

特集「地球外有機物」(2)

地球外微生物の探査

河崎 行繁¹

1. はじめに

1.1. ???の連続

地球では基本原理から考えると一つの型の生命しか見つかっていない。すると、生命の誕生はたった1回だけ起こったまったくの偶然だったのであろうか？または、現在の型の生命が物理的に安定で、過去に何度も生命は誕生したのだが、それらはすべて現存の型の生命だったのだろうか？

多種の生命型が誕生したが現存型以外の生命は生存競争で破れてしまった結果一つの型の生命しか存在しなくなったのか？すると、我々は異なった生物を徹底的に滅ぼすほどのエイリアンも顔負けの凶暴な生命だったのか？人類の親戚であるネアンデルタールが生存していないのは我々が壊滅させてしまったからなのだろうか？

実験室では単純な無機物から生命に関連のある有機物が簡単に作れるが、生命と呼べるものはできていない。有機物から生命に至るには超大ジャンプが必要なのだろうか？

現在、地球にはどれだけの種の生物がいるのだろうか？もしかしたら、地球上でも我々と違った型の生命が隠れていないだろうか？

??-----?

いつまでもきりがないのでこの辺で止めることにするが、生命に関して基本的な疑問は限りが無い。

生物科学は20世紀後半において爆発的に発展し

た。購読数の最も多い科学雑誌である Nature, Science をみると、これらの雑誌が生物科学専門誌ではないのかと思われるほど生物系論文が席卷している。生命科学とは人間を視点においた生物科学であると筆者は考えているが、この定義に従えば、これらの科学雑誌においては生命科学分野の論文はさらに多くなる。こんなにはびこっているのだから、冒頭に挙げたような生命に関して最も基本的と思われる疑問点はかなり研究されていると思われるかも知れないが実際は逆である。これらの疑問点に関して正面から研究しようとする研究者の数はむしろ減少しているといえる。はやくいえば専門家の間ではトレンドではなく、研究費も獲得できない分野となりつつあるのである。でも研究者はこれらの疑問点の解明が不要と考えているわけではない。解明ができないのである。その原因の一つは、適当な手法が無いことによる。冒頭でのべた疑問点を解明する有力な戦略は異なった原理に基づく生命を見つけるか、地球以外で（地球生命とは独立に生まれた）生命を見つけることである。

もし、これらの生命がいたとして我々が検出可能であるものは、まず微生物であるか、我々よりはるかに進んだ文明を持っており、かつ、我々と交信をしたがっている知性体であろう。後者は SETI の研究者が調べているが、我々は前者を検出することを試みている。

¹三菱化成生命科学研究所, 宇宙科学研究所

1.2. やっかいな質問

本誌の読者で特に宇宙（ここでは地球圏外を指すとする。）を対象とした研究を行っておられる方は一般の人からこんな質問を受けたことがおありではないだろうか。

「宇宙を舞台にした研究は私たちの生活とどんな関係があるのですか？宇宙研究には莫大なお金がかかるそうですが、地上ではもっと重要な問題が山積しているのではないのでしょうか。」

現時点で、私自身が上の疑問に対して明確な答えを持ってはいない。でも、常にこの疑問に答えられるように努力はしている。宇宙科学に限らずほとんどの実験科学は近年ビッグサイエンス化してきており、必要な研究費も増大している。そしてそのいくつかは中断かそれに近い状態になっている。でもそれらの研究の最大の動力源となっているのは素朴な疑問である。生命科学の分野では冒頭に述べたようなもっとも基本的な疑問が未解決なのである。このような、自然科学的、哲学的解答に加えて、本タイトルにある微生物探査の研究は直接、人間生活に関連しているという実学的解答も抜け目なく準備している。（事実をいうと実学的解答が先にあって、その応用として宇宙との関連をうたったのであるが。）

1.3. 三つのエピソード

もう古くなってしまったかと思われるかも知れないがイラクとアメリカの間で“湾岸戦争”があった。この時、破壊されたクウェートの油田から大量の原油がペルシャ湾に流失したが、その原油がその後どうなったかがモニターされている。1/3は蒸発、1/3は海岸に固形物として埋没、そして残りの1/3は行方不明なのだそうである。これは戦争の場合であるが、驚くべき事に、この地域では

平常時でもかなりの原油が流失しているのだそうである。この原油の行き先についてはいままでモニターされていなかった。しかし、ペルシャ湾は海も海岸もかなりきれいなところだとされている。ということは、定常的に流失していた原油もどこかで処理されたはずである。これらの行方不明の原油の行き先としては微生物による分解が最大の候補とされている。

大気中に放出されたガスによる地球温暖化が騒がれているが、今後の温暖化をひきおこすガスとして注目を浴びているのがメタンである。このメタンはどこからくるのかというと、そのほとんどが微生物由来（水、土壌中や家畜の腸内にいる。）といわれている。シベリアのツンドラ地帯にもメタンを発生させる細菌が多量にいる可能性が高い。もし、温暖化によって永久凍土が溶けてこの細菌が活動したら、悪循環サイクルに入り込み、温度上昇が加速されるかもしれない。

コシヒカリはおいしいとほとんどの人がいう。試験的に、タイとアメリカでも新潟と同じコシヒカリをつくり、日本人に味の比較をしてもらおうという試験があったそうである。その結果は、同じ、コシヒカリでも味に大差があり新潟産の圧勝であった。

農作物の生育には環境が大事であるが、現在までの所、気温、日照、水分、土壌のpH、土の硬さ、保水力といった物理化学的性質と肥料、薬物を重要視していた。確かに、このような因子を制御すれば作物は作れる。しかし、問題はこの状態で長期的に安定して作柄を保てるのか、栄養価は、味はといった点になると上にあげたような因子だけでは話が済まなくなるのである。農業専門家の間では、次の課題の一つは微生物との関係であるといわれている。”コシヒカリ”試験の原因が何で

表1 地球外生命探査法の分類

		探査の対象となる物、現象
遠隔探査法	形態形状観察法	生物群落、建造物、電磁波輻射
	生体分子検出法	生体分子（アミノ酸、葉緑素の吸収など）
	生物産物検査法	還元性分子と酸化性分子の共存 非天然分子
	電磁波受信法	知的生命の発した電波の受信
近接探査法 (現地まで行く。)	形態形状観察法	生物個体、生物群落、建造物、 電磁波輻射
	生体（分子）検出法	生体分子、生物、代謝産物
	生物産物検査法	取り込み能、代謝産物

あったかは不明であるが、原因の一つとしてコメと微生物の共存関係を考えてもおかしくはない。

この三つのエピソードは微生物の探査、定量が如何に地球、人類の未来に重要であるかという事を示唆するものである。ところが、驚いたことに、自然界での微生物を探査する方法はまったく原始的な状態に留まっているのである。特に土壌のような不均一系での探査はまったく手付かずの状態である。そこで、我々は土壌中での微生物を検出する方法の開発に乗り出した。でも考えてみると、この方法というのは、そっくりそのまま地球外生命の探査に使えるのである。従って、地球外生命探査ということで特別に方法をあみだす必要はほとんどなく（小型軽量化の要請は宇宙の方がはるかに大きい。）地球の食料、環境問題の解決のための方法開発がそのまま使えるという点で、宇宙生物学の研究はそのまま人類の福祉に貢献できるのである。これが私が用意した実学的解答である。でも私は実学的解答ができないなら研究する価値は低いといっているのではなく、やはり第一義的には、科学的探求心をあげるべきだと考えている。

野球やサッカーは直接生産をしているわけではないが、宇宙研究よりはるかに多額の費用（間接

的な費用も含める。）がかかっているにもかかわらず誰も文句は言わないのである。

このような背景の元に、我々は火星の生命探査を目的として微生物の探査法を開発中であるのでそれについて紹介したい[1-7]。特に、生命探査についてより詳細に知りたい方は文献1、2、6を参照されたい。

2. 探査法と確率

地球外生命の探査法を分類すると表1のようになる。

この中で電波による生命探査は世の中で非常に関心を持たれている。この方法は交信ができる程度に文明がすすんだ生命だけを対象とする。しかし、地球の生命の歴史を考えると、生命が誕生して以来、35～38億年たっているのに対して、宇宙レベルで電波交信ができる状態になってからは高々40年程度である。ここで、生命の存在と宇宙交信可能な文明の存在との確率を比較するのに、地球上での両者の持続時間をあてはめてみよう。すると、

$$\text{生命が存在する確率} / \text{文明が存在する確率} = 40 \text{年} / 35 \text{億年}$$

となり、生命存在の確率は文明のそれに対して 10^8 倍も高い[1]。更に、現在地球で意図的に宇宙交信のためにさいている時間は、どう多く見積もっても年に数時間以下である。地球外に文明があったとしてもその文明が意図的電波交信にさく時間は似たようなものであろう。

これを考慮すると電波で交信できる確率は非常に低くなる。従って、単純確率的にいうと、生命そのものの探査は電波による文明探査に比べて掛け率としては圧倒的に良い。せっかく生命が存在する星のそばまでいっても、意味のある電波がでていないという理由だけでその星の探査を取りやめてしまうのはまったく損なことである。

しかし、文明を電波で探す方法は空間的に広いところを短時間で調べられるという点で他のどの方法よりも優れている。すなわち、生命探査と文明探査は先に述べた生命システム、文明システムのそれぞれを探査するものとして、棲み分けをするようなもので、それぞれが価値のあることとして、平行して研究されるべきものである。

3. ヴァイキングミッションを振り返る

現在、地球外で生命が存在する可能性が少しでもあると考えられる天体を表2にあげてみた。この中で最も可能性が高く、また、技術的にみても探査が比較的容易である天体は火星である。その根拠はいくつかある。まず、表3[8]にあるように現在の火星でも場所を選べば生命が存在できそうな条件があるということである。また、火星においても、過去においては凝集熱によって温度が高かったはずであるから、現在は生物がいなくても過去には生存していた可能性がある。火星誕生から10億年ぐらひは火星表面でも生命が生存、進化できる程度に高温であったという推測もされている。逆に、火星の温度が低いことが幸いして進化の初期段階にある原始的生命、または生命の前駆体が存在しているかも知れない。そして、最大の根拠は火星表面に過去に水が流れたと思われる痕跡が残っていることである。研究者によっては過去には火星の表面を200メートルの深さでおおうくらいの水があったと報告している[9]。これらの水が現在どこへいったのかは不明である。も

表2 生命(生体関連高分子)が存在する可能性のある天体

	公転半径 (地球=1)	半径 (km)	平均表面温度 (°C)	大気圧(気圧)、組成	備考
金星	0.72	6,070	460	90 [CO ₂ 97%, N ₂ 3%]	微量の水が存在
火星	1.52	3,389	-33(昼), -85(夜)	0.01 [CO ₂ 95%, N ₂ 2.5%]	氷が存在
木星	5.2	71,540		[H ₂ 81%, He 19%]	
イオ		1,815	-145(昼), -190(夜)	10 ⁻⁷ [SO ₂]	氷が存在? 火山活動
エウロパ		1,569	<-180	なし?	氷が存在
ガニメデ		2,631		希薄な気体あり	氷が存在
カリスト		2,400	-110(昼)	10 ⁻¹¹	氷が存在
土星	9.5	60,330		[H ₂ 89%, He 11%]	
タイタン		2,575	-180	1.6 [N ₂ , Ar, CH ₄]	メタンの海が存在?
海王星	30.1	25,559		[N ₂ , He, CH ₄]	
トリトン		1,335	-210~-220		液体窒素の海が存在?

しかしたら、地下に残っているかも知れない。

これらの理由から現在でも火星は最大のターゲットである。

火星の生命探査は1976年にアメリカが既に2回行っている。これはヴァイキングミッションとして有名であるがこれについて紹介しよう^[10]。

このミッションでは生命関連の実験は表4に示したものが行なわれた。

これらの実験の結果は生命の兆候すら見られないものであった。しかし、この探査には方法論的に欠陥がある。それは、直接観察法がほとんど用いられずに、代謝に関する実験のみが行われたことと標本を採取した場所が表層に近いところであった点である。地球上においても、微生物の代謝活性の測定は種によって固有の方法をとらなければならないことがある。また、培養にいたってはさらに種特異性が高い。従って、地球外生命に栄養を与える際に、それが毒ではないかといった不安定要素が常につきまとう。また、代謝活性の測定では死んでしまったもの、痕跡に近い段階まで分解されたものは検出できない。

標本を採取する地域も問題である。ヴァイキングミッションでは着地の条件を考えて比較的平らな二カ所（中緯度地方のユートピア平原とクリセ

表3 現在の火星の環境^[8]

質量	6.42X10 ²³ kg (地球の約1/10)
表面重力	0.38G (地球の約1/3)
脱出速度	5.02km/秒 (地球の約1/2)
太陽からの平均距離	1.52天文単位
地球からの距離	最大 3.96億km 最小 0.54億km
自転周期	24時間39分
公転周期	687地球日
大気圧	8 hPascal (地球の0.7%) (地球高度30kmに相当)
大気組成	CO ₂ 95.3% N ₂ 2.7% Ar 1.6% O ₂ 0.13% CO 0.07% H ₂ O 0.03%
温度	最高 37°C 最低 -126°C 平均 -68°C
風速	9~50m/秒
北極冠	夏 H ₂ O, CO ₂ 冬 CO ₂
南極冠	夏 CO ₂ 冬 CO ₂
太陽からの放射量	0.58kW/m ₂ (地球の43%)
オゾン層	なし
磁場	微弱

表4 ヴァイキング火星生命探査実験の特徴と結果

映像撮影	1.5m離れた位置で1.5 mmの分解能を持った撮像管を用いた。顕微鏡は無し。記念撮影程度である。
有機物分析	火星の土を500°Cに加熱し発生した気体をガスクロマトグラフィ、質量分析計によって分析した。
光合成実験	CO ₂ +CO+hv 発生したガスを分析した。
ガス交換実験	栄養液を加えた後、発生した代謝産物をガスにして分析した。
標識／放出実験	ガス交換実験とほとんど同じ内容。但し、放射性同位体を用いた。

結果

すべて生命由来と言える現象は得られず。

根拠：反応が急速すぎる。熱で殺しても反応が変わらない。何も見えない。その他。

一平原)を探索した。すなわち、紫外線や放射線の影響をもろに受ける場所である。しかし、放射線や紫外線の影響は氷や土がほんの少しでもあると大幅に軽減されることが知られている。従って、今後は極冠の氷の下やマリネリス峡谷の周辺、峡谷の底等を探索すべきであろう。また、火星には過去に水が流れたのではないかと思われる溝がある。水は生命の誕生、生存に必須であるので、これらの溝の近辺はもっとも探索の価値の高いところである。さらに、溝の底は先ほど述べたように種々の輻射の影響を避けられるといった点からも有利なのである。

このように、ヴァイキングミッションの火星生命探査は多くの問題を残したものであったので、これらのミッションで火星に生命はいない(または過去にもいなかった)という結論は下せない。今後はこれらの問題点を解決してより有効で直接的な探査を行なうべきである。

我々は、微生物検出が専門であるので、顕微鏡下での画像観察によって直接生物を検出する方法を開発中であるので次に紹介する。

4. 微生物探査法

微生物を中心とした生命探査はその方法論に多くの問題がある。一番の問題は表1にあるように対象とする天体にまで(または近傍にまで)行かなければならないか、試料を地球に持ち帰らなければならない事であろう。

もう一つの問題点は、目的の天体へ行ったとしても検出法が充分開発されていないことである。表5に現在地球上の微生物探査に用いられている方法を示す。これらの方法はいずれも一長一短で、特に、土壤中に微量しか存在していなく、培養も困難な微生物を検出することは非常に難しい。地球外の微生物探査の場合は、まさにこのような条件下でも微生物を検出できなければならないわけであるから、既存の方法では問題があることがわかりと思う。

顕微蛍光法で微生物が見えるか。

地球の生き物は非生物に比べて特異的な物質からなり、種々の生物活性を示し、外界とは別の特

表5 現在用いられている自然界の微生物検査法

平板培養法	特定の栄養培地に自然界の試料を散布し増殖させて検出する。	増殖可能なものだけを検出する。培養条件が不明の微生物は検出できないことがある。
化学分析法	試料中の有機物を検出する。	生物の直接検出ではない。生物と非生物との判別は不可能。操作は容易である。
代謝活性測定法	光や栄養を与えて代謝される物質を測定する。	微生物の直接検出ではないので、細胞数、分布、生態などはわからない。操作は容易である。
発光法	微生物を発光性にしたリ、微生物中のATPを発光性にしたリして検出する。微生物が本来持っている発光性を利用することもできる。	感度は高い。微生物1個体でも検出できる。自然界の試料を種々の処理をして測定するので、分布や生態はわからない。装置が大がかりで操作も煩雑である。
コールターカウンター法	微生物を懸濁して小さな穴を通し、その際、穴を通してのイオンの流れが妨害され、結果として電気伝導度が下がることを利用する。	微生物を懸濁状態にでき、かつ、共雑物がない場合のみ利用できる。微生物を1個ごとに検出するので感度は高い。
蛍光画像法	微生物を染色して発光性にし、そのまま映像として検出する。微生物が本来持っている蛍光を利用することもできる。	微生物の直接検出に近いので細胞数、分布、生態も知ることができる。生理状態や生死の判別もできる。微生物を1個単位で検出できるので感度は高い。しかし、非生物を生物とみなしてしまう可能性もある。装置が大がかりで操作も煩雑である。

異なる生理状態を維持している。これらの特異性を利用し、生物を光（おもに蛍光法）で検出することを試みた。図1に、蛍光色素を用いて細胞を検出する原理を示す。

核酸や蛋白質、糖といった物質は

その多くの特異的蛍光プローブを用いて検出できる。また、酵素活性は蛍光法で最も鋭敏に簡単に検出できるものである。細胞内外の電位、pH、金属イオン濃度の違いを蛍光で検出することによって生きている状態も識別できる。これらを組み合わせて画像として検出すれば対象とする微生物個体数が少ない場合でも、個体数、また、その生死、死んだ細胞の分解の度合なども判別しうる。過酸化水素で試料を酸化して構造をかなり壊した場合でも生物の検出はできる。

我々は画像法による微生物探査法を地球微生物に応用した。地球微生物の存在する環境で微生物の検出がもっとも困難なのは土壌である。これは土壌が非常に不均一で種々の有機物、無機物の混合体であるということがおおきな理由である。従って、土壌をそのまま観察して微生物を検出できれば他の環境下における検出はほとんど問題なくなるといえる。そこで我々は土壌微生物を効率よく検出する方法を開発することにした。

図2はエステラーゼという酵素の基質であるSFDA [5(and-6)-sulfofluorescein diacetate] という蛍光色素を用いて地球土壌を染色したものの蛍光像である。図中央で白く光っている一群のものが微生物であると思われる。これは大きさが5 μ m程

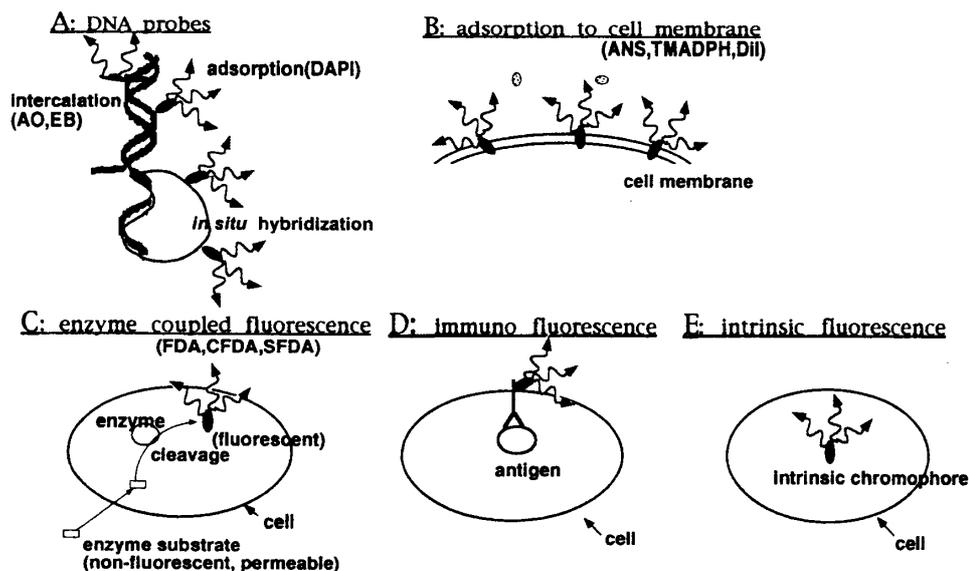


図1 蛍光法で微生物を検出する原理

A: 核酸に特異的に吸着して発光する色素を用いる。核酸の外側に吸着するもの (DAPI: 4,6-diamino-2-phenylindole) 塩基対の間に入り込むもの (AO: アクリジンオレンジ, EB: エチジウムブロマイド), 特異的塩基配列を認識しその部分に巻き込まれるもの (FISH) 等がある。

B: 細胞膜に吸着して発光する色素を用いる。(ANS: 1-anilinonaphthalene 8-sulfonate, TMADPH: 1-(4-trimethylammoniumphenyl)-6-phenyl-1,3,5-hexatriene p-toluenesulfonate, DiI: 1,1'-dilinoleyl-3,3,3',3'-tetramethylindocarbocyanine perchlorate)

C: 酵素によって分解されて発光したり蛍光スペクトルが変化したりする色素を用いる。(FDA: fluorescein diacetate, CFDA: 5-(and-6)-carboxyfluorescein diacetate, SFDA: 5-(and-6)-sulfofluorescein diacetate)

D: 微生物に特異的に吸着する抗体を用いる。この抗体を認識する二次的な抗体やビオチンアビジンといった吸着物質を用いて最終段階の分子に蛍光色素を結合させる。抗体を選べば細胞の種の同定もできる。

E: 細胞が本来持っている色素を用いる。通常、多くの細胞は強い蛍光は発しないが、植物、メタン生成菌のように強い蛍光を発するものもある。



図2 エステラーゼ基質であるSFDAによって染色された土壌の蛍光顕微鏡写真
中央部で白く光っている点が微生物である。細胞の大きさは平均5 μ mである。

度であるので大型のバクテリアかもしれない。これが生物であると考えた根拠は、エステラーゼ活性があること、明視野顕微鏡で観察すると微生物細胞らしい形態を持っているということ、熱処理をすることでこのような微少な点が見られなくなる、また、あらかじめ熱処理した土壤に、人為的に培養したバクテリアを加えてSFDA染色すると、図2に似たような像が観察されること等である。

さて、顕微蛍光法は生きた細胞と死んだ細胞を区別できるであろうか。熱による死に関して調べた結果を図3に示す。

図3によれば、エステラーゼ基質であるSFDAは生きている細胞（増殖可能な細胞）を、膜電位プローブであるANSはすべての細胞を検出するということがわかる。従って、ANSとSFDAとを組み合わせれば、自然界における全細胞数との中で生きている細胞数とがわかることになる。ただし、細胞の死には蛋白質の変性を伴う熱による死以外に多様な型があるので、それらのどのような場合にどんな色素、どんな染色法が良いのかといった点は今後さらに検討しなければならない。

次に顕微蛍光法で地球土壤の微生物をどの程度検出できるのかを調べた。表6は地球土壤を薄めて寒天培地で培養し、形成されてきたコロニー（増殖する細胞の集団）のどれだけをSFDAで検出できるかを示したものである。ここに、示されたように151/154とほとんど検出できたが、黒い色をしたカビ状のものは検出できなかった。そこで、我々はすでに単離同定された黒い色素を持った真

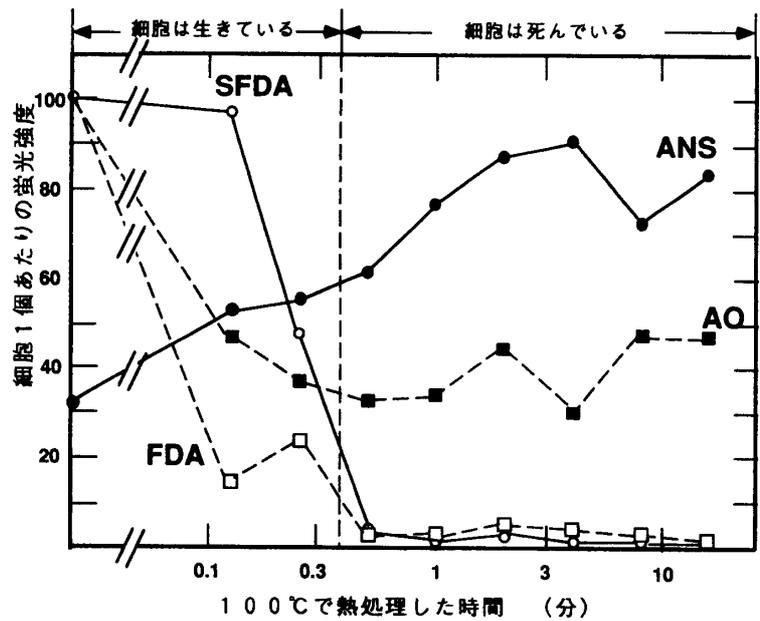


図3 SFDAによる細胞の生死の判別
培養された大腸菌を100℃で所定時間処理した後、細胞培養とSFDA染色を平行して行い、増殖可能な細胞数と蛍光強度との関係を調べた。SFDAは増殖可能な細胞のみを、ANSは全細胞を検出することがわかる。

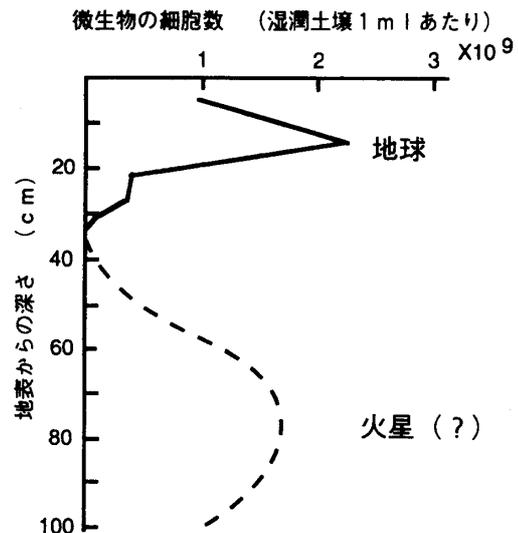


図4. 土壤（長野県志賀山土壤）における微生物の垂直分布
土壤を深さ別に採取し、SFDAで染色した後、蛍光測定から細胞数を調べたもの。細胞数をもっとも多いのは表面ではなく深さ15cmの所であることに注意。この原因は表面では乾燥したり環境が安定していなかったりするためと思われる。

表6 SFDAを用いた場合の自然界から単離培養されたコロニーの検出効率

培溶液 (NB培地) 濃度	1/1	1/10	1/100	計
検出されたコロニーの割合	73/74	46/47	32/33	151/154

菌（カビ）を用いて、顕微蛍光法で検出することができるかどうかを調べた。その結果、あらかじめ真菌を脱色剤で処理し、その後染色するとほとんど検出可能になることがわかった。従って、現段階では、顕微蛍光法で地球微生物のほとんどを検出できるという良いであろう。

さて、ヴァイキングミッションの項で示したように、火星においては、地中のどの深さから標本を採取するかが重要である。そこで次に我々は、地球において、微生物がどのような深さ分布をしているかを調べることにした（図4）。

図4をみると、生物にとって非常に条件がよいはずである地球においてさえ地表では細胞数が少し減っていることがわかる。この原因は不明であるが、やはり、地表は環境が不安定で、乾燥しやすく紫外線の照射もあることなどが原因であると思われる。

表面環境がはるかに厳しい火星ではどんな分布をしているのであろうか ???

5. 今後の展開

宇宙基地ミールの中の微生物環境ははいったいどうなっているのだろうか。カビとバイキンのオンパレードかもしれない。しかも、宇宙放射線によって突然変異したものがいるかもしれない。（ミールの船内では通常時でも地表にくらべて100倍、太陽フレア発生時には数千倍以上もの放射線を浴びているのである。）微生物探査の対象としては火星に優るとも劣らぬ興味あるものである。

この例のように、微生物探査は地球内外を問わずいろいろなところに応用できる。そこで、ここではこの方法の今後の展開について触れてみよう。

遺伝子組換え微生物を野外で使いたいという要請は強くある。しかし、その使用は危険性との兼ね合いで実施に困難がある。その理由の一つは野外でのモニタリングシステムが無いということである。この点に関しては微生物探査システムが完備されれば実現に一步進むことになる。その他、農林業のような一次産業、廃棄物処理、物質生産

表7 今後開発が考えられる微生物検出法

熱発生（画像、バルク）法	微生物が活動していると熱を発生する。この発熱（赤外輻射）を検出する。画像法にすることも可能であるが、現時点ではまだ、感度が低い。
磁気プローブ（スピンラベル）法	蛍光プローブの代わりに磁気プローブを用いこの磁気を検出する。現在、顕微鏡レベルでの画像化は困難であるが、NMRに代表される磁気顕微鏡の開発が進めば可能性がある。強磁性体のある環境下を除いて光測定に比べバックグラウンドが低い。また、不透明な試料でも測定可能である。
運動性検出法	生きていて運動するものだけを検出する。画像法に適している。ただし、検出できる微生物は限られたものとなる。
代謝画像法	代謝測定であるが、代謝物をその微生物のまわりに蓄積させ、それを画像として検出する。光吸収、光反射、蛍光で検出することもできる。吸収はされるが排泄されない化合物を放射性にして細胞内に蓄積された放射性同位体を画像化する。画像ではなくバルクでも測定可能である。
画像質量分析法	生物を色素で選択的に染める。その画像を見ながら、光照射によって発光部位だけを気化させ、飛び出した分子を質量分析する。感度も高く、発光している物が生物であるという事をいうための決定的証拠を得る事が出来る。細胞の種まで同定できる。

のためのバイオリクター等に関しても微生物探査システムは必須である。

基礎的な面では、特異な微生物の探査、特に、生命の起源や、進化に関係する古い土壤中の微生物の探査にも役立つ。特異な微生物は培養法で検知することは非常に難しいので画像法が強力な武器となる。また、我々の方法では原始細胞とも考えられるアミノ酸重合体の凝集物の一つプロテインノイドさえも検出できることがわかった[4]。従って、地球上や地球外で、まだ細胞には至っていないが、その途中の段階にある原始細胞様構造物をも検出できるかも知れない。

宇宙に関係した点では、ミールの例で述べたように宇宙船や宇宙基地、地球外基地のような閉鎖された生活系、生態系での微生物の動態を知るのに本検出システムは役立つ。

これらの環境に似たシステムとして南極の基地、病院内なども対象となりうる。特に、病院では院内疾病感染が問題となっており、微生物検出制御システムの完備が緊急に必要とされている。

地球外生命の探査とは逆に、地球生命による他天体の汚染に対するモニターシステムとしても応用できる。いわゆる、生物検疫である。探査システム全体の滅菌は意外と難しいものであり、滅菌法と共に微生物モニタリングシステムの確立も計らなければならない。

このように、微生物探査法はバラ色の可能性を持つものであるが、なにせ、例によって人手、時間、金がかかる。特に、宇宙に関してはシステムの小型自動化ということが重要になる。また、画像法と化学分析法をドッキングさせたような装置のようにまったく新しい原理の導入も必要である。(表7に、今後発展が予想される微生物検出法をまとめておく。) これらの点については現在、まったく手つかずの状態である。関心のある方はぜひ、

この研究に参加していただきたい。
最後は自己宣伝になってしまい失礼。

参考文献

- [1] 河崎行繁, 1993: 宇宙生命科学 学習研究社
- [2] 河崎行繁, 1993: 太陽系内の生命探査が生命の"ビッグバン"に挑む, 最新科学論シリーズ21 最新地球外生命論, pp.132-145
- [3] 河崎行繁, 辻 堯, 田中省二, 関谷知治, 竹島征二, 小池惇平, 大島泰郎, 1992: 地球外生命探査法の開発, 宇宙生物学 6, 274-275
- [4] 河崎行繁, 森本倫子, 辻 堯, 小池惇平, 大島泰郎, 1993: 地球外生命探査法の開発 II, 宇宙生物学 7, 印刷中
- [5] 河崎行繁, 辻 堯, 1994: 黒衣(くろご)を光の下へ, CELSS J. 6 :23-31
- [6] 矢沢サイエンスオフィス編, 1993:最新科学論シリーズ21 最新地球外生命論, 学習研究社
- [7] Tsuji T., Kawasaki, Y., Takeshima, S., Sekiya, T. and Tanaka, S., A New Fluorescence Staining Assay for Visualizing Living Microorganisms in Soil. Submitted for publication.
- [8] 火星移動科学探査車研究会編, 1991:火星ローバの基礎研究 第一次報告書
- [9] McSween, H.Y.Jr., and Harvey, R.P., 1993: Outgassed Water on Mars: Constraints from Melt Inclusions in SNC Meteorites. Science 259, 1890-1892
- [10] Horowitz, N., 1978: 火星に生命を探る. 日経サイエンス 8, 84-95