

● 光合成細菌の光捕集複合体における多彩な吸収挙動

公募 A 班 大友 征宇

すべての光合成は光エネルギーを集めることから始まる。光合成生物は太陽光の希薄な密度のエネルギーを効率的に集めるため、一般的に色素分子とタンパク質からなるアンテナのような光捕集複合体を大量に持っている。光合成細菌の場合、菌体の色や吸収スペクトルの特徴は主にこの光捕集複合体中の色素の種類と配置を反映していることから、菌体の種類や色素の構成を大まかに見分けるのによく使われる。また、光捕集は光が生体内に入る玄関口に当たるため、光合成の効率と機能にも重要な役割を果たしている。捕獲された光エネルギーは色素間における特異な空間配置により、フェムト秒からピコ秒単位で高速に移動し、ほぼ100%の効率で反応中心 (RC) に到達して電荷分離反応を誘起する。

紅色光合成細菌の光捕集複合体には、反応中心の周りを取り囲むコア光捕集複合体 (LH1) とその外側に位置する周辺光捕集複合体 (LH2) から構成されている。LH2 を持たない菌種もあるが、すべての紅色細菌には LH1 が存在する。LH1 と RC の比率は化学量論的にほぼ一定であるのに対して、LH2 は環境条件による量的変動があり、LH1 よりはるかに多量に存在する場合が多い一方、ほとんど合成されない場合もある。

光合成細菌の主要色素はバクテリオクロロフィル (Bchl) である。図 1 に代表的な紅色細菌の LH1-RC の吸収スペクトル (Q_y 領域) を示す。870–1050 nm にある大きなピークは LH1 中の Bchl 分子の吸収極大である。クロロフィルを持つ酸素発生型光合成生物のものよりはるかに長波長側に現れる。図中 1–4 のスペクトルは Bchl *a* を持つ LH1 由来のもので、5 は Bchl *b* を持つ LH1 のものである。水の吸収ピークは 970–980 nm (図中の灰色部分) にあることから、LH1 はこの領域を避けるように両側ぎりぎりのところまで吸収極大を配置していることが興味深い。

ここで、幾つかの疑問が生じる。例えば、同じ Bchl *a* を持つ LH1 でも吸収ピークに約 80 nm の差をもたらす構造的要因は何なのか? 有機溶媒中で Bchl *b* は Bchl *a* より 20 nm 程度レッドシフトしているのに対して LH1 中では約 130 nm も長波長側にシフトするのはなぜか? 極端に長波長の吸収ピーク (より低いエネルギー準位) を持つ LH1 とそのエネルギー伝達先の反応中心にあるスペシャルペア (LH1 より高いエネルギー準位) とのエネルギーギャップ (登り坂エネルギー移動の幅) はどこまで許されるか? などが挙げられる。

これらの多彩な吸収挙動を示す LH1 の謎を解き明かす手がかりにわれわれは図 1 中 3 のスペクトルを示す好熱性硫黄細菌 *Thermochromatium (Tch.) tepidum* 由来

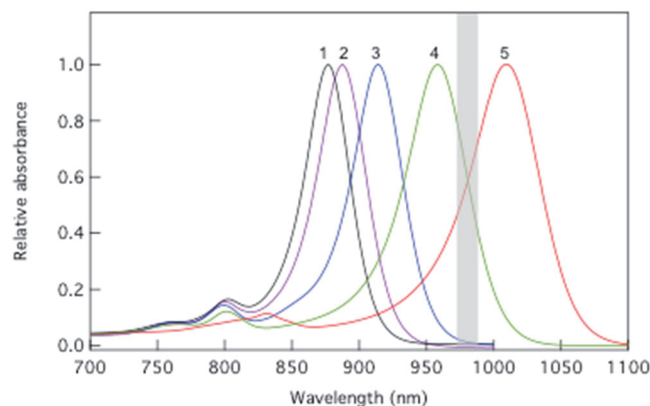


図 1 代表的な LH1 の吸収スペクトル (Q_y 領域)。
1. *Rhodospirillum rubrum* (ピーク位置 : 877 nm); 2. *Allochromatium vinosum* (887 nm); 3. *Thermochromatium tepidum* (915 nm); 4. *Thiorhodovibrio* strain 970 (960 nm); 5. *Blastochloris viridis* (1010 nm)。灰色 : 水の吸収領域。

の LH1 を選んだ。通常の LH1 は 870–880 nm に吸収ピークを示すが、*Tch. tepidum* の LH1-Q_y は 915 nm にある。全く別の目的で行った実験からこの現象に Ca²⁺ が関与していることを突き止めた¹。Ca²⁺ を除去すると LH1-Q_y は 870 nm にシフトし、再び添加すると 915 nm に戻るという可逆的な変化を示す。さらに、Ca²⁺ が LH1 複合体の熱安定性にも必要不可欠であることを明らかにした²。X線結晶構造解析の結果から Ca²⁺ の結合部位が検出され³、水分子を含む 6 つの配位子も同定された⁴。一方、888 nm に吸収極大を示す Sr²⁺ 及び Ba²⁺ 置換型 *Tch. tepidum* LH1-RC の結晶構造も解かれ、LH1 中における Sr²⁺ と Ba²⁺ の結合部位は Ca²⁺ のものと異なっていることが判明した⁵。この微生物が生息する米国 Yellow Stone 国立公園にある温泉の周辺に豊富な炭酸カルシウムが存在することから、進化の過程において環境適応のために LH1 中に Ca²⁺ を取り入れたものと考えられる。

最近、図 1 中 4 の吸収ピークを示す *Thiorhodovibrio* strain 970 由来の LH1 においても Ca²⁺ の関与が示唆された。

References

1. Y. Kimura, et al., *J. Biol. Chem.* **283**, 13867 (2008).
2. Y. Kimura, et al., *J. Biol. Chem.* **284**, 93 (2009).
3. S. Niwa, et al., *Nature* **508**, 228 (2014).
4. L.-J. Yu, et al., *Nature* **556**, 209 (2018).
5. L.-J. Yu, et al., *Biochemistry* **55**, 6495 (2016).

新学術領域「革新的光物質変換」ニュースレター
第 2 巻・第 5 号 (通算第 17 号) 令和元年 5 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/>