

光合成の酸素発生機構の解明と人工光合成の実現に向けて

大阪市立大学 複合先端研究機構 教授
神谷 信夫



研究の背景

光合成は、太陽の光エネルギーを利用して有機物と酸素を作り出す働きです。光化学系II (PSII) と呼ばれるタンパク質複合体が太陽光を利用して水を分解し、酸素と水素イオン、電子を発生させています。これを利用すれば、太陽光からエネルギーを高効率で取り出す人工光合成への道が拓けると考えられています。この反応は、PSIIに含まれる酸素発生中心 (OEC) で行われていますが、最近まで、OECの化学組成と詳細な構造は明らかになっていませんでした。

研究の成果

私たちは、日本の温泉で生育していた好熱性らん藻から取り出したPSIIをもちいてOECの構造を明らかにしました。極めて良質なPSIIの結晶を作成し、大型放射光施設 SPring-8 (兵庫県) を利用して、これまで未知であったOECの化学組成が $Mn_4CaO_5(H_2O)_4$ であり、「歪んだ椅子」の形をしていることを初めて明らかにしました (図1) (Nature (2011), 473, 55-60)。しかしながら、これはPSIIを暗順応させた状態における構造、いわば休息中の構造でした。OECの酸素発生メカニズムを解明するためには実際に反応が進行している場所を特定し、その構造を知らなければなりません。私たちはまずPSIIの水分解反応を阻害する4種類の除草剤とPSIIとの複合体をつくり、複合体の結晶構

造を明らかにしました (図2)。その結果、OECの中で反応に直接関与していると考えられる場所 (図1のO5) を特定することに成功しました。現在はこの知見に基づいて、反応が進行している中間状態の構造解明に向けて研究を進めています。

今後の展望

本研究の成果は、人工光合成で利用できる水分解・酸素発生触媒を開発するための足がかりとなります。触媒の開発が成功すれば、他の触媒と組み合わせることにより人工光合成系を実現することも可能です。水素を発生させる、あるいは大気中の二酸化炭素を固定 (炭酸同化) する触媒と組み合わせることで、光エネルギーにより高効率で水素やメタノールなどの燃料を生み出すことができます。現在私たちが直面しているエネルギー問題、環境問題、及び食料問題の解決につながるものと期待されています。

関連する科研費

平成16-21年度 特定領域研究「X線結晶構造解析法による光合成系II膜蛋白質複合体の機能制御機構の研究」

平成24-28年度 基盤研究 (S) 「光合成・光化学系II複合体の原子分解能における酸素発生機構の解明」

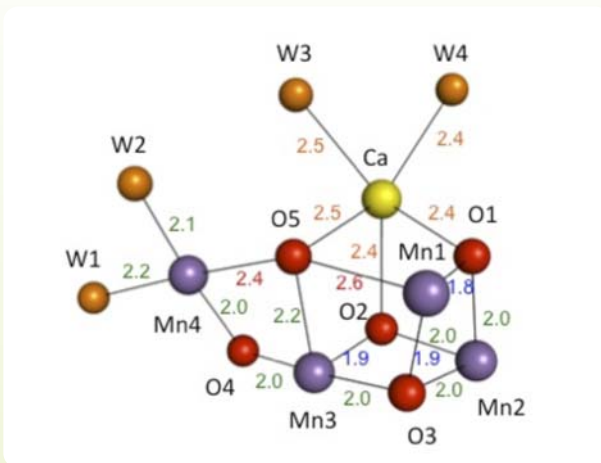


図1 光化学系II-除草剤Bromacil複合体の酸素発生中心。MnとCaを紫と黄、金属を結びつける酸素原子を赤、水の酸素原子を橙の球で示した。各原子の名称は黒字で、原子間の結合距離をその長さにより4種類に分類し、青、緑、橙、紫で示した。

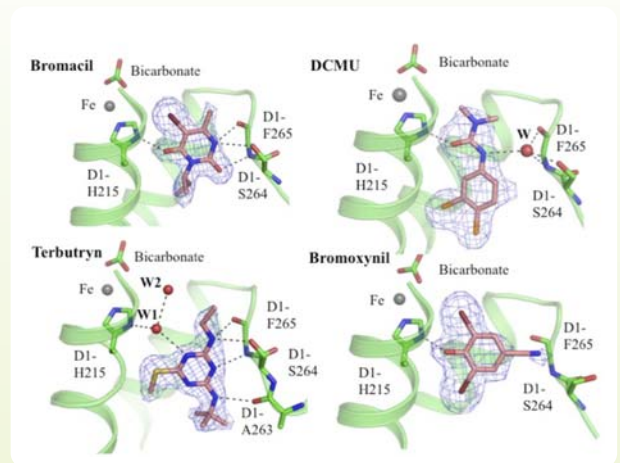


図2 光化学系IIに結合した除草剤の構造。青メッシュの電子密度分布に各除草剤のモデルを重ねている。除草剤と水素結合しているアミノ酸残基名をサブユニット名とともに示した。Fe: グレイ、炭素: 緑またはピンク、窒素: 青、酸素: 赤。

(記事制作協力: 日本科学未来館 科学コミュニケーター 松井 彩)