

地球生命はどこで生まれたか

益田 晴恵 (ますだ はるえ)

所属：理学研究科 生物地球系専攻
 専門分野：地球化学（水-岩石相互作用）
 趣味：飽き症で、仕事以外は続かない



長〜い「はじめに」

「私たちはどこで生まれたのか」という命題は科学の最大の謎の一つであり、私たちの存在に関わる極めて哲学的課題である。宇宙論も進化論も、私たちがなぜここにいるのかを証明するために作り出され、検証が続けられてきたと言ってもいいだろう。宇宙観測は宇宙ができてから1億年後くらいまで見られるようになった。生命科学の発展は物理学よりもさらに急速で、遺伝子解析で得られた系統樹は、私たちが学生時代に習ったものとは別物になってしまっている（図1）。

私が学生だった頃、地下に根を張る木の根っこがなくなる土壤より下の岩石圏では2mも掘ったら生物はいないと教えられた。3000mの深海底は無生物の世界で、そんなところに住む生物等いないとも言われた。ところが、深海底には、

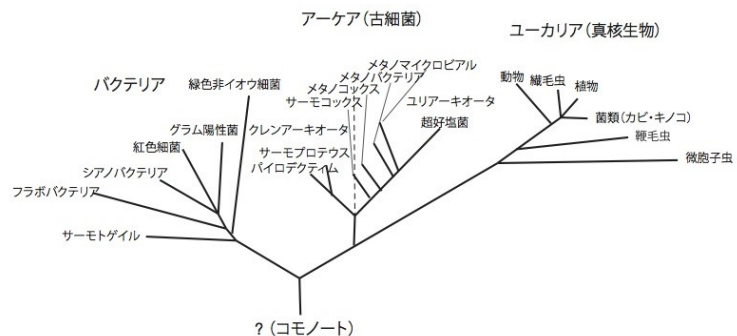


図1 SSU rDNA 遺伝子の解析により作成した全生物の系統樹

300℃を超える熱水（ぶっちゃけて言うと「海底温泉」です）が湧出しており、その周辺にはものすごく密度の高い生態系が発見された。最初に発見されたのは1983年、東太平洋海膨であったが、同様な生態系は世界中の深海底で発見されて、その数は優に100を超えている。原油を掘削する井戸では、深度が5kmを超える深さの堆積岩の中で、そこに生きている微生物が発見された。生物探査の網は、こんな場所にいるのかと思うような極限環境にまで広がられている。今や、マントルにさえ生物がいるのではないかと考える研究者もいる(たぶん)。これらの研究は、私たち生命がどこで、どのように進化したのかをある程度は教えてくれる。地球上の全ての生物は同じ祖先（コモノート）から進化しているが、大腸菌（バクテリア）は人類の祖先ではない。人類を含む真核生物に近い原生生物はアーケア（古細菌）である。アーケアには、100℃を超える高温、地下数kmの高圧、氷に閉ざされた極寒、海水が煮詰まったような高濃度の塩水、酸素や酸化性物質が著しく少ない強還元状態等、地表に生きる多

くの生物がとても苦手な場所に棲むものが多い。それ故、地球上の生物の祖先は、地球が形成されてあまり時間が経っていない時期に、今とはものすごく異なった物理化学的環境で生まれたと考えられている。これまでに発見されている世界最古の生物化石はオーストラリアで発見された 34 億年前のイオウを食べるバクテリアである。また、生物由来と推定されるグラファイトがグリーンランドの 38 億年前の岩石中に発見されており、現在ではこれらが地球上最古の生物の痕跡である。これらの生物は酸素が極端に少ない時代に生きていた。

しかし、生命の祖先をいくら辿っても、最初の生物に行き着くことはできるかもしれないが、それがどこで生まれたかは教えてくれない。なぜなら、最初の生命は化学物質が無機的に合成されたものであり、生命前駆体となる化学物質が形成された場所に関する情報は決して与えてくれないからである。ここから先は実験に頼るほかない。

生命の材料はどこから来たか

地球ができたばかりの頃、地表全体がマグマで覆われるほどものすごく高温になったことがあり（マグマオーシャンと言う）、当初の記録は残されていない。現在、地球上でもっとも古い物質は、オーストラリアの花コウ岩の中に発見されたジルコンという鉱物で 44 億年の年代を示す。地球形成が 45.6 億年と言われているので、およそ 1.5 億年後にできた物質である。この鉱物の酸素同位体比から、当時既に地球表面には海（大きな水たまり）があったと考えられている。このときの海には有機物はあまりなかったと推定される。なぜなら、マグマオーシャンの時代に、宇宙からやってきたかもしれない有機物は全部分解（燃え尽きたと言ってもいい）してしまったからである。ミラーの有名な実験は、シアンやアンモニア、水素などを含んだ原始大気中で放電によってアミノ酸（正確には加水分解してアミノ酸となるアミノ酸前駆体）が合成されることを示した。しかし、宇宙空間ではともかく、地球でこのような大気中で有機物が合成されたとは考えにくい。なぜなら、最初に海ができた頃、メタンではなく二酸化炭素が、アンモニアガスではなく窒素ガスが、硫化水素ではなく二酸化硫黄が大気を構成しており、大気はミラーの実験で仮定されたほど還元的ではなかった。水もまた水素の酸化物である。生命の材料となる有機物は宇宙空間からもたらされたという考え方がある。宇宙空間には、地球上で発見されるよりはるかに多種類の有機物が存在する。それは、分子雲の中で、ミラーの実験のようにして形成された可能性は高い。マグマオーシャンの時代に有機物は一度分解しているので、その後落下した隕石や彗星等が材料を運んできたのであろう。それらは海底堆積物等に溜まっていった。

一方、有機物合成は、地球上で起こったと考える研究者もいる。有機物の主材料は、炭素、酸素、水素、窒素等であり、イオウ等を含めても、大気や海洋にありふれた軽元素ばかりである。それらを含む物質の多くは揮発性物質でもある。有機物が合成されるためには温度は高い方がいい。それなので、温度・圧力が高い海底熱水系は有力な候補地と考えられた。それに、地球全体の温度が高かった原始地球では、海底熱水系は今よりもたくさんあったはずである。しかし、海底熱水にはリン（リン酸）が含まれていないのは都合が悪い。陸上熱水系であればリンは得られるが、どちらにしても、水があると有機物の濃縮が起らないとい

う欠点がある。後期重爆期説というのはかなり魅力的な仮説である。月のクレーターには 41～38 億年前に形成されたものが多くあり、この時期に、金星・地球・火星等も多くの隕石が落下したと考えられている。地球に隕石が落下したとき、その衝撃で有機物が形成されたというのである。水や炭酸塩、窒素ガスなどの材料を詰めた容器を大砲の筒のような実験装置を用いて撃ち付けて衝撃を与える実験から、多種類のアミノ酸や糖類を作ることに成功している。つまり、隕石が衝突した瞬間の高温・高圧が有機物合成に重要だと言うのである。その後、有機物は海洋底堆積物に溜まり、重合化を待つことになる。

重合化反応はどこで起こったか

宇宙空間で有機物が合成される場合には、単量体はできないで、高分子が形成されるため、重合化反応は必ずしも重要でないかもしれない。むしろ、加水分解と再構成が重要なプロセスである。地球上で単量体ないしは重合度の低い有機物から高分子が形成されて生命となるには重合反応は必須である。特に重要なものはタンパク質を作るアミノ酸や有機酸、核酸塩基である。アミノ酸や糖類の重合化は脱水反応なので、温度は高く、水分は少ない方がいい。海底熱水系では、グリシン等の重合化反応は起こるのであるが、重合速度よりも分解速度の方が速くて、アミノ酸はどんどん単量化していく。また、250℃よりも高温の熱水中では、アミノ酸自身が安定でなく、分解されて減少していく。核酸塩基とリボースも水の中では合成されないため、核酸ができない。熱水系は、生命進化のゆりかごにはなり得るが、生命発生場にはなりそうにない。

水が少なくて温度が得られる場所はどこにあるのだろうか。一つは、地表付近なら、干潟である。干潟は水のある時は有機物を含んだ堆積物が溜まる。乾燥すると水を失う。火山が近いと、地熱があるので、なおいいかもしれない。しかし、原始地球の表層には紫外線が降り注いでいたはずなので、太陽光にさらされる表面では有機物は安定に存在できない。もう一つは高深度の堆積物である。海底堆積物も厚く溜まると、深くなるほど水が抜けていく。からからに乾くことはないかもしれないが、自由に移動する水がなくなる程度には水分が低下することは有り得る。堆積物には粘土鉱物がたくさんあるのも単量体が重合化するには好都合である。粘土鉱物は、

海底堆積物にたくさん含まれるアルミノ層状ケイ酸塩である。有機物は粘土鉱物表面によく吸着されるが、粘土鉱物が水分を奪う役割をするために、有機物から水が失われやすくなる。たとえば、粘土鉱物表面に吸着したグリシンは、環状 2 量体 (DKP) を経て 3 量体へと重合

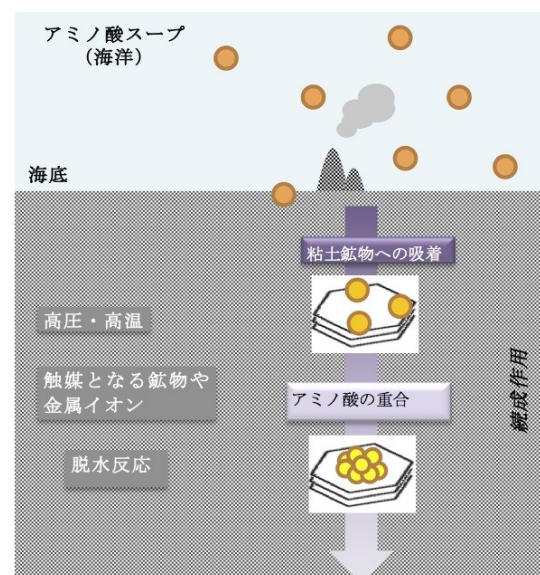


図2 海洋でできたアミノ酸が海底堆積物中で重合化するようす (淵田茂司作図)

化が進む。また、水は化学反応を促進させるためにごくわずか必要である。

「おわりに」

太陽系の中で、生物がいるかもしれないと言われる天体が複数ある。火星、エウロパ、タイタン等である。地球にいる生物と似た生物であるという条件であるならば、「液体の水」があることが必須である。宇宙起源の有機物が海洋で化学進化して生命が発生した場合には、海のある太陽系の天体であれば、生命が存在する可能性は高い。これが、数多く行われている太陽系や太陽系外に生物を探す研究の根拠である。(残念なことに、イトカワから持ち帰られた試料には有機物はほとんど見つからなかった。最近欧州宇宙機関の探査機が着陸した彗星にはどうだろうか。) 太陽系外で生命現象の信号を読み取ろうという計画もある。ケプラー計画であるが、探査機が故障して、これまでの精度での観測は無理らしい。

一方で、後期重爆撃期説のような惑星内部での化学反応が原因である場合にはどうだろうか。地球とよく似た化学組成を持ち、よく似た化学進化をした火星では生命が期待できるかもしれないが、岩石を主体とするのでない天体では生命発生の化学的条件が整わないであろう。地球上に高分子の有機物が現れてから生命発生までの時間は意外に短かったようである。多分、1億年以内、長くても2億年かそこらであろう。そのような急速な反応には、短時間で高濃度に有機物が濃縮されるメカニズムが必要である。その点で、宇宙起源の有機物を濃縮させるよりは、地球内部での劇的な環境変動は魅力的な考え方である。

生命発生に至るには、核酸とアミノ酸が結合する必要がある。これまでの研究では、アミノ酸や核酸のそれぞれの重合反応は説明しても、核酸とアミノ酸の重合反応にまでは至っていない。実験室での検証にも多くの課題が残されている。私たち全ての生物の体は星のかけらでできている。生命の発生は星の化学進化の必然的過程なのだろうか、あるいは地球は孤独な例外なのだろうか。

引用文献

Woese C. R. et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 87, 4576-4579, 1990.