

宇宙理学：火星生命探査計画に向けた蛍光顕微鏡開発の現状と生命科学の宇宙探査への貢献

山岸 明彦（東京薬科大学 生命科学部 応用生命科学科）

Space science: Current status of development of LDM (Life Detection Microscope) for the Mars life search mission and the contribution of life science on space exploration.

*Akihiko Yamagishi**

* Tokyo University of Pharmacy and Life Sciences, 1432-1 Horinouchi, Hachioji, Tokyo 192-0392
E-Mail: yamagish@toyaku.ac.jp

Abstract: Past trial of direct detection of life on Mars by 1970's Viking mission reported a negative conclusion, whereas numbers of circumstances provided by recent Mars exploration missions in the last decade indicate that there are good reasons to perform another life detection program. Here we propose Life Detection Microscope that has much higher sensitivity than the instrument onboard Viking. Indeed Life Detection Microscope (LDM) that we propose here could detect less than 10^{*4} cells in 1 gram clay. Our life-detecting instrument has the sensitivity that is three orders of magnitude higher than the one onboard Viking that issued the negative conclusion. LDM is capable of identifying what we think to be the most fundamental features that a cell should possess to constitute life. Our Investigation Goals are: 1: High-resolution characterization of regolith and dust particles. 2: Search for any type of organic compounds in Mars surface samples. The compounds include cells, other biological materials, and abiotic polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH). 3: Identify cell-like structure in which organic compounds are enveloped by membrane, which may represent Martian life.

Among the planets and giant satellites in our solar system, the characteristics of Mars are most similar to those of Earth. This suggests that the life similar to terrestrial life may arise and survive on Mars.

Here we propose a new life detection project, to search for living microbes by fluorescence microscopy [1]. We propose to search for “cells” from a depth of about 5 cm below the surface, which is feasible with current technology. Microscopic observation has the potential to detect single “cells”. The subsequent analysis of amino acids will provide the information needed to define the origin of the “cell” in the following mission.

Physical and chemical limits for terrestrial life have been major foci in astrobiology [2], and are summarized in ref. [1]. Combining the environmental factors, anywhere in the Martian environment where we can find the three components, water molecules, reducing compounds and oxidative compounds could be an environment where life can be sustained for long periods of time, if other factors such as temperature, pressure, UV and other radiations permit. We will report the current status of the development of the Life Detection Microscope.

Key words; Space experiment, Mars surface, Fluorescence microscope

1. はじめに

1970年代のVikingミッションは、いくつかの実験を行ったが、有機物濃度が検出限界以下であったために火星表面に生命は存在しないという結論を出した。しかし、2000年代に入ってから再検討によって、Vikingの有機物検出感度は究めて悪かったことが明らかとなった。

また近年の火星探査により、火星の描像が大きくかわってきた。火星史初期には、おそらく海洋が存在し、地磁気もあり、当時の地球に大変似た環境であった。火山活動も数億年前まで継続していた可能性が高い。さらに、

現在でも春と夏に流出が起きる現象(RSL: Recurring Slope Linear)と呼ばれる現象がクレーター斜面に発見されている。これは、液体の水が流出している可能性が究めて高い。

一方、極限環境生物学の研究により、地球生命の存在限界が明らかとなってきている。火星は、温度と気圧が低く、紫外線の強い生命にとって過酷な環境である。しかし、これらの環境因子を地球生命の存在限界と比べると、火星表面で地球生命は一定期間生存可能である事が明らかとなってきた。

2. 生命探査顕微鏡

そこで、宇宙理学委員会「生命探査顕微鏡 WG」は、火星表面で有機物と微生物を検出する為の蛍光顕微鏡開発を進めている。生物学の分野では蛍光色素と蛍光顕微鏡は汎用されている。本 WG では、未知の火星生物も（存在した場合）できる限り検出可能な色素を、宇宙探査環境に耐性のある色素溶液として開発した。さらに、色素を添加して、自動的に画像を取得し、画像解析の後に地球に転送する為のシステムとして蛍光顕微鏡システムを開発している。

まず、火星の生命をどのような指標で検出し、判定するかの検討をおこなった。火星の環境は太陽系惑星の中で、最も地球に似ている。もし、生命が誕生したとすれば、水を溶液系とする生命である可能性が高い。地球の生命誕生前には、宇宙から宇宙塵や隕石中の含有物として大量の有機物が飛来したと推定されている。火星生命が誕生したとしたら、やはり有機物を基盤とした生命である可能性が高い。さらに、地球上のすべての生命は細胞を基礎としているが、細胞の表層は脂質膜で囲まれている。これは、様々な分子を濃縮して保持するためと考えられる。そこで、火星における生命探査では、有機物を染色する色素を 2 種類（Propidium iodide と Syto 24）用いて検討を行った。Syto 24 は死菌も生菌も染色するが、Propidium iodide は死菌のみを染色する。これは、Propidium iodide が生菌の透過性が低い細胞膜を透過出来ないことによっている。この色素の組み合わせは、Live and Dead として市販されている色素の組み合わせと同じである。Syto 24 は DNA 特異的な染色剤と理解されているが、実際にはそれ以外の有機物を広く染色する事が明らかとなった。我々は、火星生命が DNA を遺伝物質として利用していない可能性を考慮し、DNA を持たない細胞 (mini cell) でも、細胞膜の状態に対応して死菌と生菌を区別して（それぞれ、赤と緑）染色出来ることを確認した。

さらに、火星に到達するまでには最高 80Gy の放射線を浴びる可能性がある。また、火星表面での探査中には 50°C 程度の温度を経験する可能性がある。火星表面の温度は低く、0°C 以下でも顕微鏡観察できることが望ましい。火星表面の土壌中には過塩素酸塩が存在する事が分かっている。過塩素酸塩によって色素が分解される可能性もある。こうした火星探査中における環境に耐える、-20°C まで凍結しない色素液を開発した。

また、火星環境で利用出来る電力は限られており、火星へ着陸させる事のできる重量も限られている。さらに、火星から地球に送信できるデータ量にも限界がある。こうした、無人宇宙実験に必要な制約を乗り越える実験装置として、自動蛍光顕微鏡の開発をおこなっている。

3. 火星生命探査計画

現在検討中の火星生命探査計画では、前述の RSL を目指して、火星探査車を着陸させる。探査車は、RSL のクレーター上部で、移動しながら地中レーダー(GPR)で地質構造を解析する。地中レーダーで氷あるいは水の層の存在を検討する。さらに、生命探査顕微鏡を用いて、現在の知見で火星表面付近において最も存在確率の高い所で、 10^4 細胞/グラム土壌の感度（地球で最も細胞密度の小さい地域で生命検出ができる感度）で検出可能な生命の存否を明らかにする。仮に、地球外生命発見にいたらなかった場合にも、現在計画中の欧米のサンプルリターン計画、火星有人探査の安全性に関する担保が得られることになる。

4. 太陽系のその他の探査

生命探査に適切な、太陽系内の天体としては、土星の衛星エンセラダスとタイタンがあるが、これらについては、別の文献を参照されたい(3)。こうした天体での生命および有機物探査の為に、顕微鏡、エアロゲルを用いたサンプルリターン、アミノ酸分析装置等の開発を進めている。

5. 生命科学の宇宙科学への貢献

これまで、惑星科学、宇宙科学では「生命」あるいは「生命の起源」が枕詞になることはあっても、本気でその研究に取り組んではいない場合が大部分であった。近年、太陽系外の惑星候補が 5,000 個に及び、地球に似たハビタブルゾーン内惑星も複数見つかった。いま、地球外生命探査が科学的研究対象になってきている。太陽系外に生命が発見された場合にも、それを地球に持って帰ることはできない。そこで、太陽系内での生命探査が喫緊の課題となっている。また、生命探査を考える場合には、太陽系のどの惑星のどのような場所に、どのような生命が存在するかを検討することが重要となっている。

さらに、こうした点を検討する上では、地球生物の知見はもちろん、地球における生命の起源の研究、太陽系における有機物合成過程の研究を押し進める事から、太陽系における有機物と生命探査に様々な貢献をすることが求められている。さらに、有人探査や惑星検疫も生命科学者の知識と経験が必須な分野である。

参考文献

- 1) Yamagishi, A, *et al.* (2010) *Biol. Scie. Space*, **24**, 67-82.
- 2) Marion, G.M. *et al.* (2003) *Astrobiol.* **3**, 785-811.
- 3) 山岸編著 (2013) アストロバイオロジー、化学同人