

特集 「火星生命存在の可能性」

## 地球外に生命を探す — 裏方にも光を —

河崎 行繁<sup>1</sup>

## 1. はじめに

とにかくまず表1を見ていただきたい。これが本解説のまとめである。ここには分子レベルで見た場合の生命の型、顕微蛍光画像法での検出、汚染判定、危険性、生命について議論できることが記載されている。これをご覧になってちょっと興味を持たれた方は以下の項まで進んでいただきたい。

では以下この内容について説明してゆこう。

この原稿の締切は1月25日であった。ところがこれを書いている今は2月1日である(どうもごめんなさい)。しかしこのおかげで少し情報が増えたので差し仕えの無い範囲でお知らせし、その情報内容を基にして我々の研究でどんな事ができそうかということについて紹介しよう。

先日、origin計画に関する日米科学者会議というのがあった。その中では生命の起原と結び付けて生命を前提とした火星の探査がNASAの大きな目的としてうたわれている。この計画においてNASA

表1 地球外生命の様式と顕微蛍光画像法による検出

分子レベルでの生命の型	顕微蛍光画像法による検出の可能性	地球物質による汚染ではないことの判定の可能性	地球生物に対する危険性	備考
地球生命と完全に同じ	◎	×	◎	生命誕生の必然偶然性の解答は得にくい。 生命原理の唯一性の証拠となる。
地球生命とほとんど同じ (光学活性、アミノ酸の構造、遺伝暗号が異なる)	○	◎	○	生命誕生は必然といえる。 生命の用いる分子は多様性がある。
分子構造がかなり異なる (水や炭化水素主体という面では同じだが、アミノ酸、糖、塩基を用いない。)	△	◎	○	生命誕生は必然といえる。 生命の用いる分子は多様性がある。
炭化水素-水型ではない。 (シリコン、アンモニア等を用いている。)	×	◎	△	生命誕生は必然といえる。 生命の用いる分子は多様性がある。 我々が生命と認識できるかどうかは課題

「分子レベルでの生命の型」において、( )内はこの型に属するものの一例を示しているだけである。「顕微蛍光画像法による検出の可能性」において、運動性のあるものや10マイクロメートル以上の大きさで明確な生命特有内部構造を持っている場合はどんな生

命形式でも検出可能である。◎、○、△、×はそれぞれ可能性や危険性が非常に高い、高い、場合により高いことも低い事もある、低いを示す。

<sup>1</sup>三菱化学生命科学研究所

はsample returnを最大目標と考えている。これは2005年に打ち上げ2008年帰還予定であるが、その後さらに2回のミッションを計画されている。第1回のミッションは既に実行されることが決まっているそうである。持ち帰る試料の重さは100 gから1 kgの範囲ということであった(残念ながら地下試料ではなく表面からの試料である)。当然ながら、この試料の配分先はまったく決まっていなくて分析能力のあるところが有力候補になるということである。さあ出番である。我々は生命圏の構造や大きさ機構を知る事を目的としているが、現在はそのための微生物の検出法の開発をしている。一番の問題は特殊試料の入手である。もし、NASAが火星試料を持ってきてくれるというなら、この際少々厚化粧してでも名乗りをあげたいと思っている。そこで、ここではまず火星の生命探査の意義と、生命を見つける事を目的とした我々の手法を紹介しよう。

## 2. 火星は「生命博物館」？

火星に限らずどうして地球外生命を調べようとするのかということに対する理由づけを列挙してみよう。

### 2.1 おもしろい。

これが地球外生命探査の最大の理由であり、説明を加える必要はないであろう。これだけでも探査の意義は充分であろう。

### 2.2 地球生命の謎に迫れる。

現在、生命科学は花盛りであり、次々と新しいデータがでてきている。しかし、地球生命の根元的課題、すなわち、生命の誕生は偶然のたまものなのか必然性があった生まれたのか、どうして地球生命は分子レベルでは一種類しかいないのか、どう

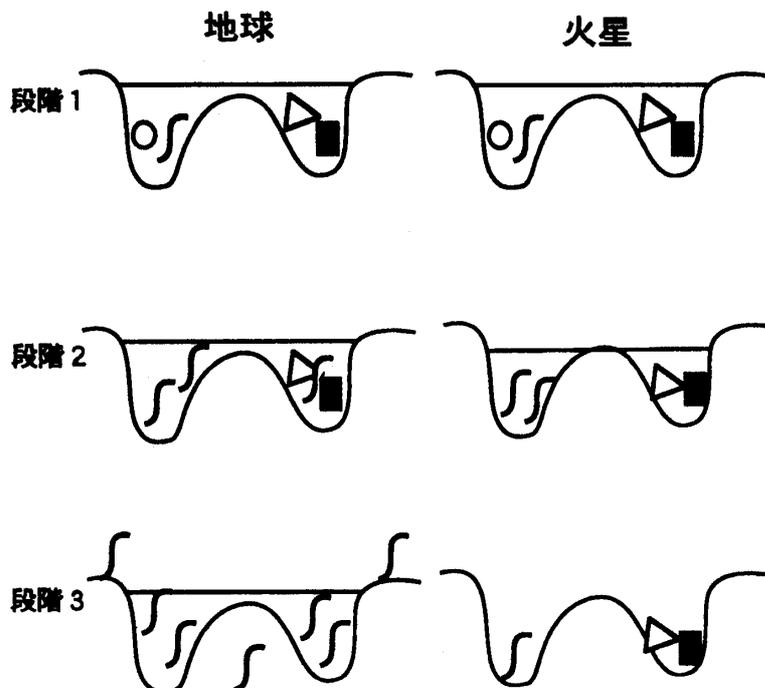


図1 地球と火星における生命の歴史の一モデル

段階1：生命誕生の初期においては、地球でも火星でも生命の誕生に適した環境があり、多様な様式の生命がいろいろな場所で誕生した。図中でひも状、白丸、白三角、黒四角がそれぞれ異なった型の生命を表す。

段階2：中期にはいると、地球においては生命が進化し、また空間的に生命が移動して生命間の生存競争が繰り広げられ強いもの(ひも状のもの)が他を滅ぼす。それに対し、火星では環境が悪化し、種々の生命はかろうじて残った生育場所に孤立した。

段階3：地球では生命間の生存競争が更に激しくなった結果、ほとんどの所で生命形態はひも状のもの一種類になった。火星では環境悪化が続き、多くの生命は多様性を保ったまま各々の生息場所で休眠または絶滅した。一部は化石化した。

して炭化水素と水を基盤としているのか、どうして20種のアミノ酸を利用しているのか、どうしてアミノ酸はL型で核酸を構成している糖はD型なのか、とかいった疑問にはまだほとんど答えられないのである。ここで地球生命とは独立に誕生した生命が火星で見つかったらどういう事になるであろうか？火星は地球より小さいということが理由で地球に比べてはるかに早く冷えたと言われている。そうすると、火星で生命が活躍した時間は地球より短い。そのような状況下で、たとえ多様な原始生命が誕生したとしても、それらはあまり進化する事なく、さらに生命同士の接触もなく凍結や乾燥状態におかれているだろう(図1参照)。従って、火星では一種ではなく多様な生命形態がミイラ状態で見られるかもしれない。一方、地球では原始の状態では多様な生命が生まれたとしても、その後の38億年という永い生命の歴史の中で生命同士の接触が頻繁に起こり、少しでも優位な生命形態が他の形態の生命を駆逐してしまったであろう。従って、地球では原始生命や我々と違った型の生命を見つけることは非常に難しいと思われる。それに比べて、火星は「原始生命博物館」であるかもしれないのである。そして種々の生命形態を比較検討できるだろう。

火星と地球は広い宇宙全体から見るとまさに隣同士である。そんなに近い場所で独立に二つの生命が誕生したということは、生命の誕生は偶然ということではありえない。すなわち、環境さえ整えば生命は必然的に生まれるということになる。これで生命の最も根元的で最大の謎はいっきに解決してしまう。

### 2.3 地球外文明との接触は可能である。

人類の夢の一つは地球外文明との接触であろう。地球外文明が我々の銀河系にどれだけあるのかということ推測する式が天文学者 F. Drake によっ

て提唱されている。

この中で最も分からない部分は生命からみて環境の良い惑星に生命が誕生する確率である。ところが地球のすぐ隣の火星に生命がいたとなると、条件の良い惑星があればそのほとんどに生命が誕生するということになる。私の印象では、一旦生命が誕生したなら地球生命に与えられた程度の時間があれば文明までは確実にたどりつくと思っている。もしこれが正しいなら、宇宙には文明が満ち満ちていることになり、その中のどれかと電波で接触することは夢ではなくなるだろう。

## 3. 火星と地球の生命は兄弟？

さて、火星生命と地球生命が兄弟であった場合はどうなるであろうか？兄弟という意味はどちらかの星で誕生した生命が他の星へ移住したということの意味する。この場合は上に述べた疑問には答えられなくなる。しかし、この場合は生命の宇宙への拡がり、進出、拡散の可能性を証拠だてた事になる。実際、火星の隕石が地球に飛び込んだわけであるから、その中に生命がひそんでたまたま環境の良いところへ落ちた隕石から生命が這いだして繁殖するという事は充分考えられる。これは古くから言われている宇宙胚種説(地球生命は地球で生まれたのではなく、他の天体で生まれたものが胞子のような状態で宇宙をさまよい、その一部が地球へきたものだという説。)の可能性を示す。実際、微生物の放射線耐性に関する小池惇平らの実験[1, 2]を基にして計算すると、地球を脱出し火星に向かった微生物はそのほとんどが生きのまま火星に到着できる。そして驚くことに、他の恒星の惑星系にすら生きて到着するかもしれないのである。すなわち、地球生命圏は火星まで(もしかすると他の惑星系まで)広がっていたということにもなるのである。我々は火星生命の

子孫であるかもしれないし、または火星生命が我々のおじいさんのおじいさんのおじいさんの……の兄弟ということになるのかもしれない。地球生命の兄弟が火星で生存繁殖したということは、将来地球生命が火星で生活しようとしたときに、基本的な面では生存可能であることも示唆する。

#### 4. 地球外生命をどうやって探すか

さてここで少し現実的な話に戻って、火星をはじめとする地球外生命をどうやって見つけるのかという話をしよう。また、前の項で地球と火星の

生命が独立なものか兄弟かということでその意義が大きく違うといったが、どうすればこの判定を出来るのかといったことにも言及しよう。

我々が開発している生命の探査方式は単純である[3, 4, 5, 6, 7]。それは顕微蛍光画像法とよばれるが、図2に示すように生命の大きな特徴を担う分子や構造をそれぞれ特異的に反応する蛍光色素によって検出しようというものである。この方法は培養とか代謝産物を分析するとかいう間接的方法に比べて、対象を直接眼で見えてしまうものであるから、素性の良くわからない生き物を相手にする場合に非常に有効である。図2に示した

#### 未知の物体の「生命らしさ」について「ミシュランの評価基準」を作る。

生命の特徴	その特徴を担う分子・構造	蛍光色素
情報の保持	核酸	核酸検出色素
物質・エネルギー代謝	酵素	酵素の作用を受ける色素
自己と外界の区別	細胞膜	細胞膜吸着色素

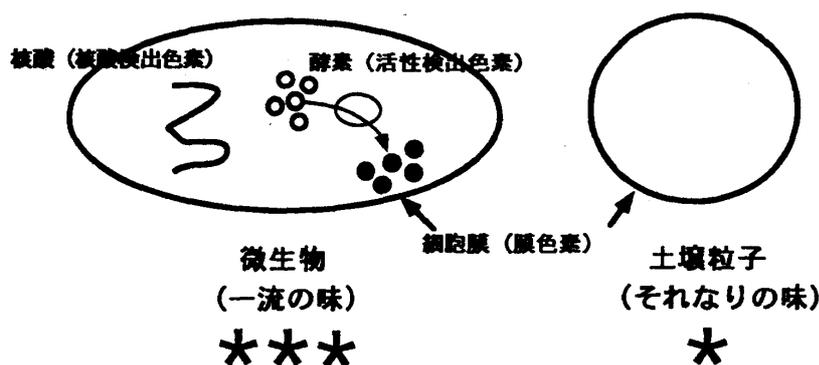


図2 未知の生命の生命らしさを判断する基準

生命の三大特徴(情報を保持している、エネルギー物質代謝を行う、自己と外界を区別する)を担う分子や構造(核酸、酵素、細胞膜)を特異的に検出する蛍光色素で未知の物体を染色し、これら三つの特徴のうちで何個を持っているかによってランク分けする。(具体的にはどの蛍光色素で光るかを調べる。) すなわち、すべての特徴を持っていれば\*\*\*で最も生命らしいというこ

とになり、二つなら\*\*で、もしかすると生命かな?となる。この基準を我々はフランスのタイヤメーカーが作ったホテルやレストランの評価基準にならって「ミシュラン型生命評価基準」と名付けた。

一種類の色素で染色した場合は生物と非生物の識別が困難であるが、二種、三種と増えるに従って、識別は正確さを増す。この三つの型の色素の中では酵素活性検出色素がもっとも生物特異性が高い。

ような基準に従えば生命そのものはもちろん、その死骸や化石程度までに变化したものの、さらに生命へ向かって進化の途中にあるものまで検出できるのではないかと考えている。さて、問題なのは地球型と火星型生命の判定である。もし、各々独立に誕生した生命であっても原理や用いている分子がまったく同じなら両者の判別は困難になる。この場合は他の状況証拠を調べて結論を出すことになる。しかし、何か原理的に違った点があればその点を検出できれば判別できる。例えば地球生命はアミノ酸はL型、核酸の糖の部分はD型をとるが、このどちらかが違っていれば検出できる(図3参照)。さらに地球生命はアミノ酸は20種、金属に関しては地球の海に豊富なものを優先的に用いているが、火星生命がこれらと異なったものを用いている場合も検出可能である。このような判

定をするためのデータの多くは上にあげた顕微蛍光画像法で検出できる。一方、火星生命が地球型と大幅に違っている場合も検出に関して問題がある。探査には相手を認識するためのプローブを用いるが、これらのプローブはそれが認識できる対象がある特定範囲に納まっておりそれからはずれたものは認識できないという特徴がある。この典型的な例は免疫現象における抗原抗体反応である。抗体は特定の異物を認識してそれと結合し、その異物を不活性化したり殺したりする。しかし、その異物があまりにも奇想天外なものである場合は認識できない。この場合はどのように対応したら良いであろうか。この状況に対しての万全策はないが、一例として次のようなものが考えられる。免疫機能を持つ生物はある特定の構造を持った異物に対し抗体を作製するが、認識しにくい異物に対

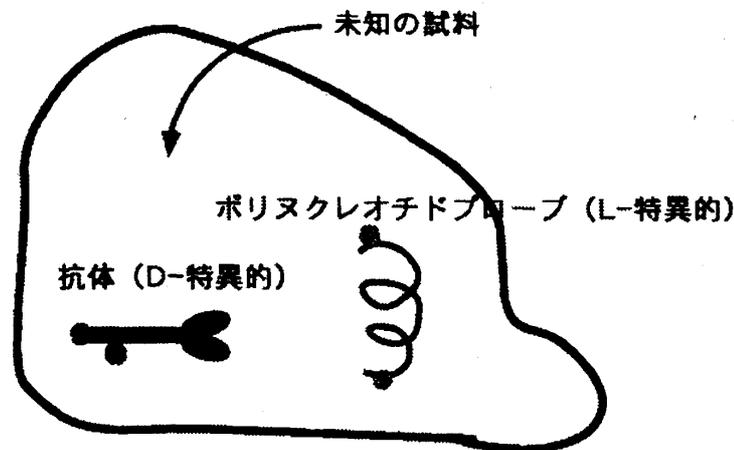


図3 アミノ酸と糖の光学異性体を利用した地球生命による汚染の判定

光学異性体に関しては、地球生命はアミノ酸としてはL型、核酸を構成する糖としてはD型を用いている(これを記号でL-Dと書くことにする)。この特徴を利用して地球外試料に地球生命による汚染があるかないかを判定できる場合がある。アミノ酸と糖の各々の光学異性体の利用に関して相関がないとすると、4

組の組合せが出来る。地球生命はL-Dとなる。もし、地球外生命がL-D以外の型であれば地球生命と判別可能である。そこでD-ペプチド(アミノ酸の重合体)やL-核酸に対する蛍光性抗体や蛍光性核酸プローブ(図中の丸印が蛍光色素を表す。)をつくり未知の試料を染色し、蛍光が光ればこれらの有機物の存在が証明できるとともに地球生命による汚染ではないといえる。ただし、この判定法は地球外生命がアミノ酸や核酸を使っている場合のみ応用可能である。

してもある工夫をすれば抗体を作らせることが出来る。それは以下のようにする。生物が認識しにくい異物と生物が認識してそれに対する抗体を作ることが出来る別の物質とがつながっている場合に、生物はだまされてこの複合物質の中で認識できない部分に対する抗体を作ってしまう。このようにして、天然の多くの物質だけでなく人工的に作った多くの分子に対する抗体を作製してこれらの混合物を未知の物体にふりかけるのである。そしてこれらの抗体の中のどれかが相手と反応すればそこに調べたい分子が存在していることになる。抗体ではなく核酸の塩基配列を認識する核酸プローブについても同じような考えが応用できよう。ただし、これらよりさらに異なった生命、炭化水素や水に依存しない生命に対しては具体策はない。この場合は物質的基盤が我々と根本的に異なるので、現時点では顕微蛍光画像法の対象外に置くことにしている。

このようにして顕微蛍光画像法でかなりの型の生命を検出できるのではないかと考えている。

## 5. まとめ

さてここでいままでの議論をまとめてみよう。すなわち再度表1をご覧ください。分子レベルでみたときの生命の型はこの4項目になるであろう。顕微蛍光画像法では未知の生命が地球生命に近ければ近いほど容易に検出できることを示している(この場合、未知の生命体が運動性を持っていたり、10マイクロメートル以上の大きさと内部構造がはっきりしているものはどんな様式のもので生命と判定がつけられる。)。しかし、未知の生命が地球型に近いほど地球生命による汚染があったかどうかの判定は困難になる。特に、両者がまったく同じであった場合は、汚染の判定は原理的にはできない。この場合は状況証拠によって判断

することになる。すなわち、探査船や器具類を徹頭徹尾滅菌しても、採取した試料から大量の微生物が出てきたといったような証拠をならべるといことになる。また地球生命を見て分かるように、分子レベルで同じ型であっても、個体となったときにはその形態や生理が非常に異なるものが多くある。地球外生命の場合でも、それらの形や生理がいままで分かっている地球生命のそれらとかなり違っていれば汚染ではないといえるであろう。一方、もし分子レベルで少しでも異なった点があれば、そこを標的として検出すれば良いのであるから、汚染かどうかの判定もすぐつくであろう。最も扱い易いのは既に述べたように、未知の生命体のアミノ酸がD型であったという場合である。(地球生命はすべてL型のみを用いる。)これぐらいの違いなら顕微蛍光画像法で充分検出可能である。しかし、アミノ酸や核酸等を用いていない場合はこの方法での検出はしばしば困難になるだろう。この場合は、より根元的性質(疎水性であるか、電荷はどうであるか、二重らせんがあるかどうか)に狙いを定めて検出することになるだろうが、非生物を生物と間違えて検出する可能性が大きく増してしまう。未知の生命の地球生命に対する危険性はそれらが地球生命に近ければ近いほど高まることは地球上での感染性病気を考えれば明らかである。この場合顕微蛍光画像法は非常に有用である。なぜなら表1にあるように、未知の生命の危険性が高いほど顕微蛍光画像法による検出効率も高いからである。この意味で顕微蛍光画像法は宇宙検疫のためのモニタリング装置として役立つだろう。

我々にとって最も関心のあるのは生命の誕生がまったくの偶然のたまもので唯一無二のものなのか、または環境が整い時間があれば必然的に起こる事なのかといった点と地球生命の原理が唯一無二なのかといったことであろうが、地球生命と地

球外生命がどこか違っていれば、この疑問に関する答えが得られたことになる(もちろん根元は同じでもその後の環境の違いで多少違った様式になる場合もありうるが、それは環境を変えた場合のシミュレーション実験で解決つくであろう。)。問題は汚染の場合に述べたように、地球生命と地球外生命とがまったく同じであった場合である。しかし、汚染でないことが状況証拠からでも言えれば、この場合も答えは得られたことになる。従って、汚染対策、判定が非常に重要になる。顕微蛍光画像法はまさにうってつけの方法と結論づけられよう。

## 6. おわりに

火星に生命やその痕跡が存在しているとしても、それらは微生物で、かつ、地下深い所にひっそりと残っているに違いない。また、もし地球上に原始生命が残っていたとしてもそれらもやはり地下の住人であろう。今回ここで紹介した技術は完全に“光”に依存している。光はそのままでは予想される地下住民には届かない。この沈黙する地下の裏方に何とか光をあてて晴舞台で活躍させ、そのショーを楽しみたいというのが私の夢である。

## 参考文献

- [1] Koike, J., Oshima, T., Kobayashi, K., and Kawasaki, Y. 1995: Studies in the search for life on Mars. *Adv. Space Res.* **15**, 211-214.
- [2] Koike, J., Hori, T., Katahira, Y., Koike, K. A., Tanaka, K., Kobayashi, K., and Kawasaki, Y. 1996: Fundamental studies concerning planetary quarantine in space. *Adv. Space Res.* **18**, 339-344.
- [3] 河崎行繁 1994: 地球外微生物の探査. 遊星人 **3**, 183-192.
- [4] Tsuji, T., Kawasaki, Y., Takeshima, S., Sekiya, T., and Tanaka, S. 1995: A new fluorescence staining assay for visualizing living microorganisms in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* **61**, 3415-3421.
- [5] 河崎行繁 1995: 地球・地球外微生物の探査法. 日本分析化学会会誌 ぶんせき, 1995 No.11, 895-902
- [6] 河崎行繁, 1995: 蛍光法の新しい展開 —環境, 農業, そして宇宙へのアプローチ. *Dojin news*. No.075, 3-9.
- [7] Kawasaki, Y., Tsuji, T., Morimoto, M., Haruyama J., Takeshima, S., and Mikawa T. 1996: Chemical bleaching improves the fluorescence detection efficiency of fungi possessing dark-brown pigments. *Bioimages* **4**, 85-88.