

立体構造解析に基づく光合成光化学系 II 複合体の機能解明

Elucidation of the functions of photosystem II based on its 3-dimensional structure analysis

岡山大学 沈 建仁

藻類や緑色植物は、光合成において可視光を利用して水を酸素、水素イオン、電子に分解する反応を行っている。この反応を触媒しているのは光化学系 II (Photosystem II、以下 PSII とする) と呼ばれる、20 個のタンパク質を含み、分子量 350 kDa の巨大な膜タンパク質複合体である。PSII による水分解反応は、光エネルギーを生物が利用可能な化学エネルギーに変換し、地球上好気性生物の生存を可能にする酸素を供給する点で極めて重要である。本研究の目的は、PSII の良質な結晶を作成し、高分解能でその構造を解析することである。

好熱性ラン藻 *Thermosynechococcus vulcanus* を材料として、高純度の PSII 二量体を精製し、結晶化や結晶の抗凍結剤置換条件の改善により、1.9 Å 分解能を与える結晶の析出に成功した。この結晶を用いて、大型放射光施設 SPring-8 の X 線を利用し、神谷信夫教授グループ (大阪市立大学) との共同研究により、PSII の構造を同分解能で解析した。その結果、PSII 二量体当たり約 2800 分子の水が結合していることが分かり、これらの水は、チラコイド膜のストロマとルーメンの両側表面に分布し、膜貫通領域ではほとんど分布しないという、膜タンパク質の一般的な特徴とよく一致した。

解析された PSII の高分解能構造の最大の特徴は、これまで長い間ブラックボックスであった水分解・酸素発生触媒中心の詳細な構造が初めて分かったことである。この触媒中心は 4 つの Mn と 1 つの Ca が 5 つのオキソ酸素によってつながれ、 Mn_4CaO_5 という化学式を持っていることが明らかになった。この Mn_4CaO_5 クラスタ構造の最大の特徴は、ゆがんだ椅子型であるということが言える。すなわち、3 つの Mn、1 つの Ca、4 つのオキソ酸素が歪んだキューバン型のイスの座部を作り、4 つ目の Mn はキューバンの外側にあり、オキソ酸素を通してキューバンとつながっている。 Mn_4CaO_5 クラスタには、4 つの水分子が配位しており、そのうち、2 つはキューバンの外側にある Mn イオンに、残りの 2 つは Ca イオンに結合している。これらの構造的特徴から、水分解反応の基質としての水や触媒部位について重要な知見が得られた。さらに高分解能の PSII 構造において、 Mn_4CaO_5 クラスタのアミノ酸配位子をすべて同定することができ、反応の産物である水素イオンの輸送チャンネルや基質である水の進入チャンネルとして機能している可能性のある水素結合ネットワークを複数個見つけた。これらの結果を報告した論文は 2011 年 5 月に Nature 誌で発表され (Nature, 2011, 473, 55-60)、2011 年末の Science 誌で "Breakthrough of the Year 2011" の一つに選ばれた (Science, 2011, 334, 1630)