	4.5×10^8	38
<i>C. manganoti</i> (spore)	1.24×10^3	8.8×10^2	71
<i>S. coelicolor</i> (spore)	1.2×10^6	1.0×10^2	8.0×10^{-3}
<i>S. cerevisiae</i>	1.6×10^5	7.0×10	4.4×10^{-2}
<i>A. niger</i> (spore)	1.28×10^5	6.2×10^4	48
<i>H. halobium</i>	5.20×10^6	0	$< 1.9 \times 10^{-5}$

[N.B.] *The mean number of diseased plaques on four tobacco leaves.

表2 低温(-150℃)、高真空(1×10^{-6} torr)の環境下に24時間曝した後の各種微生物の残存率

Organism	Irradiation dose (μ coulomb)				
	0	1	10	100	200
Tobacco mosaic virus	9.0×10 (100)*	1.0×10^2 (100)	1.0×10^2 (100)	8.8×10 (98)	6.5×10 (72)
<i>B. subtilis</i> (spore)	3.1×10^5 (100)	2.3×10^5 (75)	1.9×10^5 (60)	1.6×10^5 (52)	1.4×10^5 (45)
<i>S. aureus</i>	3.8×10^8 (100)				2.8×10^8 (74)
<i>M. flavus</i>	4.5×10^8 (100)				6.0×10^7 (13)
<i>C. manganoti</i> (spore)	8.8×10^2 (100)		3.8×10^2 (43)	3.6×10^2 (41)	2.2×10^2 (25)
<i>A. niger</i> (spore)	1.2×10^5 (100)	9.4×10^4 (82)	8.5×10^4 (74)	6.8×10^4 (59)	3.2×10^4 (28)

[N.B.] *The parenthese indicates relative percentage of the survivality.

表3 低温、高真空の環境下で宇宙空間の250年分に相当する加速陽子線(1MeV, 200 μ C)を照射した後の残存率

ニウスが提唱したパンスペルミア説も決して不可能ではないとNatureに報告している[9]。さらに、ドーズは、宇宙空間に近い超真空を使って種々の微生物の生存を観察した。それによると、ある種の微生物は数カ月もの間その超真空の中で生き続けていたと報告している。

ちなみに、我々の周辺のどこにでもある土壌1グラムの中には $10^6 \sim 10^{12}$ 個もの微生物が生存するといわれている。その中には日常我々の生活に密接に結び付いているウイルス、細菌、カビのほ

か、数は少ないが特殊な環境（高温や低温な場所、酸素のない場所など）でなければ生育できないような極限微生物も含まれている。このように多種多様な地球微生物の中には本実験で用いた微生物以外にも宇宙環境においてもっと生存率の高いものが存在する可能性は大いにある。従って、微生物の宇宙空間への飛散を嚴重に防止しなければ、将来、宇宙空間は地球の生物によって汚染を受けることになりかねない。一度汚染をおこしてしまえば、それを取り除くにはその何十倍もの努力が必要であろう。場合によっては不可能なこともありうる。

3. 惑星環境下での微生物の生存の可能性

1969年7月20日米国がアポロ11号によって人類初の月面軟着陸に成功した。その後、人類の関心は月から火星へと移ってきている。火星探査は1975年に米国が打ち上げた火星探査機バイキングによって詳細な探査がなされた（この部分の詳細は本特集集中の河崎氏の報告を参照されたい）。

私共は火星環境に似た環境をクライオスタット

	Laboratory	Mars
Pressure:	10mbar	5.9~15mbar
Temperature:	-60℃	-60℃
Gases: Carbon dioxide	95.46%	95.32%
Nitrogen	2.7%	2.7%
Argon	1.6%	1.6%
Oxygen	0.17%	0.13%
Carbon monoxide	0.07%	0.07%
Water vapor	0.03%	0.03%
Vacuum UV: mean wave	115~400nm	200~300nm
flux	10^{15} quanta $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$	10^8 quanta $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$
Proton: mean energy	1 MeV	1~10MeV
particles	$10^{12} \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$	$10^4 \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{ster}^{-1}$

表4 バイキングで明らかにされた火星環境（Mars）と模擬火星環境（Laboratory）の比較

を用いて作り、地球のどんな生物がどのくらいの期間、火星の環境下でも生き残れるかを実験した。こうした結果を基にして、火星環境の汚染に関する基礎的なデータを得ることを目的とした。まず、バイキングによって明らかにされた火星環境と我々の模擬火星環境を比較したものを表4に示した。

バイキングの観測データによると、火星の夏で太陽が当たっている状態での最高気温は30~40℃、夜は-80~-120℃にまで冷え込む。さらに、極冠には氷あるいはドライアイスがあるといわれている。ちなみに、北極冠の氷の厚さは4~6km、直径2000km、南極冠は1~2km、直径700kmと報告されている。本装置は極冠とよく似たドライアイス層の状態も容易に再現できる。また、火星の大気組成は95%以上が二酸化炭素であり、窒素、アルゴン、一酸化炭素、酸素と水蒸気がわずかに存在すると報告されている。実験では火星のガス組成に似た混合ガスを作り、クライオスタット装置内にこれを満たした。さらに、火星は大気が薄くオゾン層や磁気圏がないため紫外線や宇宙線が直接地表にふりそそいでいる。従って、火星の地表は相当強い酸化状態であろうと推定される。本実験では実際の火星環境より1千万倍多い紫外線を重水素ランプで照射し、さらに1億倍多い疑似宇宙放射線を加速器を用いて照射した。この条件を用いると実際の火星の数百年分の時間経過を、実験室では数十分の照射で再現できることになる。この模擬火星環境を用いて、地球の種々の微生物の生存実験を試みた（表5, 6）。

一方、火星の極冠を模して火星のガスの氷（1~2mmの厚さに調整した）で *Bacillus subtilis* の孢子をおおい、火星の2000年分に当たる紫外線と宇宙線を浴びせた（表7）。

このように、地球の微生物の中には火星の模擬環境でもかなりの長期間生きられることが判明し

Microorganisms	Viable cell number (cells/ml)		Percent survival
	Nonexposed	Exposed	
<i>Escherichia coli</i>	2.6×10^7	2.2×10^5	0.8
<i>Bacillus subtilis</i> (spores)	8.5×10^7	2.1×10^7	25
<i>Micrococcus flavus</i>	1.3×10^8	1.1×10^7	8
<i>Aspergillus niger</i> (spores)	1.3×10^5	3.2×10^4	25

表5 模擬火星環境下で種々の微生物に火星の200年分に相当する紫外線と加速陽子線を照射した後の残存率

Microorganisms	survival	
	Nonexposed	Exposed
Anaerobic bacteria:		
<i>Clostridium manganoti</i>	+++	+
<i>Clostridium propionicum</i>	+++	+++
<i>Clostridium roseum</i>	+	+
<i>Clostridium butyricum</i>	-	-
<i>Clostridium celatum</i>	-	-
Algae:		
<i>Apotococcus lobatus</i>	+++	+
<i>Chlorella ellipsoidea</i>	+++	+
<i>Chlorella reisiigii</i>	+++	+
<i>Diplosphaera chodati</i> 338-1	+++	+
<i>Diplosphaera chodati</i> 320K	+++	+
<i>Stichococcus bacillaris</i>	+++	+

表6 模擬火星環境下で嫌気性細菌と藻類に火星の200年分に相当する紫外線と加速陽子線を照射した後の残存性

Viable cell number (cells/ml)		
Nonexposed	Exposed	
	Not ice covered	Ice covered
6.6×10^6 (100%)	0	6.3×10^6 (95%)

表7 模擬火星極冠の環境下で *Bacillus subtilis* の胞子に火星の2,000年分に相当する紫外線と加速陽子線を照射した後の残存率

た。特に胞子の類はその傾向が著しい。ただこうした環境では微生物は死んでもいないし増殖もしていない、つまり休眠状態に近い状態で存在しているのであろうと推定される。一般的に微生物学においては胞子や球菌は乾燥や熱に対して強いものが多いと云われている。これは多分これらの菌の細胞を取り囲む壁や膜の組成に起因していると考えられる。この点に関しては現在実験を継続中である。

いずれにしても、こうした基礎的な実験から判明したことは、火星の地表面は強い酸化状態であるために、地表面からその下数センチメートル位までは地球型微生物にとって生存するためにはかなり厳しい環境であろうと考えられる。しかし、地

中の永久凍土や極冠の氷（多数の科学者が現在ではこの存在を認めている）の内部に入ってしまった微生物は、多分現在の火星環境であれば極端な話として何億年もの間死滅しないで生存し続けることは出来るであろう。さらに、極冠の周辺や永久凍土層の近くで水の存在が考えられる場所ではCO₂やN₂の固定できる独立栄養菌や嫌気性菌、さらに低温、乾燥に強く光合成のできる藻類の類は十分に増殖が可能であろうと考える。現在まで太陽系惑星からはどんな生命体もまだ見つからない。従って、この時期に我々が不用意な惑星探査を行うことは将来の生命探査にとって致命的なこととなりうる。十分に注意してことに当たるべきであろう。

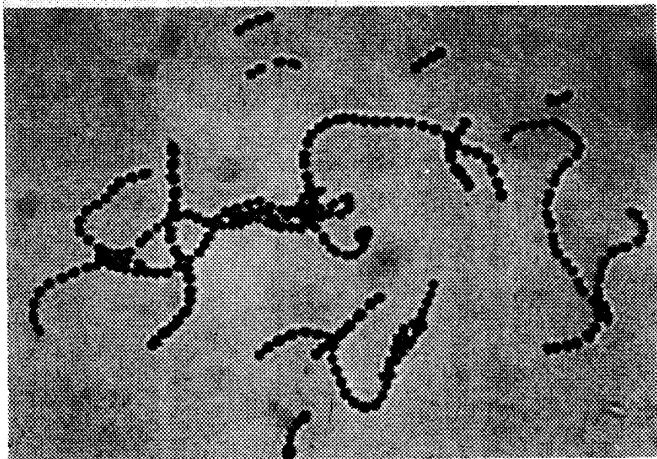
4. 宇宙検疫の国際的ガイドラインの必要性

ここに面白い報告があるので紹介する。これは1974年に米国の微生物学会誌に報告されたものである。1969年11月20日、アポロ12号が月面に着陸して、宇宙飛行士が無人探査機サーベイヤー3号の機材を回収した。この無人探査機サーベイヤー3号は2年半前に月面の‘嵐の大洋’に着陸させたものである。そして、アポロ12号が持ち帰った機材を分析した結果、驚くべきことが判明したのである。つまり、当然生物は生存していないものと考えられていたにもかかわらず、回収したカメラの内部から微生物が検出されたのである。当初、‘月の微生物’として注目を集めたが検査の結果、この微生物は地球の微生物で、*Streptococcus mitis* という地球上では比較的普通に存在している連鎖球菌の一種であることが判明したのである。この事実はNASAの検査官によって次のように報告されている。『2年半前にサーベイヤー3号とともに打ち上げられたカメラの低部に付着していた地球の細菌が、地球環境と比べると極端に過酷な

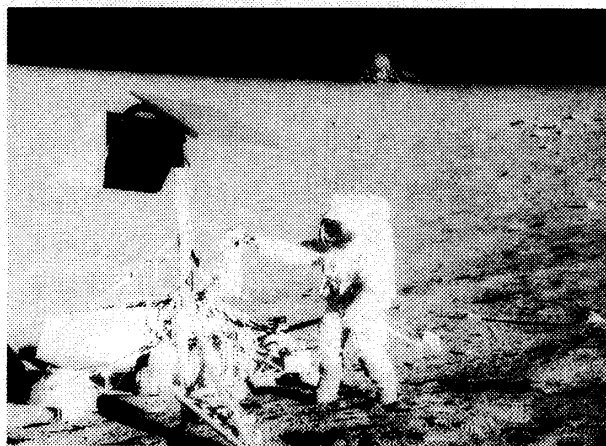
条件の月面で紫外線や宇宙放射線に曝されながら2年半ものあいだ生き延びていたと考えられる。』さらに、この報告書は『持ち帰った機材からはこの細菌以外は検出されなかった。従って、宇宙船内部の殺菌状態はきわめて良好であったと判断される』と結論づけている [10]。しかし、この結論はきわめて重大な危険性を含んでいる。検出されたのが一種類だったとはいえ、地球の微生物が長期間月面で生き延びていたのである。ましてやサーベイヤー3号は無人探査機であったことを考えれば、その後のアポロによる有人探査では実際に宇宙飛行士が月面に降り立ったり、月面作業車ローバーで移動したりしている訳で、当然もっと多くの微生物が飛散しているだろうと考えられる。しかし、NASAは上記報告書を提出してから、なぜかこの問題には触れていない……。

1961年にガガーリンが人類ではじめて宇宙へ行ってから、すでに30年以上たとうとしている。その間に人工衛星や惑星探査機は、有人無人合わせても5,000個以上打ち上げられている。こうした宇宙船の中には、すでに地球圏内に突入して燃えつきたものや、太陽系をはなれてはるか宇宙のかな

サーベイヤー3号から発見されたのは、写真のような連鎖球菌の一種だった。連鎖球菌は地球に普通にみられる細菌で、月面の過酷な環境の中で2年半も生き残っていた。



アポロ12号の宇宙飛行士が、サーベイヤー3号の回収作業をしている。宇宙飛行士が手をのばした先にある円筒形のカメラから、地球の微生物が発見された。



(ニュートン、1993年7月号、Vol.13 No.8より転載)

たを旅しているものもある。しかし、かなりの数が現在でも地球や惑星のまわりを周回し、いずれは燃えつきたり惑星に激突する運命のものもある。今後さらに多くの宇宙船が、いろいろな目的のもとに打ち上げられる計画である。最近、NASAでは宇宙船内部の殺菌消毒を緩和しようという提案がなされているようである。つまり、不必要な殺菌消毒はとりやめて、そのぶん宇宙開発の発展のためにまわしたほうがよいではないかというものである。これは一見もっともな意見のように思われる。しかし、不用意なアポロ計画のために月面はすでに地球の生物で汚染されてしまっている。最近の国際的な認識では月面開発にかぎっては汚染に関する問題は無視してもよい（残念ながらすでに汚染されてしまっているから……）という傾向にあるようである。火星にしてもバイキングがすでに着陸している。ちなみに、今まで火星探査を目的として打ち上げられた探査機は、米国と旧ソ連を併せて26個ある。この内、わかっているだけでも米国の探査機3個と旧ソ連の探査機8個がすでに何らかの形で火星表面に存在していることになる。こうした現状から推察して、残念ながら火星の表面もすでに地球の生物によって汚染されてしまっているという科学者もいるくらいである。こうしたまちがいを今後二度と繰り返さないためにも国際的なガイドラインの設定が急がれているわけである。

宇宙検疫のもう一つの問題である、宇宙から地球に微生物を持ち込み、それが地球環境の汚染をひき起こすという危険性であるが、今後宇宙開発が進み、惑星や衛星の土壌、岩石といった試料が持ち込まれる可能性は多いにあると考える。さらに、月面基地や宇宙ステーションが恒久的に活動を始めれば宇宙からの帰還者は現在の数十倍にも達するであろう。こうした事態を想定して、今から国際的な安全基準のガイドラインを作っておく必要

性は急務である。アポロ計画が進められた当初は月からの帰還飛行士は、宇宙で未知の微生物に汚染された場合にそなえて、隔離施設に収容して精密な検査を行っていた。しかし、最近ではこうした措置も行われなくなっているようである。

以下に私どもが宇宙検疫に関して緊急に検討すべき項目として現在検討している内容をあげる。

1. 地球由来の生物が宇宙環境でどの程度適応できるかどうかデータの集積と実験的検証
2. 宇宙船内及びローバー等の殺菌技術に関するデータの集積と検討
3. 地球外物質、例えば惑星や小惑星のレゴリスや岩石を採取して資源探査や生命探査を行う場合の実験設備とそのサンプルの後処理に関する検討
4. 宇宙検疫に関する国際的な制度作りの検討

5. 今までになされてきた宇宙汚染の防止に関する国際的活動

1959年国連は宇宙空間の平和的探査及び利用における国際協力を目的として、総会決議第1721号によって宇宙平和利用委員会を設置した。本委員会は国連母体と各専門機関（COSPAR, ICSU, UNESCO, WMO, ITU）より構成され、宇宙活動関係業務推進の要請及び打ち上げ国に本委員会への報告を要請することを主業務としている。

1962年第1回宇宙平和利用委員会が開催され、宇宙法立法が審議された。その中には探査衛星、航行衛星など実利用問題だけでなく宇宙汚染の問題も含まれていた。

1965年国連総会において「宇宙空間実験の潜在的有害効果に関する諮問委員会の報告書」が提出された。その内容は

- a) 上層大気圏汚染問題
- b) 軌道ダイポール問題（ウエストフォード計画）

c) 諸天体の汚染問題

であった。その内、諸天体の汚染問題に関して報告された概要は次の如くである。

当諮問委員会は火星の生物学的汚染の可能性について検討したが、火星研究から得られる、生命の進化、生物学一般に関する重要な情報の価値をけって損失してはならないと意見の一致をみた。消毒殺菌技術に関しては多くの検討すべき重要な問題を含んでいることを認めつつ、当委員会は関係生物学者と協議し、火星に着陸する物体の許容殺菌限度を早急に設定する必要性を確認した。さらに、委員会としては「宇宙探査殺菌基準パネル」の報告に基づき、当面火星探査計画を企画する能力を有する諸国に対して、暫くの期間はFly-Byミッションのみを計画することを要請した。しかし、その後ご存じのように1969年米国はアポロ計画で有人月面着陸を行い、さらに1975年にはバイキングによる火星無人着陸を行った。

1978年COSPAR (the Committee on Space Research) は本格的な惑星探査に向けて基準値を設定した。つまり、惑星が汚染を受ける確率 P_c (Probability of Contamination)を次の式により、 $P_c < 1 \times 10^{-3}$ と設定した。

$$P_c = P(vt) \times P(uv) \times P(r) \times P(a) \times P(sa)$$

P_c : 惑星が地球由来の生物で汚染を受ける確率

$P(vt)$: 宇宙の超真空と超低温で地球の生物が生存できる確率

$P(uv)$: 宇宙紫外線の照射で生存できる確率

$P(r)$: 探査船から惑星表面に飛散される確率

$P(a)$: 飛散された生物が惑星表面にたどりつく確率

$P(sa)$: 飛散された生物が惑星大気にたどりつく確率

ここで $P(vt)$ と $P(uv)$ は $<10^{-1} \sim 10^{-2}$, $P(r)$ を $10^{-2} \sim 10^{-3}$, $P(a)$ と $P(sa)$ を1に等しいと考えて、 P_c を 1×10^{-3} 以下と設定した。

一方、SSB(the Space Science Board's Committee)の基準では地球生物が惑星環境で生育する確率 P_g (Probability of growth)を次のように設定した[11]。

火星を3部分に分けて

・極冠以外の地下 (表面から地下6cmまでを示す) は $P_g < 1 \times 10^{-10}$

・極冠以外の地表 (地下6cmより深い部分を示す) は $P_g < 1 \times 10^{-8}$

・極冠は $P_g < 1 \times 10^{-7}$

ちなみにNASAはバイキングの時は $P_g < 1 \times 10^{-6}$ に設定したと公表している。しかし、 P_c と P_g ではあまりに値が違いすぎる。多分、SSBの基準値は惑星環境で生物が生育する確率をかなり小さく設定したものとする。ただ、宇宙環境の汚染という意味を考えた場合、生物がその宇宙環境で生育する (増殖という意味が含まれていると考える) 確率としての意味であれば非常に小さな数値であるのもうなずける。しかし、汚染を考えるならば生育する確率ではなくて生存する確率を考えるのが妥当であろう。

その後、1984年NASAは探査機やミッションのタイプに従って5段階の基準を提案した (表8)。さらに、1991年NASAはMESURミッションの基準値として1984年のものをさらに弱めた P_g 値の基準を提案している [11]。

近い将来、火星の全体探査が始まろうとしている今こそ宇宙検疫の問題に真剣に取り組み統一された国際的な基準の設定をしなければいけないと考える。そして、もしも、生命の痕跡でも確認された場合には、ただちに探査活動を中止して計画の再検討を行うくらいの勇気が必要であろう。一方、宇宙から地球への持込みに関しても、NASAでは1987年に火星からのサンプルリターンに際してガイドラインを提案した。しかし、その中で、惑星の検疫に関する事項は、試料を回収したコンテ

	Category I	Category II	Category III	Category IV	Category V
Type of mission	Any but Earth return	Any but Earth return	No direct contact (flyby, some orbiters)	Direct contact (lander, probe, some orbiters)	Earth return
Target planet	Sun, Mercury, Pluto	To be determined	To be determined	To be determined	To be determined
Degree of concern	None	Record of planned impact probability and contamination control measures	Limit on impact probability Passive bioload control	Limit on probability of nominal impact Limit of bioload (active control)	If <i>not</i> safe for Earth return: —No impact on Earth or Moon —Sterilization of returned hardware —Containment of any sample
Representative range of requirements	None	—Documentation only (all brief): • PP plan • Prelaunch report • Postlaunch report • Postencounter report • End-of-mission report	—Documentation (more involved than Category II): • Contamination control • Organic inventory (as necessary) —Implementing procedures such as: • Trajectory biasing • Cleanroom • Bioload reduction (as necessary)	—Detailed documentation (substantially more involved than Category III): • P_c analysis plan • Microbial reduction plan • Microbial assay plan • Organics inventory —Implementing procedures such as: • Trajectory biasing • Cleanroom • Bioload reduction • Partial sterilization	<i>Outbound</i> —Per category of target planet/outbound mission <i>Inbound</i> If <i>not</i> safe for Earth return: —All of Category IV requirements —Continual monitoring of project activities —Preproject advanced studies/research If <i>safe</i> for Earth return: None

SOURCE: Reprinted with permission from DeVincenzi, D.L., and P.D. Stabekis. 1984. "Revised Planetary Protection Policy for Solar System Exploration." *Adv. Space Res.* 4(12):291-295.

表8 1984年NASAによって提案された探査機やミッションに関する5段階の安全基準

ナ内部の圧力は外部よりも小さくして外部に漏れだすことに注意すべきであるという簡単な記載のみであった。さらに、ある情報ではNASAの場合2～3億、ロシアの場合は約10%の費用を汚染防止に費やしているそうである。というように非常に曖昧な基準で第三者的なチェック機関すら行われていないのが現実である。

6. おわりに

最近、私どもはいろいろな分野の専門の方々にお集まり願って、宇宙検疫の問題について検討を行っている。つまり、宇宙船内部やローバーの殺菌技術の開発、および宇宙空間の微生物汚染除去

技術の開発といった問題に対して真剣に対策を検討するというものである。

先日、ハンブルクで行われた第30回 COSPAR (1994年7月11～21日)の席上でも地球由来微生物による宇宙環境の汚染の問題が主要テーマとして取り上げられ、各国の研究者によってその必要性が論じられた。ただ、こうした問題に対して深刻な事態を予測して国際的な基準作りを呼びかけているのは、まだごく少数の科学者だけであるのはなんとも残念である。こうした基礎的努力こそ、地球人類の未来、ひいては宇宙的生命の未来にとって必要欠くべからざる命題であると考ええる。今こそ、わが国がこうした問題のパイオニア的な存

在となって、国際的に健全な宇宙開発をリードすべきであると考ええる。

参考文献

- [1] 小池惇平, 大島泰郎, 1989 : 宇宙空間環境に於ける微生物の生存の可能性を探る. 第6回宇宙基地利用シンポジウム, pp.62-66.
- [2] 小池惇平, 大島泰郎, 1989 : 宇宙環境由来の生物による宇宙環境汚染の可能性に関する研究. 大気球シンポジウム, pp.47-50.
- [3] 小池惇平, 大島泰郎, 1990 : [特集] 宇宙環境下の微生物生存に関する基礎研究. 日本宇宙生物科学 **4**, 3-8.
- [4] Koike, J., Oshima, T., Kobayashi, K., and Kawasaki, Y., 1992: Fundamental studies for searching of life on solar planetaries. The Proceeding of the 9th Space Utilization Symposium, (July, 13-14, 1992, Tokyo, Japan), pp.88-90.
- [5] Koike, J., Oshima, T., Koike, A. K., Taguchi, H., Tanaka, R., Nishimura, K. and Miyaji, M., 1992: Survival rates of some terrestrial microorganisms under simulated space conditions. *Adv. Space Res.* **12**, 271-274.
- [6] Koike, J., 1993: Fundamental questions concerning the contamination of other planets with terrestrial microorganisms carried by spaceprobes. *J. Space Tech. and Sci.* **7**, 9-14.
- [7] Koike, J. and Oshima, T., 1993: Planetary quarantine in the solar system, survival rates of some terrestrial organisms under simulated space condition by proton irradiation. *Acta Astronautica* **29**, 629-632.
- [8] Koike, J., Oshima, T., Kobayashi, K. and Kawasaki, Y.: Studies in the search for life on Mars. *Adv. Space Res.*, in press.
- [9] Weber, P. and Greenberg, J. M., 1985: Can spores survive in interstellar space? *Nature* **316**, 403-407.
- [10] Taylor, G. R., 1974: Space microbiology. *Ann. Rev. Microbiol.*, 1974, 121-137
- [11] Space Studies Board National Research Council, Washington D. C., 1992. *Biological Contamination of Mars.*