

現在私たちが暮らす地球上は、陸上であれ、海水中であれ、たいていの場合は大型の脊椎動物を食物連鎖の頂点にした生態系で構成されている。陸上では木々が茂る豊かな森の中に大小さまざまな生物が棲息する。海水中であれば、珊瑚などの礁性生物が群生する礁周辺に、多種多様な生物が棲息している。これらの生態系は、私たちの目に見える大型生物のみがその役割を担っている訳ではない。目には到底見えないちっぽけな微生物もこの生態系で重要な役割を果たしている。地球史や生命史をひも解くと、むしろ微生物や細菌と呼ばれる生物群が大型の生物たちよりも先輩であり、現在の多様性や生態系を構築し、支えてきたことがわかる。

動物や植物、菌類、藻類、原生動物は「真核」生物に分類され、遺伝物質を膜で仕切られた核に内有する。細菌・古細菌は「原核」生物に位置づけられ、細胞内にこうした核を持たない。真核生物はキノコなどの菌類から、わかめや昆布の藻類、タンポポやブナ・ナラなどの植物、そして私たち人間を含めた哺乳類などの動物に至るまで、様々な大きさ・形態・機能を持っている。こうした真核生物はいかにも生態系の中において華やかであり、重要な地位を占めているかのように見える。これに対して、原核生物はほとんどの場合、微小で棒状・球状もしくはフィラメント状（糸状体）であり、顕微鏡などの機器を使って観察しても華やかさには欠ける。

少し視点を変えると、真核生物より原核生物にその大きさや形とは裏腹のたくましさを感じる。生物は生きる以上、物質やエネルギーの摂取・循環、つまり「代謝」が不可欠となる。真核生物の生き方の一つは「従属栄養生物」で、成長に必要な炭素とエネルギーを他の生物が作った有機物の摂取することで補っている。また、各細胞ではエネルギーを得るために、酸素で糖を水と二酸化炭素に分解する「好氣的（酸素）呼吸」をしている。もう一つの代謝は植物や藻類が行う「光合成」で、葉緑素が太陽光を利用して二酸化炭素を固定し、副産物として酸素を排出する。

初期の生命史が明らかにされてくる中で、原核生物の代謝の多様性が改めて注目されている。多くの細菌は真核生物と同様の好気性呼吸のほかにも硝酸塩(NO_3^-)を使って呼吸したり、硫酸イオン(SO_4^{2-})や鉄・マンガンの酸化物を利用する。さらには二酸化炭素と酢酸からメタン(CH_4)を発生させたり、多様な発酵反応からエネルギーを得ることができる。

細菌は光合成についても多様性を持っている。色素を持つシアノバクテリア（藍藻）は真核生物（植物）の場合と同じように、二酸化炭素を固定して、酸素を排出するタイプの光合成をする。しかしシアノバクテリアは、硫化水素を用いて、酸素を排出しない光合成を行うこともできる。このシアノバクテリアは5種類の光合成細菌のうちの1種類で、他の光合成細菌は酸素を排出しない光合成しか行わない。原核生物は呼吸や発酵、光合成などの代謝においてこれだけの多様性を持っているが、さらには「化学合成」によってエネルギーを取り込むことができる。化学合成細菌は太陽光ではなく、化学反応によって光合成と同じように二酸化炭素から炭素を取り込むことができる。

地球上に生物が棲息できるためには、こうした物質循環が整った「環境」が必要なことは自明である。地球は生命の存在する惑星としてこの化学サイクルを維持しなくてはなら

ず、それは原核生物を抜きに成立し得ない。例えば炭素循環の場合、光合成によって炭素を有機物に固定すると同時に酸素を環境に提供する一方、呼吸によって酸素を消費し二酸化炭素を環境に戻すことで循環する。しかしこの単純なシステムだけで炭素循環は成立しない。地球の7割を占める海洋、その海底には生物源有機物が堆積する。この大量の有機物を分解し、炭素を再循環させなければ、地球環境の炭素循環は成立しない。しかし海底の堆積物中は酸素に乏しく、好気性呼吸しかできない真核生物は役に立たない。硫酸塩を還元したり、鉄やマンガンを使う呼吸によって、炭素を「環境」に戻さなければならず、実際に現在の海洋でも、こうした呼吸が地球上の好気性呼吸と同じくらい大きな役割を果たしている。つまり酸素の欠乏した環境では、原核生物（細菌）が炭素循環を一手に担っていることになる。

これは生物に必要な硫黄や窒素などの元素でもいえる。タンパク質に欠かせない窒素は、現在の大気の約78%を占めている。しかし我々は、これを直接摂取することはできず、ほかの生物を食べることで窒素を摂取しなければならない。植物は土壌からアンモニウム(NH₄⁺)や硝酸塩を摂取することができ、私たちは植物を食べることで窒素を摂取できる。しかし、アンモニウムは腐敗によって生成されるものであり、硝酸塩はアンモニウムを酸化する細菌によって作られる。細菌が真核生物に使える形の窒素を、アンモニウムや硝酸塩から生成している。そして窒素循環を止まらないようにしているのも、原核生物であって、大気中の窒素をアンモニウムに転化・固定している。ここでも原核生物を抜きに循環が成立し得ないことになる。炭素や窒素、硫黄など生物に必要な元素が、循環つまりは生物圏全体の行き渡るためには、こうした原核生物（細菌）の存在を抜きにあり得ないことがわかる。原核生物の多様な代謝が、生態系の基本回路を形成していることは明らかで、私たち人間を含め、生態系の中で一見重要な位置を占めているような動植物が、原核生物（細菌）が構築してきた「環境」に生きていることを認識しなければならない。



図1 西オーストラリアのシャーク湾ハメリンプルの現生ストロマトライト
(兵庫教育大学教科・領域教育学専攻・自然系コース, 竹村厚司氏より提供)

酸素は好気性呼吸をする生物には欠かすことはできない。私たちも酸素呼吸をして生きている。酸素は現在の大气組成において、その約20%を占めている。しかし原始大气では現在よりも、その割合が著しく低かったと考えられている。27億年以前は現在の千分の一にも満たない量の酸素しかなかったと推測されている。この大气組成を大きく変えたのが、

細菌であるシアノバクテリアである。既に述べたように、シアノバクテリア（藍色細菌）は糸状細菌で光合成によって遊離酸素を排出する、唯一の光合成細菌である。過去のシアノバクテリアを直接目で見ることはできないが、ストロマトライトという化石が生息した痕跡を今に残している。この化石は 27 億年前の地層に初めて見られ、原生代〜古生代（25~2.5 億年前）の地層に産し、特に先カンブリア紀の石灰岩に特徴的に産する。現在もわずかに生息しており、西オーストラリアのシャーク湾ハメリンプルのものが有名である（図 1）。このストロマトライト化石は上に凸の縞々模様からなる堆積構造で、樹枝状・マッシュルーム状などの形態をとり、数 cm ~数十 cm のサイズを持つ。山口県に在住する私たちは身近な秋吉台の石灰岩に、この化石を見ることができる（図 2）。



図2 秋吉石灰岩に見られるストロマトライト

生命史を顧みるとこのシアノバクテリアが出現しなかったら、私たち好気性呼吸生物は生息し得なかったかも知れないし、人類がこれほどの高度な文明を築くことはなかったと考えるのも決してオーバーではないかも知れない。光合成によって海洋に供給された遊離酸素は、海水中の鉄イオンを急速に酸化・沈殿させ、酸化鉄として堆積物中に濃集させている。これは 25 億年前頃をピークとして世界中に堆積した縞状鉄鉱床を形成しており、人類が最も多用する金属である鉄のほとんどはここから精錬されている。

生命圏を支える化学循環システム、金属鉱床の生成、さらに私たちは発酵を利用した様々な食べ物の恩恵も受けている。さらに人間の腸内には約 1kg もの細菌が生息(共生)しているとされる。このように考えていくと、私たち人間も、単に原核生物である細菌が支える「化学循環システム」である「環境」に生きているのではなく、その一部として「共生」していると理解していくことが大切なように思われる。