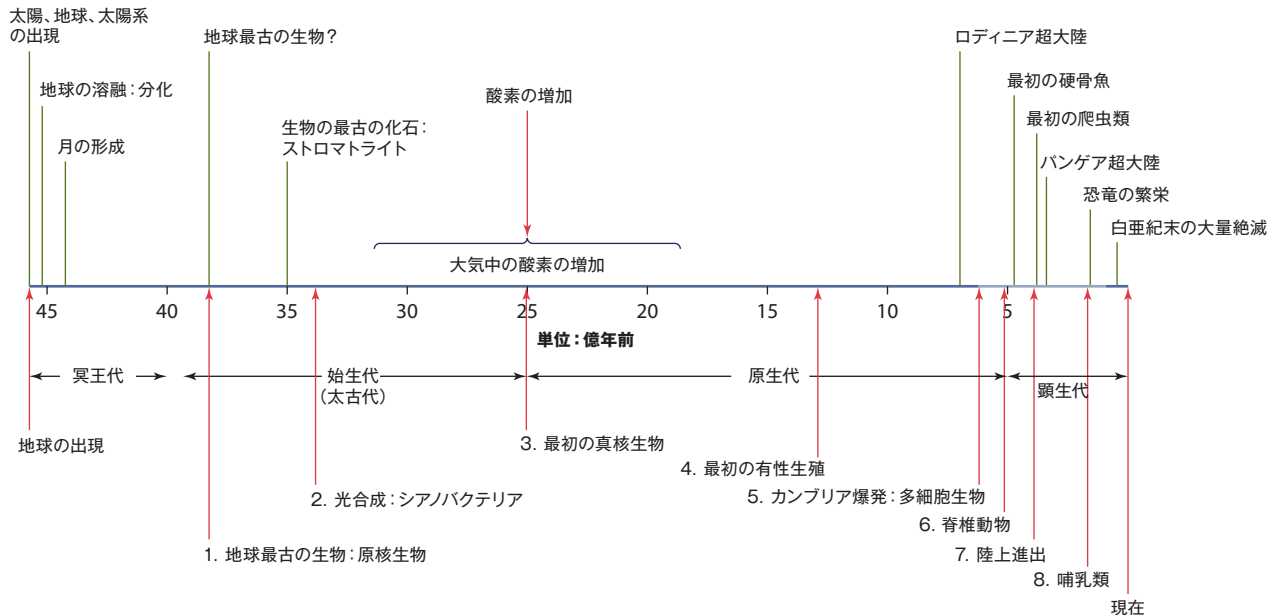


図 3.8 地球上の生命のタイムライン

大気中の酸素の割合が増えるのに要した時間の長さ注目である。この図から、人間に対する理解について、何が得られるだろうか？



ちだ。だが、私たちはいまだに、複雑性の低い生物に依存し続けているのである。本書では人間を中心に上げていくが、これは人間が現段階で優占種のように見えるという理由だけでなく、人間なら私であれ、あなたであれ、他の誰かであれ、私たち人間という生物種の歴史に興味を持つと思われるからだ。

生命の進化を記すにあたって、二つの要素——生物学的な要素と地質学的な要素——を同時に伝えるのは難しい。生物は絶えず変化しており、地球もまた変化していて、互いに影響を及ぼしているからだ。生物学的な変化に注目するたびに、生物が地球表層の組成に与える、および、地球から生物に対する、相互作用的な影響の例も挙げることになるのである。

地球上の生命の歴史を単純化するため、図 3.8 のように 8 つのステージに分けていく。最初の 4 つのステージで、30 億年に及ぶ単細胞生物の進化を扱う。以下がその 4 つだ。

1. 原核生物の出現
2. 光合成または太陽からの光エネルギー
3. 呼吸と真核生物の出現
4. 有性生殖

この最初の 4 ステージで、これまでに経過した時間の 6/7 になる。この間の生命は単細胞生物で構成されていた。

もし人間が地球以外の場所で生命を見つけられるとしたら、このような段階のものだろう。

続く 4 つのステージで、残りの 1/7 を扱う。期間にして、わずか 6 億年ほどだ。

5. 多細胞生物の出現
6. 背骨を持った脊椎動物
7. 陸上生活へ
8. 800 万年前までの恐竜と哺乳類

## 最初の 4 ステージ (38 億年前から 6 億年前まで)

生命の最初の 4 ステージは単細胞の微生物のみからなるが、これによって生命の基本過程が進化した。発酵、光合成、呼吸、真核生物の出現、そして有性生殖である。これらの進化には約 30 億年を要した。

### 第 1 ステージ: 最初の生命 (およそ 38 億年前)

最初の生物は原核生物に似たものと考えられている。先に記したように、核を持たない単細胞の微生物のことだ。最も小さな真正細菌[単に「細菌」あるいは「バクテリア」とも呼ばれる]や古細菌の直径は、水素原子の直径の 1000 倍で、鉛筆

で付けた小さな点に1000個が入るほどである。この小さなものの中に、分子が詰まっている。真正細菌や古細菌はナノテクノロジーの使い手というわけだ。

最も単純な微生物は、(成長して体が2倍ほど大きくなると)半分に分かれて複製する。つまり、通常は死なない。死ぬ原因には、飢餓、熱、塩、乾燥、抗生物質などがあるが、そのような状態が起きないかぎり、半分に分かれて増え続けていく。

初期の生物は、深海の熱水噴出孔にいる古細菌も、ほかの至るところにいる細菌も、近くにある単純な分子を“食べて”エネルギーと食料を得ていた。初期の細菌が利用したのは、酸素を使わない代謝である発酵[と嫌気呼吸]だ(酸素は最終的には代謝の重要な一部となるが、そうなるのは酸素が大気の一部となる十数億年後のことだった)。発酵において、細菌は酸とアルコールを排出するが、これに含まれるエネルギーは、摂取した食べ物に含まれるエネルギーより少ない。細菌の中には現在まで、発酵者として機能し続けているものもある。たとえば、乳製品を代謝してチーズにする細菌だ。古細菌は、非常に熱い水や塩分の高い水など極限環境での生息能力において、細菌よりも優れている。細菌が食料としてアミノ酸や糖などの有機化合物(炭素を含む分子)を“食べる”必要があるのに対して、古細菌は深海の熱水噴出孔から放出される硫黄など、ごく単純な無機化合物を使う代謝能力を発達させていった。

## 第2ステージ： 光合成(およそ34億年前 から25億年前まで)

生物の初期の時代に、アミノ酸やタンパク質が周囲からなくなってくると、微生物はエネルギーを得るほかの方法を見つける必要が出てきた。そこで、**光合成**によって日光から食料を得る能力を伸ばすものが出てきたのである。ほかの細胞が発酵[と嫌気呼吸]の廃棄物として放出した二酸化炭素を利用する方法を見つけたのだ。光合成を行うものは、文字どおり空気を食べるわけだが、窒素や硫黄などの元素は依然としてほかのところから調達する必要があった。

光合成では、表面に当たる日光を分子内でとらえられるように、クロロフィル分子は小さなソーラーパネルのように原子を並べている。太陽のエネルギーは、水分子( $H_2O$ )の水素原子(H)と酸素原子(O)を切り離す。太陽エネルギーを用いることで、この水素原子と、空気中の二酸化炭素( $CO_2$ )の炭素原子(C)が結合して、炭水化物(糖質)を生成すると同時に、大気中に酸素( $O_2$ )を排出する。この糖質には、太陽からの化学エネルギーが含まれているのだ。

クロロフィル分子は緑色をしている。これが初めて登場したのは、**シアノバクテリア**とも呼ばれる藍色細菌という原核生物だった。以前は藍藻と呼ばれていたが、藻は核を持つ**真核生物**として知られるもっと複雑な細胞からなっているため、名前が変えられたのである。

光合成は生物史上、重要な代謝の進化の代表例であると言える。シアノバクテリアは、その子孫である植物と同様に、太陽のエネルギーを直接得て生きていたのだ。太陽のエネルギーを直接取り込む植物は、動物に食べられる分も含めて、そのエネルギーを蓄えているのである。シアノバクテリアによる光合成はまた、大気中への酸素放出をも意味した。やがて、およそ30億年前から20億年前の間に、大気中の酸素の割合が約1%から現在の20~21%に変化したのである(第2章を参照)。

人間は過去だけでなく現在においても、光合成の恩恵を大いに受けている。地球上で毎日およそ4億トンの二酸化炭素と、およそ2億トンの水から、およそ3億トンの有機物と、同じく3億トンの酸素が生成されているのだ。現在も日々の光合成の半分は、成長を支えられるほど十分な日光が当たる、海の表層にいる海洋性のシアノバクテリアによって行われているとも言われている。

シアノバクテリアが、なぜこれほど変化せずに、これほど長く生きてこられたのか? その答えは誰にもわからないが、おそらくはこの細菌こそ生命の機能の本質を有しており、また適応力が高いために、変化する必要がないのだろう。つまり、選択圧があまりかかっていないのだ。

初期のシアノバクテリアは水の浅い場所に広がって、**ストロマトライト**という半メートルほどの高さになる、細菌が集まった大きな塊を形成した。その表面には砂や泥の細かい粒が付着し、塊の中深くにいる細菌が死細胞を消費して炭酸塩結晶が形成され、大きな石灰岩となるのである。各細胞にはそれぞれ機能があるが、より複雑な細胞や細胞間の相互作用が存在する証拠はない。化石となったストロマトライトは数多く見つかっており、西オーストラリア州のパハマ・バンクスやシャーク湾では、現在でも生成されているものがわずかながら見られる。こういった場所には、それらを採食する動物がいないのだ(図3.9)。

光合成を発達させて有機栄養枯渇の危機を脱したシアノバクテリアだったが、やがて別の危機に見舞われた。酸素の放出によって、大気や海の組成が変化したのである。最初のうちは酸素は鉄と結合して、赤い岩[赤さび、鉄の酸化物]が大量に生成された。海に溶け込んだ酸素も多かった。それが徐々に、およそ25億年前には、空気と海の酸素化が地球規模で重要な意味合いを帯びてきたのである。最初