

テトラピロールと地球環境

大河内直彦 おおこうち なおひこ
海洋研究開発機構

クロロフィルとは言うまでもなく、太陽からもたらされる光エネルギーを捕集する役目を担った分子である(図a)。クロロフィルの役割は、単に光エネルギーを集めることだけではない。個々のクロロフィル分子が集めた光エネルギーが集う反応中心において、電子伝達の一翼を担う分子としての役割も果たしている。クロロフィルのおかげで植物は、炭素固定に必要なエネルギーや還元力を得ることができるのだ。この分子が植物の世界にとどまらず、この星で起きるあらゆる生命現象の根幹をなすことは論をまたない。なぜなら、私たちを含むこの星に暮らすほとんどの生き物は、究極的には太陽エネルギーに依存して生きており、その太陽エネルギーはと言えば、主にクロロフィルによって捕集されて他の生き物が使える化学エネルギーに変換されているからである¹。このコラムにこれまで何度も登場した食物連鎖とは、生物界におけるエネルギーの流れを示すものに他ならないが、それとてクロロフィルあつての話である。

植物やバクテリアが合成するクロロフィルには、クロロフィルaからバクテリオクロロフィルgにいたるまでその種類は豊富で、主なものだけでも10種類以上知られている。しかし、それらの化学構造は互いによく似ていて、特に中心環の部分はほとんど同一である。そこで今回のコラムでは、クロロフィルの中心環をなす「テトラピロール」

と呼ばれる特殊な化学構造に着目してみることにしよう。この化学構造は名前が示すとおり、4つ(テトラ)のピロールが丸くつながったものである。クロロフィルがもつテトラピロールの場合、二重結合が共役構造をなしており、平面なテトラピロールの両面に多数の電子が「天使の輪」のように取り巻いている。このような電子の配置が、光エネルギーを吸収するうえで重要な役割を果たしている。

生物界においてテトラピロールは、多様な機能をもちうる構造として他の用途にも使われている。クロロフィル以外のテトラピロールの代表はヘムだろう(図b)。ヘムは生体中でさまざまな用途に用いられているが、私たちの赤血球に多量に含まれるヘモグロビンがもつ赤い色素もその一つである。ヘムのテトラピロール構造の中心には鉄イオンが配位されており、それが酸素と結びついたり手放したりして、肺から取り込んだ酸素分子を身体の間々まで運んでいる。そして、3つ目のテトラピロールがビタミンB₁₂である(図c)。この分子は、私たちの身体の中でアミノ酸や脂肪酸を代謝するのに欠かせないものとして知られている。

あまり知られてはいないが、もうひとつ重要なテトラピロールが生物界には存在する。メタンを生成する古細菌(「メタン菌」と呼ぶ)がもつ補酵素のF430と呼ばれる分子である(図d)。地下や海底下の酸素分子に欠乏した環境で暮らす微生物は、私たちのように有機物を酸素分子で酸化してエネルギーを得ることができない。その代わりにメタン菌は、二酸化炭素と水素を反応させたり、酢酸などの簡単な有機化合物を還元させてメタンをつくり、その差分のエネルギーを利用して暮らしている。いわゆる「発酵」の一種である。エネルギー効率

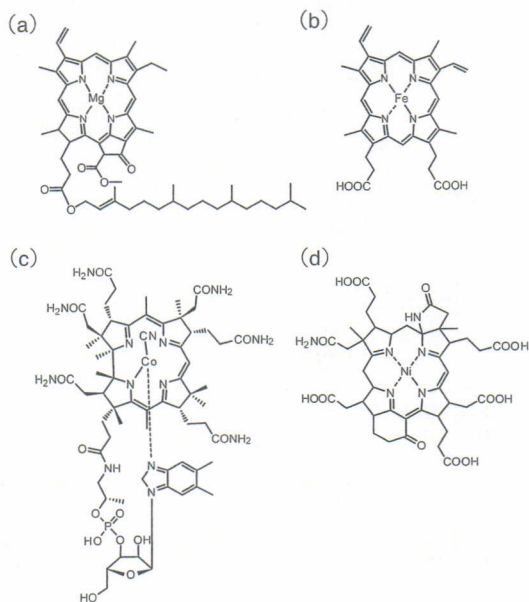


図1—生物界で見られる4種類のテトラピロール
(a)クロロフィル a, (b)ヘム, (c)ビタミン B₁₂, (d)F430。

は決してよくないものの、物質の酸化還元反応の際に生まれる化学エネルギーを巧妙に利用するやり方だ。ちなみに、人類がエネルギー源として利用する天然ガスの主成分はメタンだが、その一部はメタン菌が地下や海底で活動した結果生じたものである。

さて、メタン菌の細胞内で、二酸化炭素と水を材料にメタンが生成される(メタン菌がエネルギーを得る)プロセスは複雑で、計7ステップの生化学反応から成り立っている²。一連のプロセスの最後の反応を触媒するのが、メチル補酵素 M レダクターゼと呼ばれる酵素である。F430はこの酵素の反応サイトとして機能する分子で、430 nm を中心とする青色光に大きな吸収ピークをもつため、このように命名された。

メタンを生成することによってエネルギーを得る化学合成生物は、二酸化炭素に満ちた還元環境が広がる初期地球において進化したと考えられている³。30 億年あまりに及ぶ生物進化の中でもかなり初期の進化であり、光合成生物の進化よりも前に起きていた可能性もある。興味深いことに、植物細胞の中で合成されるクロロフィルもメタン菌の中で合成される F430 も、途中までまったく

同じルートを通して生合成されている。すなわち、アミノレブリン酸を前駆体としてピロールが合成され、それが4分子縮合することによってテトラピロールとなる⁴。生化学的な進化という面から考えると、F430 とクロロフィルは同一線上に位置するわけだ。

光合成の入り口であるクロロフィルとメタン生成を担う F430 は、どちらも生物界にエネルギーを流入させる分子という点において同格といえる。そのように考えると、生物がテトラピロール構造を合成できるようになる前は、生物界を流れるエネルギー量は桁違いに少なかっただろう。それまで(おそらく)特定の化学合成だけに頼っていた生物界は、化学合成の可能性を大きく広げるとともに、光合成というほぼ無尽蔵のエネルギーを手にするルートの開発に成功したのである。その時以降、この星のバイオマスは大きく増加した。そして同時に、この星の環境は生物活動の副産物による「汚染」がひどくなったはずだ。その環境汚染は、現在まで連綿と続いている。おかげで、現在の大气中に含まれる酸素は 21% にも達している。大气中のメタンは 2 ppm にすぎないが、その多くはメタンハイドレートなどとして地中の環境を「汚染」し続けているのである。

文献と注

- 1—最近になって、ロドプシンを用いた全く異なる光合成システムをもつ生物も見出されている。
- 2—R. K. Thauer: *Microbiology*, **144**, 2377(1998)
- 3—J. A. Leigh: In *Biodiversity of microbial life: foundation of earth biosphere*(J. T. Staley & A. L. Reysenbach, editors), John Wiley & Sons(2002)pp. 103~120
- 4—A. A. DiMarco et al.: *Annu. Rev. Biochem.*, **59**, 355(1990)

コラム 放射線測定の現場から No.22

ガンマ線測定の進歩

小豆川勝見 しょうずがわ かつみ
東京大学大学院総合文化研究科(環境分析化学)

放射線は難しい——福島第一原子力発電所の事故から2年以上が経過した現在でも、放射線測