

『植物や藻類の中で葉緑素が緑色になる反応の仕組みを解明』

光合成は、葉緑素という緑の色素によって光が吸収されることによって始まります。光合成によって吸収された太陽エネルギーによって地球上のほぼすべての生命が支えられているので、葉緑素はまさに生命を支える分子です。ところが、葉緑素はたいへん複雑な化学構造をしており、植物や藻類がどのように葉緑素をつくっているのか、容易には分かりませんでした。この度、名古屋大学大学院生命農学研究科の野亦次郎研究員と藤田祐一准教授の研究グループは、大阪大学蛋白質研究所特別研究学生の村木則文特別研究員（東京大学大学院所属）と栗栖源嗣教授の研究グループと立命館大学の民秋 均教授・溝口正准教授の研究グループと共同で、葉緑素が作られる最終段階、葉緑素が緑色になるための反応の仕組みを明らかにしました。

ダイズを暗いところで芽生えさせると緑にならないで黄色い “もやし” になってしまいます。これはダイズなどの植物では、緑色のもとになる葉緑素を作るための最終段階ではたらく酵素が光を使ってはたらくためです。これに対して、クロマツやドイツウヒなどの裸子植物の芽生えは暗いところでも葉緑素を作り緑色になることができます。また、多くの藻類やラン藻、光合成細菌も暗所でも緑になる能力を持っています。植物の種類によって芽生えが緑化する能力に違いがあることは、一世紀以上前にドイツの植物生理学者によって報告されていましたが、それがどのような仕組みの違いによるのか長い間分かりませんでした。90年代になり、ようやくこの違いのもとになる遺伝子が発見され、一つの酵素、光非依存型（暗所作動型）プロトクロロフィリド還元酵素（DPOR と略します）のはたらきがその仕組みのもとになっているところまでは分かりましたが、具体的な仕組みはまったく不明でした。

今回、研究グループは、植物の DPOR のモデルとして光合成細菌の DPOR の立体構造を世界に先駆けて明らかにしました。その結果、DPOR は、窒素固定酵素ニトロゲナーゼとたいへんよく似た構造をしていることが分かりました。その類似性は全体の構造だけでなく、反応に関わる金属クラスターの空間的な位置関係もよく一致していることが分かりました。このことは、窒素分子の三重結合の開裂（窒素固定反応）とポルフィリン環の二重結合の還元（葉緑素の合成）という一見大きく異なる反応が同じような仕組みによってなされていることを意味しています。また、DPOR の構造から、新規な金属クラスターが反応に関与していること、酵素に結合したプロトクロロフィリド分子自身が還元反応のプロトン供与に関わるというユニークな反応の仕組みを明らかにすることができました。

DPOR がニトロゲナーゼとたいへんよく似ていることから、以下のような進化の過程を推察することができます。太古の昔、ある祖先型酵素の遺伝子が重複して、一方は DPOR になって葉緑素を作ることで光合成に関わるように進化し、もう一方はニトロゲナーゼとなって窒素固定に関わるように進化してきたというシナリオです。このように本研究は、生物進化に対する研究にも発展していくものとなっています。

ポルフィリン環と窒素分子の還元が同じような仕組みで行われていることは、多重結合をもついろいろな分子を還元する新しい酵素を作り出すことが可能になるかもしれません。つまり、多重結合をもつ様々な化合物からその還元された化合物を効率よく作ることができる新たな触媒の開発に発展する可能性を秘めています。さらに、暗いところではもやしになる植物は DPOR と同じ反応を、光を利用するまったく別の酵素

で行っていることから、光を使って窒素固定反応を行うようなまったく新しい光依存型ニトロゲナーゼを作り出すことも可能ではないかと考えられます。このようなことが可能になれば、肥料の簡易合成や窒素肥料に依存しない作物の作出にもとづく食糧増産へと発展していくことが期待できます。

なお、X線結晶構造解析データは、高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリーで取得しました。

【用語】

葉緑素：植物の緑色のもとで、光合成に必要な光を吸収する色素。クロロフィル。

プロトクロロフィリド：植物などの光合成をする生物が葉緑素を作る途上で作られる物質。プロトクロロフィリドは薄い黄緑色で、このままでは光合成には利用できないが、酵素の作用で葉緑素に変換されることで光合成に使える緑色となる。

ニトロゲナーゼ：空気中の窒素分子をアンモニアに変換する酵素。マメ科植物が、窒素肥料がなくても成長するのは、根粒菌などが根に共生してニトロゲナーゼを使って窒素固定を行うからである。

ポルフィリン：ピロール環と呼ばれる4つの炭素と1つの窒素からなる五角形の構造が、炭素1個を介して4個環状につながってつくられる大きな環構造の物質の総称。血液中のヘモグロビンのヘムや葉緑素などの分子の基本骨格となる。

金属クラスター：酸化還元に関わるタンパク質や酵素に含まれる鉄や硫黄原子から成る集合体。今回私たちが構造を明らかにしたDPORには、金属クラスターとして鉄と硫黄から成る鉄硫黄クラスターが含まれている。ニトロゲナーゼには、鉄硫黄クラスターと、モリブデン・鉄・硫黄・ホモクエン酸から成る鉄モリブデンコファクターが含まれている。