

もっと光を. 人工光合成細菌の魅力

Ye Xiaoting* · 原 清敬

光合成は、太陽のエネルギーを有機物に変換して生物に取り込むことのできる唯一の方法である。そして、この方法で光エネルギーを利用している生物は、クロロフィルを持つ光合成生物（植物やシアノバクテリアや光合成細菌など）である。しかし、これらの光合成生物は、地球に到達する太陽光の0.1%しか使っていない¹⁾。そこで、このあり余っている太陽エネルギーを人間が利用可能なエネルギーに変換しようと、多くの研究者が人工光合成の実現に向けて研究を行ってきた。しかし、光合成生物をモデルとした人工光合成系の創出は、現状困難である。その主な理由は、光合成生物が光を利用するためには、多くのタンパク質が関与し、制御機構も複雑であるからである²⁾。

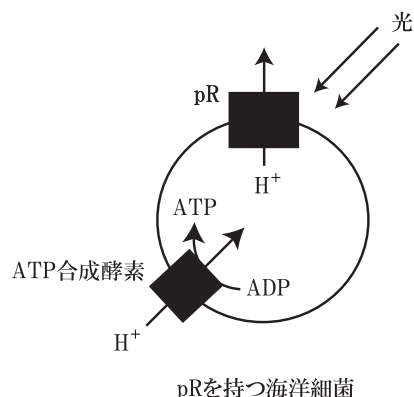
一方、あらゆる生物のエネルギー源となるATPの合成は、細菌では、細胞膜の内外に形成されるイオンの濃度差を利用して行われる。光エネルギーを用いてイオン輸送を行うロドプシンは、光エネルギーを直接、ATP合成の駆動力に変換するシンプルな仕組みで光エネルギーを利用できる。そのため、ロドプシンを非光合成細菌の細胞膜に発現させ、人工光合成細菌を創出する試みがなされている。

最初に見つかった細菌型のロドプシンの一種であるバクテリオロドプシン (bR) は高度好塩菌に存在する光駆動プロトンポンプであるが、異種発現すると機能しないことが多く、人工光合成に使用するのは難しかった。そのような背景、2000年に海洋細菌の中から、bRと同様にレチナルを発色団としてもち、光駆動プロトンポンプ機能をもつプロテオロドプシン (pR) が見つかった。pRは、7回膜貫通型の光受容タンパク質であり、照射によりプロトン細菌の内部から外部へ運ぶ機能を持っている³⁾。ConsarnauらはpRをまったく光を利用しない深海細菌フラボバクテリウム (*Flavobacterium*) にて機能的に発現させた人工光合成細菌を作出し、照射下でより速く増殖させることに成功した。この時、この人工光合成細菌は、富栄養条件よりも貧栄養条件で照射下での増殖効果が顕著に高かった⁴⁾。この結果は、富栄養条件では、解糖系や呼吸鎖が酸素や炭素源などの基質を利用し、光を利用せずとも細胞の生命活動に必要な大量のATPを供給しているのに対して、貧栄養条件では人工光合成細菌は光からATPを供給することで、自

らの生育に必要な炭素源の不足を補うことができたと推察されている^{5,6)}。これらの研究は、人工光合成細菌を用いれば、光エネルギーを利用し、酸素や炭素源を削減することができることを示している。これらの研究をさらに進め、より高効率な人工光合成細菌を創出するためには、pRよりも光利用効率の高い、新たな光駆動プロトンポンプの探索と培養条件の最適化が重要であろう。

ところで、ロドプシンは近年、光遺伝学 (Optogenetics) の研究分野でよく使われている。たとえば、神経回路の機能を調べるために、ロドプシンを神経細胞に発現させ、光を照射することで、神経の興奮や抑制を起こすことも可能である⁷⁾。

このように、ここで紹介したものはほんの一例であるが、これまでロドプシンを用いて多くの光の利用を目指した研究開発が進められている。これらの研究は、本来は光を利用できない生物を用いて、太陽のエネルギーを有用物質生産や、エネルギー生産に利用したり、光を医療分野へ利用したりする道を拓くだろう。



- 1) Walter, J. M. *et al.*: *Curr. Opin. Biotechnol.*, **21**, 265 (2010).
- 2) Johnson, E. T. *et al.*: *Trends Biotechnol.*, **26**, 682 (2008).
- 3) Béjà, O. *et al.*: *Science*, **289**, 1902 (2000).
- 4) Consarnau, L. G. *et al.*: *Nature*, **445**, 210 (2007).
- 5) Walter, J. M. *et al.*: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **104**, 2408 (2006).
- 6) Johnson, E. T. *et al.*: *Appl. Environl. Microbiol.*, **76**, 4123 (2010).
- 7) Airan, R. D. *et al.*: *Nat. Lett.*, **458**, 1025 (2009).