

宇宙ステーション高度での微生物、有機物、鉱物探査

山岸明彦 東京薬科大学
 小林憲正 横浜国立大学
 丸茂克美 産総研地質情報
 山下雅道 宇宙科学研究本部

Possible migration of life among planets has been a target of argument on the origin of life for long time. The airborne microbe has been analyzed using aircraft, balloons and meteorological rockets. We have recently conducted microbe-sampling experiments using an aircraft and isolated extremely UV-resistant microbes. Currently, analysis of microbes isolated using a balloon is also on progress. To extend the course of the experiments, we propose the microbe-sampling experiment at the exposure area of the Space Station. The methods to collect micro-particles and to detect microorganisms are discussed.

古くから生命の起源に関して、地球上で生命が誕生したという説と、地球外で誕生した生命が地球に運ばれてきたと言う説の二つがある。後者は「パン・スペルミナ」として知られている。また、太陽系を考えた場合、生命が他の惑星から地球へやってきたという可能性とともに、地球から他の惑星へ移動したという可能性も考えられる。こうした宇宙空間を経た生命の移動伝播の可能性は、これまでいくつかの方法で検討されてきた。その一つは、宇宙環境へ微生物を露出した際の生存可能性を検討する実験である。また、火星由来の隕石の分析も行われている。

さらに、地球の大気圏上空に微生物が実際に存在するかどうかの研究も行われてきた。表1は、これまでの代表的な高々度での微生物の単離実験をまとめたものである。古くは1930年代より、航空機、大気球、気象観測用ロケットを用いて、大気中の微生物採集実験が行われてきた。しかし、これらの実

験は1980年代以降の分子生物学の発展以前に行われたため、単なる微生物の単離とその種の同定に終わっていた。

山岸らは最近、航空機を用いた微生物採集実験を行った。対流圏上層と成層圏最下層(12 km以下)で、航空機搭載の大気中微粒子ろ過装置を用いて大気をろ過することによって微生物を採集し、5株の真正細菌を単離した。菌の存在密度は表1に示した以前の報告と、ほぼ同程度であった。単離した5株の内の2株は大変強い紫外線耐性を示した。これまで、*Deinococcus radiodurans* という真正細菌が、放射線に対して最も強い耐性を示すことで知られている。航空機で単離された2株は *D. radiodurans* と同等かそれ以上の紫外線耐性を示した。また、それら2株の16S rRNA 遺伝子の解析を行ったところ、*D. radiodurans* と約92%の相同性を示した。すなわちこれら2株は、*Deinococcus* 属と属レベルで類縁性を持つ新規の菌であると推定された。

Table 1. Earlier works on isolation of microbes at high altitudes.

Year	Mission	Altitude	Device	Species	Cell density	Reference
1936	Balloon	11-12km	Sterile cylindrical sampling device descending by parachute	<i>Bacillus</i> sp. Fungi	0.14 m ⁻³	Rogers, L. A., Meier, F.C.
1966	Aircraft	3 km	On soluble gelatin foam filters	Fungi <i>Bacillus</i> <i>Micrococcus</i>	5-200 m ⁻³	Fulton, J. D.
1967	Balloon	10-30km	Drawing large volumes of air by a fan through polyurethane foam filters	<i>Micrococcus</i> <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i>	0.8-0.02 m ⁻³	Bruch, C.W.
1976	Meteorological rockets	48-58 km	Nutrient medium on a film	<i>Micrococcus</i> <i>Micobacterium</i>	31 (Total cells isolated)	Imshenetsky, A.A. Lysenko, S.V., Kazakov, G. A., Ramkova, N. V.

また、それ以外の上空単離株を地上（飛行場及び大学キャンパス）で空中から単離した菌株と比較したとき、残り 3 株の上空単離株も、地上株より強い紫外線耐性を示した。このように、紫外線耐性菌が上空単離株のなかで高い比率を持つということから、これらの単離株が地上菌の実験中の混入とは考えにくいと考えられる。そしてこの実験結果は、紫外線耐性菌が大気圏で濃縮している可能性を示している。これらの結果に関しては宇宙生物科学会(2001年)及び大気球シンポジウム(2002年)等で報告している。

さらに昨年度および今年度、山岸らは大気球を用いた微生物採集実験を行った。大気球でつり下げたゴンドラ中の大気中微粒子ろ過装置を用いて大量の大気を吸引ろ過し、微生物の採集を行った。高度 16km-25km で約 9 から 10m^3 （地上気圧温度換算）の大気をろ過し、ゴンドラの回収に成功した。それぞれの年度のろ過フィルターからそれぞれ数株の真正細菌株の単離に成功した。しかし、採集過程および培養過程で起きたいくつかの想定外の事態より、単離した菌が本当に上記採集高度で単離されたものであるかどうかは現在検討中である。（詳細は 2004, 2005 年大気球シンポジウム報告集参照）。

本研究提案は、こうした実験結果をもとに、さらに上空での微生物の存在を検討しようとするものである。実験では宇宙ステーション曝露部に微粒子の採集装置を設置し、微粒子を採取の後に地上に回収し解析を行う。

これまで、微粒子の採集装置としては能動的に微粒子速度を低下させて採集する装置と、適当な材質

の素材に微粒子を受動的に捕捉する装置の二つのタイプが検討されてきている。能動的に採集する装置としては、高速で飛来する微粒子に電子を衝突させて荷電し、電氣的に減速させる装置が NASA で検討されたが、今のところ完成は伝えられていない。

受動的な微粒子採集装置はエアロゾルやアルミニウムなど適当な材料に、微粒子を衝突させ減速捕集する装置である。高速で飛来する微粒子は衝突で放出されるエネルギーの為に破壊あるいは蒸発してしまう。比較的低速の、質量の少ない微粒子を非破壊的に捕集するためには、密度の低い高分子ゲル（エアロゾル）が用いられている。Fig. 2 は JAXA が実施した MPAC & SEED 実験で用いられた宇宙微粒子捕捉用の装置である。右上の格子状の部分に微粒子非破壊採集用のシリカエアロゾルが装着されている。この装置は平成 13 年ロシア宇宙基地よりソユーズによって打ち上げられ、同年 10 月に国際宇宙ステーションロシアサービスモジュール外壁へ取り付けられた。装置は取り外され平成 14 年 11 月に地上へ回収された（JAXA プレス公開資料）。微生物採集の目的でも、こうした方法が基本的には応用可能であろうと推定している。すなわち、微粒子サンプリングの装置、方法は基本的にはできあがっているといえる。

実験実施を準備する上で検討する必要のあるもう一つの課題は、捕捉された微粒子中から微生物を検出する方法である。検出方法としては、1) 培養による検出、2) PCR による検出、3) 蛍光色素による染色等が候補として考えられる。

1) 培養による検出は、他の方法には無い利点を

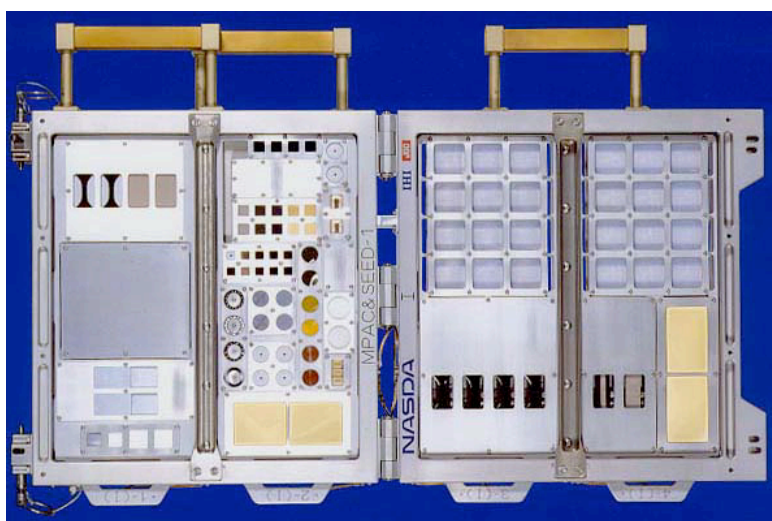


Fig. 2. Device assembly of MPAC & SEED experiments. (From the web site of JAXA. http://www.ista.jaxa.jp/res/d09/mpac_seed/seed/index.html)

持っている。たとえば、培養に成功すれば、菌の微生物学的性質を余さず解析することが可能である。また、もし地球型でない微生物が検出された場合にも、それを解析することが可能となる。しかし、そうした可能性はおそらく非常に低いと予想されるので、実施優先順位は低くする必要がある。2) PCRは原理的に一細胞でも検出可能であること、地球型の微生物であれば確実に検出できること等から有望な方法である。しかし、微粒子を捕捉材料上から解析用微小試験管へ移す作業が必要であり、解析中の地上菌の混入の可能性がある。3) 蛍光色素染色法は、一細胞でも検出可能であることはPCRと同じであるが、ターゲットとする酵素、用いる蛍光試薬の種類によって得られる情報は異なってくる。しかし、いずれの場合にも捕捉材料中での検出が原理的には可能であり、地上菌の混入と区別することができる。4) さらにPCRと蛍光色素法の両方の長所を併せ持つin situ PCR法が有力な方法として検討されるべきである。この方法は基材に固定された細胞中でPCR反応を行うことによって特異的遺伝子を増幅し、最終的には蛍光色素で検出する方法である。PCRによる感度と識別能力、それに蛍光染色法の標的を実際にその場所で観察するという長所を併せ持っており、

最優先で検討すべき方法である。

さらに、こうした方法を検討するに当たっては、捕集材料との適合性についてもあらかじめ検討しておく必要がある。すなわち、捕集材料に埋もれたその場で検出するのか、あるいは、捕集材料を溶解した後微粒子をろ過濃縮してフィルター上あるいは、さらに溶液として分析するのかと言う点である。感度と検出操作中の地上微生物の混入の可能性を少なくするためには、できる限り捕集材料上での検出が望ましい。そのためには、蛍光法あるいはin situ PCR法が最適である。しかし、固体物質の中には蛍光性のものがあり、その場合には蛍光での微生物検出は困難となる。蛍光法あるいはin situ PCR法と捕集材料材質との適合性の検討が必要である。

また、本報告では詳しくふれなかったが、生命の起源前の無生物的有機物合成の場所として、惑星間塵が有力な候補の一つとして検討されている。しかし、これまで実際に惑星間塵から有機物を検出する実験は行われていない。もし、有機物が検出されれば画期的な成果となる。また、宇宙塵の鉱物学的解析から太陽系形成過程に関する重要な情報が得られることはいうまでもない。丸茂らは現在1 μ mの分解能をもつX線分析装置を開発中である。