



## ● 最強の矛「酸素」と戦う

公募C班 浅井 智広

現代の地球大気の約 20%は分子状酸素である。この酸素のほぼ全てが、植物や藻類が行う“最強”の異化代謝、「光合成の明反応」の副産物である。一方で私たちヒトは、この酸素分子を、これまた“最強”の異化代謝と目される、「好気呼吸」の最終電子受容体として利用し、生命維持に必要なエネルギーを得ている。進化の歴史を紐解けば、好気呼吸は酸素発生型光合成よりも後に出現し、地球上最悪の毒物である酸素を細胞内から除去するために生まれたと考えられている。つまり、“最強の矛”である光合成の酸素から身を守る、“最強の盾”として好気呼吸は進化した。さて、どちらが“最強”なのだろう？

酸素発生型光合成では、酸素は、末端電子供与体である水を酸化した際の副生成物として放出される。元々、初期の光合成生物は酸素を他の生物を攻撃する“矛”として作り出したわけでない。それどころか、自分自身も、三重項クロロフィルで生成される一重項酸素の危険に曝されている。酸素発生型光合成は諸刃の剣であり、ひとたび手を出せば、全ての生理現象を酸素の制御に費やすはめになるのだ。そんな危険な諸刃の剣には手を出さず、“最強の矛”の酸素から逃げ続けて生きている光合成生物が居る。それが光合成細菌だ。私は、その中でも逃げに逃げている生物、緑色硫黄細菌に惹かれ、その生き様を研究している。

緑色硫黄細菌は、酸素濃度 1 ppm 以下という絶対嫌気的な環境での光合成でしか生育出来ない、極端に酸素を嫌う生物である。それにも関わらず、積極的に酸素から逃げたり、酸素を除去したりする術を持たず、環境中から酸素が無くなるのをひたすら待つ。酸素存在下で光が当たると死んでしまい、運良く生き残っていた者だけが酸素が無いときに増えるという、なんとも受動的な生き方をしている。それどころか、細菌の環境センサーとして知られる二成分制御系もなく、周りの世界を見ようともしていない、引き籠もった生物なのだ。このような生物の存在自体が不思議ではあるが、私が何よりも驚いたのは、こんな緑色硫黄細菌の光合成装置にも、過剰な光エネルギーの散逸機構が備わっていることである。

緑色硫黄細菌は、極端に暗い環境に適応した光合成細菌で、膜外集光系として働く巨大な細胞内オルガネラであるクロロソームをもつ。クロロソームは脂質単膜でできた小胞であり、内部には大量のクロロフィル色素の自己会合体が詰まっている。酸素がない環境では、クロロソームが吸収した光エネルギーは、光合成反応中心に伝達され、電荷分離反応を誘起する。しかし、環境中に酸素があると、吸収した光エネルギーは

クロロソーム内部で熱として散逸してしまう<sup>2)</sup>。この消光機能はクロロソーム内部のキノン分子やカロテノイドが担っており、細胞内の酸化還元状態に応答して起こることがわかっている。これに加え、光合成反応中心内部でも非光化学的な消光が起こることが、最近、本新学術領域内の共同研究で分かってきた。緑色硫黄細菌の光合成反応中心には、カロテノイドの配糖体が特異的に結合しているが、遺伝子改変によってその糖鎖部分のみを除去すると、光合成反応中心由来の蛍光の寿命が約 2 倍延びることがわかった。つまり、緑色硫黄細菌は、カロテノイドを集光色素ではなく、主に消光分子として利用していることがわかった。これは、緑色硫黄細菌が普段から光合成装置で吸収した光エネルギーの半分程度を捨て、敢えて光合成活性を抑えていることを意味する。恐らく、“最強の矛”である酸素からの攻撃に耐えるために。

通常、天然の光合成における非光化学的な消光の生理的な意義は、三重項クロロフィルと酸素の副反応の防止と考えられている。しかし、緑色硫黄細菌の野外の生育場所は、好気性生物やシアノバクテリア、紅色光合成細菌などが酸素を食い切り、硫酸還元菌が嫌気呼吸で硫化水素を放出するような、真に嫌気的な環境である。そのような酸素が存在しない環境での非光化学的な消光は、酸素防御としての意義とは“矛盾”している。

私は、生物界における現状のあらゆる矛盾は、進化的な観点で見れば解決できると考えている。最強の矛によって光合成と好気呼吸が進化したように。光合成装置に備わったカロテノイドによる消光機構も、実は元は違う進化的起源を持ち、それが偶々、酸素防御機構として、非光化学的な消光に利用されるようになったと考えることはできないだろうか。本新学術領域では、多様な研究者の多様な意見や観点到に触れることで、その手掛かりを少しでも得たい。酸素発生型光合成と水素発生系やメタン生成系の細胞内での両立も、酸素による酵素の失活という現時点での矛盾点に囚われず、生物たちの命がけの止揚である進化に学べば、その答えが得られるかもしれない。私たちのエネルギー問題の解決もまた、命がけの“矛盾”との戦いなのだ。

### 参考文献

- 1) J.A. Eisen et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A* **99**, 9509-9514 (2002)
- 2) N.U. Frigaard & K. Matsuura, *Biochim. Biophys. Acta* **1412**, 108-117 (1999)

新学術領域「革新的光物質変換」ニュースレター

第1巻・第12号(通算第12号)平成30年12月1日発行

発行責任者: 沈 建仁(岡山大学 異分野基礎科学研究所)

編集責任者: 八木政行(新潟大学 自然科学系)

<http://photoenergy-conv.net/>