

地球上での生命の起原と 太陽系惑星での生命探査の可能性

山岸 明彦（東京薬科大学 生命科学部）

はじめに

地球は今から45.6億年前に誕生した。誕生した地球はどろどろに溶けたマグマオーシャンであった。1億年足らずの間に地球の表面は固まった。現在の地球上に残された最古の鉱物は今から44ないし45億年前のものである。鉱物と言っても、1mm以下の粒であるが、その鉱物が誕生するためには大陸地殻の形成が必要とされており、当時すでに海が形成された可能性がある。

大きな岩石として残されているものは、今から40億年前の岩石である。この岩石の形成には海が必要で、40億年前には海が形成されていたことがわかる。しかし40億年より前の大きな岩石は見つかっていない。40億年以前の地球には隕石の重爆撃が続いていた可能性が高い。一端できた岩石も隕石の衝突によって溶けてしまい、保存されていないのであろう。

地球上での生命の起原

38億年前の岩石からは生命誕生の証拠が見つかっている。生命の誕生の証拠といつても、小さな炭素の粒である。炭素の存在そのものは生命の証拠とはならない。しかし、その同位体組成の解析から、38億年前の炭素の粒は生命の痕跡とされている。

現在の地球上の生物を構成する成分に含まれる炭素は直接間接に植物の炭酸固定に由来している。植物が炭酸固定をする際に、炭素の同位体の選別を起こすことが知られている。すなわち、¹³Cに比べて¹²Cをより効率よく取り込むために、大気中の二酸化炭素に比べて¹³Cの比率が低下する。これは、炭素が軽くなるというように表現される。

38億年前の岩石中の炭素の同位体組成を分析すると、近くで見つかった無機炭素（炭酸カル

シウム）に比べて炭素が軽いことがわかった。このことから、38億年前の炭素の粒は生物の痕跡と考えられている。

地球最古の細胞化石

今から35億年前の岩石からは、最古の細胞化石が見つかっている。それは、幅数 μm 長さ数十 μm の数珠状の化石である。こうした化石が、生物の痕跡であることに対しては、これまで様々な議論が合った。そしてその後の研究から、35億年前に生物が誕生していたことはかなり確かな事実となりつつある。しかし、その化石がどのような生物の化石であるかについては諸説あり、結論は出ていない。

最初に35億年前の微化石が見つかった時には、それはシアノバクテリアの化石とされた。シアノバクテリアといいのは光合成を行う微生物のこととで、数珠状の細胞をもつシアノバクテリアが現在も知られている。しかし、35億年前にシアノバクテリアがいたという点に関しては批判も多い。

炭酸固定を行う生物の中には、光のエネルギーを使う光合成生物の他に、化学エネルギーを用

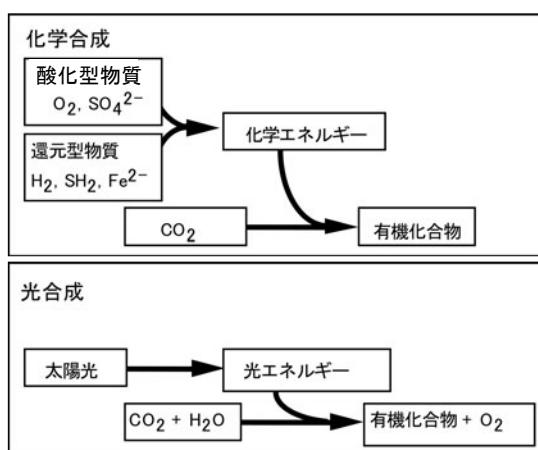


図1. 化学合成と光合成

いて炭酸固定をする生物が知られている。これは、化学合成細菌とよばれている。化学合成細菌の中にも利用できる化学反応の種類によって、様々な化学合成細菌が知られている。35 億年前の化石は、硫黄酸化細菌、硫酸還元菌、メタン生成菌などの化学合成細菌か、あるいは非酸素発生型の光合成細菌ではないかという諸説が提案されている。

化学進化：非生物的有機物合成

さて、それでは生命の誕生以前にはどのような事が起きたのか。1953 年ミラーは土星の衛星タイタンの大気成分の中で放電を行うことで、アミン酸を非生物的に合成することに成功した。それ以来多くの実験が行われ、アミノ酸や有機酸、核酸塩基は特定の条件さえそろえば、非生物的に合成されることがわかって来た。しかし、糖の合成条件は難しく、また、核酸塩基と糖の結合も非生物的に起き得たかどうかは明らかではない。

一方、非生物的有機物合成の場として、宇宙空間での合成の可能性がある。暗黒星雲として知られている分子雲のなかには、多くの有機化合物が見つかっている。また、隕石中にもアミノ酸が発見されている。宇宙空間で合成された有機物が宇宙塵として地球に落下し、地球上での生命の起源に寄与した可能性もある。

地球型生物の性質

さてしかし、こうして蓄積した有機物と現存する生物の間には大変大きなギャップがある。ギャップの最大の物は現在の生物の持つ遺伝の仕組みがどのように形成されたかという問題である。現存する生物は DNA に遺伝情報を蓄積し、RNA に情報を転写した後、アミノ酸の配列（タンパク質）に翻訳している。タンパク質は触媒機能を示し、ほとんどすべての生体反応を担っている。このような複雑な遺伝の仕組みがどのように形成されたか生命の起源における最大の謎であった。

この謎を解く大きな鍵となったのが RNA ワールドという仮説である。RNA ワールド仮説とは DNA をゲノム（生物の遺伝情報のすべて）として持つ生物が誕生する前に、RNA をゲノムと

してもつ生物が誕生したと言う仮説である。現在も遺伝情報は一端 RNA に転写されて翻訳されている。また、翻訳には RNA が重要な機能を持っている。これらの事から、DNA ワールドの前に RNA ワールドが存在していたであろうということは、ほぼ間違いない。しかし、地球上での有機物の蓄積から RNA ワールドの誕生に至るまでの課程は、依然大きな謎に包まれている。

宇宙での生命探査

生命の起源を研究する上で大きな障害の一つは、現在の地球上に初期の証拠が残されていない事である。そこで、ひょっとして地球外の惑星に生命誕生初期の証拠が残されている可能性は無いのかと期待されている。他の惑星とりわけ火星には水があった可能性は高い。従って火星で生命が誕生した可能性がある。その痕跡が火星に残されていないだろうか。あるいは現在も地下には液体の水が残っているのではないかと推定されている。火星表面かの液体の水の中には、まだ生物が生きながらえているかも知れない。地球とは独立に誕生した生命を調べることができれば、生命の一般性を議論することができ、また生命の起源を考える上での材料を得ることができる。

生命の定義

さて、地球外で生命を探そうとすると、何をどう見つけると地球外の生命と言えるかという大問題に直面する。まず、「何を生命といいか」という生命の定義がそう簡単ではない。何人かの研究者によって生命の定義なるものが提唱されているが、必ずしも一致点があるわけでは無い。比較的、支持を得られている定義としては以下の様な物がある。

1) 自己と非自己を区別する境界を持つこと。地球上の生物は、脂質二重層でできた細胞膜で細胞を囲んでいる。地球上の生物でも、古細菌は脂質を構成する成分が全く異なっているが、やはり脂質でできた膜で細胞が囲まれている。

2) 複製すること。すなわち、親と似たような形や成分を持つ娘を作り、増殖すること。これが、生物を認識する上では最も重要である。しかし、実際に試そうとすると、複製が起きる条件を

知る必要が有る。地球上の微生物でも、存在が確認できた種の 1 %以下の種しか培養できないと言われている。宇宙で発見した生き物をどのように培養すれば良いのであろうか。

3) エネルギー代謝を行っていること。現存する生物は、何らかの形でエネルギーを獲得して生育している。厳密には自由エネルギーを利用していている。これも、事実はそうであるが、それをどのように調査するかというと難しい。

4) 進化する事。現在の生物の進化は、ダーウィン型進化とよばれている。ダーウィン型進化とは、生物の多産、多数の子孫の中に変異が存在している状態で、限られた資源（エネルギー源とニッチ）をめぐる生存競争が起き、最適者が生存する、という進化である。ダーウィン型進化が起きるためには上述の 1)・3)の条件が必要となる。さらに、何らかの形で変異が娘に伝えられる必要があるので、(遺伝)情報を担う分子が必要となる。現在の生物遺伝情報を担っている分子はDNAであるが、RNA やその他の仕組みで遺伝情報が保持されているのであってもよい。

何を探すか

これらが地球外で生命を探す際の指標となる。しかし実際に生命を探査するとなると、探査方法としての実現可能性が問題となる。例えば将来は宇宙飛行士が火星を目指す可能性もある。それ以前に火星からサンプルを持ち帰る計画もありうる。しかし、これらの計画はかなり大変で大分先の話になる。それよりも比較的近い将来に、探査機を送って火星で探査を行う可能性がある。こうした可能性の検討を宇宙環境利用ワーキング・グループ（宇宙科学研究所の募集する研究チーム）で行っている。

今の所、有望な生命検出方法として蛍光顕微鏡を用いた観察がある。蛍光色素の中には、脂質膜を透過できるものとできない物があり、二つの色素を混ぜて染色すると微生物を見分ける事ができる。また別の色素で、DNA を特異的に染色する色素がある。地球外生物が DNA を遺伝物質として使っているかどうかはわからないが、DNA と同様に階段状分子構造をもつ遺伝物質を用いている可能性はある。その場合には DNA を染色する色素によって染色される可能性がある。

さらに、タンパク質を染色する色素がある。前生物的化学合成では、アミノ酸は普遍的に合成される。従って、地球外の生命もアミノ酸の重合体であるタンパク質を用いている可能性は高い。従って、タンパク質を染色する色素は生命検出のための有望な色素の一つとなる。

次に可能性の高い方法はもちろん質量分析装置である。実際、NASA で計画が進められている火星探査計画 MSL (Mars Science Laboratory)では質量分析装置の搭載が計画されている。質量分析装置を用いた生命探査では、どのような生命関連分子を捜すかが難しい。仮に今、地球の生物が採集されたとする。例えばバクテリアを丸ごと分析したとすると、水 70%、タンパク質 15%、核酸 7%、多糖類 3%となる。タンパク質としては、分子量の異なるタンパク質 1,000 から 10,000 種類を含んでいる。しかし、こうした質量スペクトルが観測されたとして、それを生物であると判定可能だろうか。現在、質量分析装置を用いて生命を判別する方法を検討している。

どこを探すか

さて、それではこうした方法でどこを探せば良いのだろうか。太陽系でこれまで生命が存在する可能性が有ると提唱されている惑星あるいは衛星は、火星と木星の衛星ユーロパ、それに土星の衛星タイタンである。火星は現在も水が残っている。火星表面付近では氷の状態であるが、地下には液体の水があるのではないかと推定されている。上述の MSL では現在 4 カ所の候補地が調査対象として上がっている。

木星の衛星ユーロパの表面は氷に覆われている。しかし、氷の下には液体あるいはシャーベット状の水があるのではないかと推定されている。木星の質量が大きいので、潮汐力によってユーロパの岩石核が発熱し、その熱による地熱活動があるのではないかと推定されている。地熱活動があれば、地球の海底熱水地帯の様に、化学合成に支えられた微生物生態系が成立する可能性が出てくる。

土星の衛星タイタンにはメタンの海があることがわかっている。温度は極低温で、水を溶媒とした生命が存在しているとは思え無い。しかし、メタンを溶媒とした生命は不可能だろうか。

何れにせよ、こうした場所でさらにもっと具体的にどこをどのように探査するかという点の検討を宇宙環境利用ワーキング・グループで行っている。

文献

全体に関する文献として以下の文献をあげておく。

1. 山岸明彦, 2004. シリーズ進化学 第3巻 化学進化・細胞進化, 石川統編, 岩波書店, 9-54
2. 山岸明彦, 2008. *Jpn. Geosci. Lett.* **4**, 5-7.
3. Yang, Y., Yokobori, S. and Yamagishi, A., 2009. *Biol. Sci. Space*, **23**, 151-163.
4. 山岸明彦, 2009. *J. Jpn. Soc. Extremophiles*, **8 Special issue**, 29-30.