



光合成と酸素

京都大学大学院 生命科学研究所

伊福 健太郎

酸素発生型光合成では、反応の副産物として酸素分子 (O_2) が発生する。一方、太陽光は光合成生物にとってしばしば過剰であり、余剰な光エネルギーや電子が細胞内の O_2 へと渡ると、有害な活性酸素 (Reactive Oxygen Species, ROS) が生じる。従って酸素発生型光合成を営む植物は皆、ROSによる傷害を被るリスクを背負って生きている。植物が蓄積するアスコルビン酸やカロテノイド類は、人間にとって重要な栄養素であると同時に、植物にとってもROSを消去する上で重要な役割を持つのである。

では植物の光合成にとって O_2 は、有害なROSを生むものでしかないのでしょうか？ もちろん植物も呼吸を行っており、それには O_2 が必要である。加えて、光合成伝達鎖においても、余剰な電子の受け皿 (エレクトロンシンク) として O_2 が重要な役割を持つことが示唆されており、近年、様々な光合成生物でその重要性が報告されている¹⁾。

多くのシアノバクテリアや緑色藻類においては、Flavodiironタンパク質 (FLV) がチラコイド膜に結合し、 O_2 を水へと安全に還元する反応を行い、ROSの発生を防いでいる。興味深いことに、コケ類、シダ類、裸子植物までは、FLVの遺伝子を持っているが、被子植物はFLVを進化の過程で捨ててしまった。その代わりに、被子植物の多くを占める C_3 植物では、いわゆる「光呼吸」がエレクトロンシンクとして重要な役割を果たしている。光呼吸は、 CO_2 の固定反応を行うRubisco (ルビスコ) タンパク質複合体が有するオキシゲナーゼ活性に起因し、その結果生じたホスホグリコール酸の代謝経路の過程で CO_2 が発生することから呼吸の名を持つ。この光呼吸は、強光や乾燥やなどの細胞内 CO_2 濃度が低下する環境下で CO_2

を供給し、電子伝達鎖の過還元状態を防ぐことが考えられている。

また、水を酸化する反応を行う光化学系II (PSII) においても、 O_2 がエレクトロンシンクとして機能する。PSIIの内部には、Cytochrome (Cyt) b_{559} と呼ばれる b 型のシクロロムが存在し、PSII内部において副次的電子伝達経路を形成していると考えられている (図1)。このCyt b_{559} は、PSIIの活性状態に応じて複数の酸化還元電位を取り、過剰に励起されたPSII反応中心P680を保護するだけでなく、 O_2 依存的にPSII電子供与側のキノンを酸化する²⁾。さらにCyt b_{559} の酸化還元電位の調節機構として、PSII水酸化側に結合する膜表面タンパク質の関与が示唆されている³⁾。これらの反応は、PSIIの酸化側と還元側のバランスをとる上で重要であると考えられる。

この様に、光合成生物はROSの危険と戦いつつ、積極的に O_2 を光合成電子伝達の調節に利用している。彼等の果敢な挑戦の歴史が、安定な人工光合成を考える上で参考になれば幸いである。

- 1) 嶋川, 三宅 (2017) 光合成研究 27(1), 4-15.
- 2) Takagi et al. (2018) *Photosynth. Res.* <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0519-7>.
- 3) Nishimura et al. (2016) *Sci. Rep.* 6, 21490.

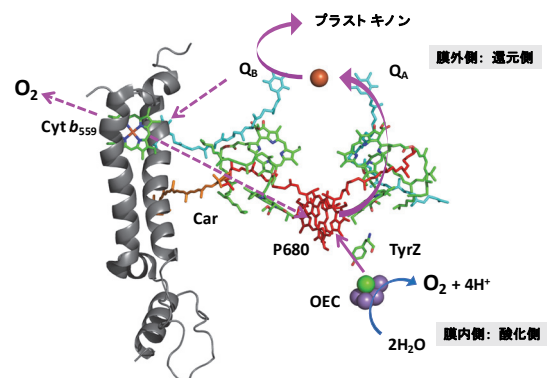


図1. PSII 内部の副次的電子伝達経路 (点線矢印)
Cyt b_{559} 以外はコファクター分子のみ示す。