

特集 「火星生命存在の可能性」

火星生命探査のストラテジー

斉藤 威¹

1. 火星の生命痕跡をめぐって

火星に生命がいるのだろうか。かつて生命が発生したけれども、ある程度進化した後には滅んでしまったのだろうか。かつて存在した生命は、どのような痕跡を残すのだろうか。どのようにしてそれを検出することができるのだろうか。

私たちは Return to Mars Together を合い言葉に、国際協同研究グループを組織し火星生命探査の具体策を検討している[1]。1994年4月、日本とロシアの研究者で検討を始めたBio-Mars計画は、1994年9月、日本、米国、英国、フランスからなる6人の作業グループに、1995年9月には日本、米国、ロシア、英国、フランス、ドイツ、イタリア、中国などから集まった約50人のグループ会議となり、行動計画を文章としてとり纏めるに至った。こんなに多くの人が集ったのは驚きであった。というのは、火星表面の土壌には生命どころか生体関連有機分子さえ発見できなかった1976年バイキング探査以来、日本では勿論のこと米国においても、火星生命探査を議論したり、ましてや計画提案ができる雰囲気ではなかったからである。

1996年夏、NASA ジョンソン宇宙センターのデビット・マッケイたちが、火星から飛来したと考えられている南極隕石ALH84001の中に、生命の痕跡を発見したと発表した[2]。

総ての科学雑誌と新聞がこれをニュースや記事

とし、その「生命の痕跡」の内容もそれに対する批判も既に広く行き渡っている。火星がテレビのお笑い番組にも登場するほどの賑わいである。「火星生命探査などクレイジー」と指差され、肩身の狭い想いをしていた6ヶ月前とはすっかり変わってしまい、我々の仲間は、新聞・テレビ・雑誌・研究会と大忙しである。しかし、これは本当に歓迎すべき状況であろうか。

新聞記事(記者)によれば、日本の専門家と称する人たちの意見分布は、「単なる状況証拠」という慎重派と、生命がいてもおかしくない「予想通りの発見」という肯定派とに2分しているとのことである。生命探査を計画している者の殆どは後者の肯定派である。私は、火星の地下深くには今も生命が蠢いているという信念の持ち主ではあるが、前者の慎重派、というより完全否定派である。千載一遇の機会だからこの際火星生命探査を売り込もうという説得も分からぬでもないが、やはり、俄かブームのときは、純粋にサイエンスの議論に徹し、原点に戻ったほうが良いだろう。

隕石ALH84001は、1984年に南極大陸のアランの丘で採取され、10年後の1994年になって火星由来に分類されたものである[3]。同じ年直ぐに、炭酸塩粒子の分析から、火星誕生の初期は、大気圏、水圏、岩石圏が連関し循環系をなしており、暖かい(0~80℃)環境であったことが示された [4]。多環式芳香族化合物(PAH)の存在も報告された[5, 6]。火星の初期が地球と同じ環境にあったことは

¹東京大学宇宙線研究所

信じられていたが、これを観測で示したのは画期的なことであった。特に「暖かい火星」は、火星生命探査を計画する者にとって歓迎すべき報告であった。しかし驚いたことに、マッケイたちは、火星での「生命発生の条件」を「火星の生命痕跡」として発表したのである。「火星の生命痕跡」論文には、観測事実としては目新しいものは余りない。この論文にオリジナリティを見つけるならば、

“Although there are alternative explanations for each these phenomena taken individually, when they are considered collectively, particularly in view of their spatial association, we conclude that they are evidence for primitive life on early Mars.”という部分の“when they are considered collectively”という1節である。“considered collectively”を邦訳すれば「総合判断」であろうか。この英語国語彙に如何なる科学的思考過程が含まれているのか不案内であるが、「火星の生命痕跡」の論拠はここにしかない。

生体有機分子の存在、水の存在、暖かい環境、これらは生命が発生する条件である。この条件なら、火星に生命が存在してもおかしくない、と私は思う。しかしながら、このような「存在のための条件」を何万例と集めて“considered collectively”しても「生命痕跡」の証明にならないことは自明である。生命が存在したら、その生命体が生成するであろう物質が検出されたとしても、逆は真ならず。多環式芳香族化合物やアミノ酸の存在は、生命の痕跡の如何なる証明にはならない。逆は真ならずの言説を何万例集めて“considered collectively”しても真に到達することはない。これは「慎重派」の言う「実験(観測)事実に対する解釈の違い」といった問題ではない。論理学のABC、サイエンス以前の問題なのである。如何なる意味においても「生命の痕跡」を示すものではない。

「火星が生命誕生の条件」にあったことを証明したことは画期的であり、火星生命探査計画はそ

の出発点に立ったと言える。それでは、どのような現象や事例を観測すれば、生命が存在していた(している)ことが確証できるのだろうか。それは多分に「生命とは何か」という個人の哲学・思想に依存している。万人が認める証拠とは何だろうか。

2. 生命探査のストラテジー

生命探査の最も良い方法は、火星の土壌試料を地球に持ち帰ることである。試料を採取する計画(サンプル・リターン)も、「火星生命の痕跡」キャンペーンのおかげで、2010年までには行われる勢いである。勿論、世界(米国)の経済状態に大きく依存しているが。試料さえ手元があれば、多くの人が実験室で、多様な観点でもって最新の技術を駆使して解析し、哲学や思想に依存しない結論に至ることが可能である。しかし、この場合でも、火星の表面の土壌試料では、バイキングと同じ結果に終わる可能性がある。そうすると、2回目の火星生命探査計画はストップし、またもバイキング後の闇の20年が始まることだろう。あるいは、またもや「生命誕生の条件」を「生命存在の痕跡」とするキャンペーンが必要になるにちがいない。従ってここでは、探査機を火星に送り地下深くを探査することに限定して考える。コストも1/10~1/100である。火星に探査機を送る場合の最大の問題はその重量である。火星着陸機の全重量が600kgの(ロシアのプロトンロケットを使用する場合でも、科学機器に与えられるのは約1割の約60 kg、これを種々の研究分野に分配すると、1計画には15 kg程度となる。Return-to-Mars-Togetherでは、20 kg程度に収まるベストな方法を検討している。

生命検出のストラテジーを表1に、日本側が提案している測定器を表2に示す。

表1. 生命検出の方法

対象物		代謝機能	
有機分子	構造/運動	酵素	放出ガス
アミノ酸 核酸塩基 糖 有機分子塊 光学異性体	形状 細胞 細胞膜 運動	加水分解 異性化 合成 他	CO ₂ CH ₄ SO ₂ 他

2.1 生体有機分子とその光学異性体

アミノ酸などの生体有機分子を構成する前駆体は、原始地球や火星の大気と考えられている一酸化炭素や窒素の混合ガスに、放射線などのエネルギーを付与すれば、容易に生成することができる[7]。宇宙線は化学進化にとって最も有効なエネルギー源の一つであり[8]、銀河系の何処にでも存在する普遍的エネルギーである。一方、その材料である水素、炭素、窒素、酸素もまた、銀河系に高頻度に存在する普通の分子である。生体有機分子は宇宙空間にも、宇宙塵、隕石、彗星にも検出されている。隕石ALH84001中に検出された多環式芳香族化合物もまた宇宙で検出されている一般的な物質である。即ち、生体有機分子の生成は宇宙での普遍的過程であり、宇宙に普遍的に存在する物質といっても過言ではない。火星にだけ存在しないと考えることは不自然である。土壌試料が強く酸化してさえいなければ、火星で検出されて当然

表2. 日本側が提案している装置

	質量分析器	蛍光顕微鏡
検出対象	質量数1-300の分子 カルボン酸 アミノ酸 核酸塩基 光学異性体	酵素 核酸 細胞の種類(抗体) 細胞膜 生体有機分子の塊
感度	10ピコモル/1試料 1試料 = 50 mg	1バクテリア/1視野 1試料 = 50 mg
1個所での試料数	4 試料	10 試料
解析時間	30分/1試料	1分/1試料
データ量	16 bits × clock / 試料	512 × 512 CCD像 2像/視野 5視野/1試料
寸法	10 cm φ × 20 cm	30 cm × 20 cm × 15 cm
重量(努力目標)	3.5 kg	5.0 kg

である。この意味で、生体有機分子は火星探査で検出すべき基礎的標的である[9]。しかし、アミノ酸などの生体有機分子が検出されたとしても、その存在が生命の存在を証明するものではない。たとえ、アミノ酸分子の塊が、細胞のような形態で検出されたとしても、それが単に化学分子の塊なのか、生命体の残骸なのかを判断することは不可能で、万人が認める生命の証拠にはなり得ない。有機分子の塊が生命体を構成していたことを示す最も重要なシグナルは、その光学活性である。生体有機分子の塊が片手構造であった場合、これは生命体の残骸と結論できる。一方、火星での光学異性体を測定することは、光学異性体の起源を考える上で重要である。もし、光学異性体の起源が、中性子星パルサーからの偏光に起因していたり、弱い相互作用に関係しているのならば、火星の生命体からの有機分子もまた、地球と同じLアミノ酸とD糖で構成されているはずである。光学異性体の起源が、偶然のなせる業であったのなら、火星では50%の確率で、反対称の構造をもつアミノ酸が検出されるであろう。

2.2 生命体からのアウト・ガスの測定

生命体であることを検証する方法の一つは、生命活動の結果として放出されるガスを測定することである。これは20年前のバイキング探査機と同じ方法論である。米国グループは、すでに経験もあり、その後進歩した技術を導入したバイキング方式の搭載を提案している。バイキング探査の否定的結果は、土壌試料が強く酸化していたからであって、生命探査の方法論・技術論としては問題がなかったとする観点である。しかし、たとえ土壌中微生物が二酸化炭素やメタンガスを放出していたとしても、化学反応で最初に発生するガスの量が膨大で、死滅するかシグナルとして検出されない可能性もあるだろう。バイキングで用いたグ

リシンやギ酸などの栄養分が火星の微生物に適していたのだろうか。バイキングではキセノンランプが用いられたが、火星の微生物は地下に住んでいて、光合成とは異なったエネルギー代謝の方式を獲得しているのかも知れない。

2.3 酵素の検出

生命体の中の化学反応は、殆どが酵素反応である。従って、生命活動を検証するには、生命体の中の酵素を検出すれば良い。地球上の「現在の生命体」の酵素反応は良く知られている。原始的生命体の酵素反応は現在と同じであったのだろうか。どのような酵素反応を検出の対象にすべらうか。Return-to-Mars-Together計画で搭載を検討している方式の一つが河崎行繁の提案で[10]、ウイルスやバクテリオファージ以外の生物細胞が普遍的に有しているエステラーゼという加水分解酵素を、SFDAという蛍光色素を用いて蛍光顕微鏡で検出する方法である。SFDA色素は細胞内のエステラーゼによって分解されて初めて蛍光性となるので、その蛍光を検出すれば生きた微生物を検出したことになる。その他、核酸に特異的に吸着して発光する色素を用いる方法。微生物に特異的に吸着する抗体と蛍光色素を組み合わせる方法。この方法では、抗体を選択することにより細胞の種類が同定できる。一方、火星に微生物が存在するとしたら、その候補の一つはメタン生成菌である。メタン生成菌特有の蛍光を検出する方法が良いかも知れない。などなど、蛍光法は生命検出の方法として有望であり、宇宙仕様としての軽量化、自動化、低電力化は十分可能である。この方式の最大の難点は、水溶液を用いた複数の化学処理過程が極限環境で機能するかどうか。水処理問題はこの種の方式の共通の困難で、まだ結論に至っていない。

2.4 細胞の形状、細胞膜の検出

形状の類似性では、生命の証拠になり得ないが、極めて重要な情報である。マッケイ達の「生命の痕跡」の写真の迫力が、過大な説得性をもったように、目でみることは重要である。上述の蛍光法の色素の一つに、細胞膜に吸着して発光する色素がある。例えば、ANS色素は細胞の膜に吸収されて蛍光を発する。対象が小さい場合は塊として蛍光するが、直径1 μm 以上になると、膜が蛍光リングとして観察される。一方、生きた細胞だけでなく、生命体の残骸の塊も蛍光像として観測される。

2.5 バクテリアの運動

我々の生命探査の方法は、バイキング探査の否定的結果に影響されて過ぎてはいないか、という楽観的意見も出されている。生体有機分子、光学異性体、酵素、核酸などなど複雑な検出法を検討しているが、酵素や核酸や細胞膜などが検出されるまでに進化した微生物が存在しているとするならば、場所さえ選べば、動いているバクテリアに出会うことができるだろう。水溶液による化学処理の技術設計に悩むよりも、手っ取り早く普通の顕微鏡を持ち込もうという提案である。地下深く潜り込んで移動するモグラ計画が提案されている。このモグラの口から飛びさした光ファイバーの顕微鏡像に、蠢いているバクテリアが写るも知れない。

3. 火星生命探査の実現へ向けて -Return-to-Mars-Together-

1994年4月、ロシアのパバキン宇宙センターで行った招待講演「火星に生体有機分子と生命が存在する可能性について」は、多くの研究者の賛同を受け、火星生命探査Bio-Mars計画として検討されることになった。「火星探査の本命は生命探査であった筈だが、我々の一連の火星探査計画に、生命

探査というコンセプトを忘れていた」というのが、ロシア側研究者・技術者の反省の弁であった。火星生命探査にとって最も重要な課題の一つは、水が存在したと考えられる場所から、酸化していない試料を採取することである。ババキン宇宙センターの共同研究者(技術者)は、火星を回る軌道からベストな着陸地点を探し、そこに探査機を送り、地下数mから試料を採取する技術開発を進めている。

1994年9月、イタリア・トリエステの理論物理学国際センターで開催されたオーバーリン生誕100周年記念「最初の細胞の構造とモデル」国際会議において、メリーランド大学のポナンペルマ博士は、日露で検討していたBio-Mars計画を、米国、欧州を含む国際共同研究に発展させることを提案、作業プランを立案し、Return-to-Mars-Together計画が始まった。彼によると、バイキング探査の予備機であった検出器、GC/MSを用いて地球の土壌を解析したところ「地球にはアミノ酸が存在しないという結論になった」とのことである。この博物館行きのGC/MSを再生して地球土壌の解析をすることも、予備研究プログラムの一環に組み入れることになった。しかし、米国側の組織化を強力に推し進めていたポナンペルマ博士は、1994年12月20日突然に帰らぬ人となってしまった。1995年9月故ポナンペルマ博士の業績を記念して「生命の起源と進化の物理学」国際会議がトリエステで開催された。ポナンペルマ博士が命名したReturn-to-Mars-Togetherのグループ会議には、各国から約50人が集い、行動計画が文書にまとめられた。

純粋に科学的立場からは、火星生命探査は世界で1つで良い。出来るだけ早く生命探査が実現できるように、ベストな装置を開発し準備しよう。南極や砂漠で採取した共通の試料でもって、それぞれの装置の性能を比較検討しよう。試料採取の候補地も検討しよう。Return-to-Mars-Together。しかし、研究者レベルで検討しているこの計画を、国

家の利害を絡ませないで次のレベルに発展させることは、いまだ見通しが立っていない。

参考文献

- [1] Chernavskii, D., Ishikawa, Y., et. al., 1994: *J. Biol. Phys.* **20**, 55-59; Saito, T., *Viva Origino* **24**, 243-255.
- [2] McKay, D. S., et. al., 1996: *Science* **273**, 924-930.
- [3] Grady, M. M. and Wright, P., 1994: *Nature* **369**, 356.
- [4] Romanek, C. S., et. al., 1994: *Nature* **372**, 655-657.
- [5] Cowen, R., 1995: *Science News* **147**, 180.
- [6] 火星ブームの1年前に、民間の1研究グループが、火星初期の環境について正確にレポートしていることは特筆に値する。1995: *The Terraforming Report* **2**, 119-122.
- [7] Kobayashi, K., Saito, T. and Oshima, T., 1996: *Self Organization of the Macromol. of Life*, A Deepak Pub., 37-40; Kobayashi, K., et. al., 1995: *Adv. Space Res.* **15**, 127-130; *Adv. Space Res.* **16**, 21-26.
- [8] Saito, T. and Kobayashi, K. 1995: *Proc. 24th ICRC* **3**, 774-777.
- [9] Kobayashi, K., Kasamatsu, T., Sato, T., Ishikawa, Y. and Saito, T., 1996: *Phys. of the Origin and Evolution of Life*, Kluwer Acad. 381-388.
- [10] Tsuji, T., Kawasaki, Y., Takeshima, S., Sekiya, T. and Tanaka, S., 1995: *Appl. Environ. Microbiology* **61**, 3415-3421.