

シアノバクテリアの光センサー

加藤 浩

光合成生物は光をエネルギーに変換して生命を維持する。そのために光を効率よく取り込む色素が必要である。海洋や陸地では他の光合成生物との光吸収の競合や、深海や高山といった生育場所によって光質は変化する。効率よく光合成を行うために光質の変化に適応できる戦略があるとするならばどのような仕組みがあるのだろうか。

光合成生物の中でも植物の葉緑体の祖先と考えられているシアノバクテリアは水を分解して酸素を発生させる原核光合成生物であり、水棲と陸棲が存在し、藍色（青色）をしていることから、ラン藻（藍藻）、藍色細菌とも呼ばれる。ラン藻という名称が付けられたのは、過去に藻類の一群とされたためだが、系統的には真正細菌に属する。このため、現在ではシアノバクテリアの名称が多用される。しかし、これらのシアノバクテリアがもつ色素の名称には藻類を意味するフィコ (phyco) が残る。フィコシアニンとは青色の色素タンパク質であり、シアノバクテリアが青色を呈するのはこの色素タンパク質を持つためである。フィコシアニンに結合している色素はフィコシアノビルンでクロロフィルが吸収できない橙-赤色光を吸収する。また、フィコシアニンに加えてフィコエリスリンという赤紫色の色素タンパク質を持つシアノバクテリアも存在する。フィコエリスリンに結合している色素はフィコエリスロビルンで緑色光を吸収する。色素の色は、白色光を当てたときに特定の光の色を吸収した残りの光の色として目に映る。そのため、色素が吸収する光の色と目に映る光の色は補色の関係となる。

フィコシアノビルンなどのビルン色素はテトラピロールを開環した形をしている。テトラピロールは四つのピロール環を炭素原子で結合した環であり、開環テトラピロールはテトラピロール構造の炭素原子の一つの結合を切断した形であり、二重結合と単結合が交互に連なることで共役して可視光を吸収する。

一部のシアノバクテリアは光の色に合わせて色素タンパク質を変える。緑色光を当てると緑色光を吸収する赤紫色のフィコエリスリンを合成し、緑色光を吸収しない青色のフィコシアニンの合成を抑制する。また、赤色光を当てると赤色光を吸収するフィコシアニンを合成し、赤色光を吸収しないフィコエリスリンの合成を抑制する¹⁾。このように光の色に合わせて色素タンパク質を変化させることを補色順化という。補色順化はフィトクロムが発見される前に発見されていた。

高等植物では光質によって花芽形成や発芽を制御するフィトクロム（植物を表すフィト (phyto) と色を表すクロム (chrome)）という赤色光吸収型と遠赤色光吸収

型を可逆的に光変換する光受容体がある。シアノバクテリアにはフィトクロムに似た受容体があるが、植物に特有のドメイン（特定の機能や構造を持つ領域）をもたないフィトクロム様受容体も複数存在する。このうちの一つのフィトクロム様受容体の遺伝子欠損株では補色順化できないことが知られていたが²⁾、光の色と色素タンパク質遺伝子の発現調節機構の全容はよく分かっていなかった。

シアノバクテリアの植物とは異なるフィトクロム様受容体の光変換を明らかにしたのはシアノバクテリアの走光性研究であった。光源に向かうシアノバクテリア集団から遠ざかる変異体の解析により光受容体の遺伝子が見つかり、その光受容体がフィトクロムに似た色素結合ドメインをもつ色素タンパク質であることが突き止められた。より詳細な解析から、この色素タンパク質が開環テトラピロールを結合した、新規の青色光吸収型と緑色光吸収型の可逆光変換をする光受容体であると結論づけられた。前述の補色順化に関わる光受容体²⁾は赤色光吸収型と緑色光吸収型の可逆光変換をする光受容体であり、色素タンパク質遺伝子がリン酸化により発現調節されていることも後に明らかとなった。シアノバクテリア内でも多様性のあるこれら光受容体はシアノバクテリオクロムと名付けられた。詳しくは日本語の総説³⁾、解説⁴⁾を参照されたい。

光の色で遺伝子発現を調節する光受容体は光スイッチであり、たとえば油などの物質生産遺伝子と細胞凝集に関わる遺伝子を組み込んで光制御できれば生産だけでなく回収コストを減らすことも可能であろう。光受容体の光変換に重要なアミノ酸残基が明らかとなり⁵⁾、新規のシアノバクテリアから、遠赤色光と橙色光で光変換をする新規の光受容体も発見されてきた⁶⁾。光スイッチの調節機構の解明により複雑な代謝系の有用物質が生産できるだろう。日本の若手研究者達の今後の活躍を期待したい。

- 1) Fujita, Y. and Hattori, A.: *Plant Cell Physiol.*, **1**, 293 (1960).
- 2) Kehoe, D. M. and Grossman, A. R.: *Science*, **273**, 1409 (1996).
- 3) 池内昌彦: 蛋白質核酸酵素, **54**, 716 (2009).
- 4) 廣瀬 侑: 光合成研究, **63**, 5 (2012).
- 5) Hirose, Y. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **110**, 4974 (2013).
- 6) Narikawa, R. et al.: *Sci. Rep.*, **5**, 7950 (2015).