S3C1

光合成系における「場と反応」の新展開—進化を軸に

○三室 守（京大院・地球環境学堂）

光合成反応の分子機構の解明は、紅色光合成細菌の反応中心 (RC), アンテナ色素タンパク質複合体の結晶構造が明らかにされたことによって大きく進展し、電子移動、エネルギー移動機構の詳細が判明した。昨年、酸素発生型光合成生物であるシアノバクテリアの2種類のRCの結晶構造が発表され、酸素発生型光合成生物の反応機構の解明が次の目標とされている。シアノバクテリアの2種類のRCは、それぞれ紅色光合成細菌、緑色硫黄細菌にその起源を持ち、進化の過程で2種類の機能素子がひとつの場に集約され現在の系が完成した。しかしその過程はまったく未解明のままである。新しい系の完成までには、色素の変化、新規タンパク質の獲得を含むRCの複雑化、アンテナ系との相互作用の変化など、反応素子、および素子間の相互作用の変化に加えて、水分解の「場」が、細胞内膜系が存在しない場合のペリプラズムから、細胞内膜の内腔、すなわちルーメン側へと変化するなど、様々な変化が短時間に起こらなければ実現しなかったと考えられる。こうした新しい反応系の誕生過程について、我々は単に変化を記述するだけではなく、実験的な解析、そのための方法論の開発などを現在進めている。そのひとつとして、シアノバクテリア *Synechocystis* sp. PCC 6803 に本来は持たないクロロフィル b (Chl b) 合成酵素を導入することに誘起される色素の変換過程を解析する事を試みた。その結果、Chl b は既存のタンパク質に導入され、かつアンテナとしての機能を発揮した。この事実は、新しい色素が導入された時に既存のタンパク質が持つ可塑性によって、新しい機能が獲得されていく過程を再現したものと考えられる。また、シアノバクテリアが誕生した時の大気条件、明-好気、暗-嫌気という条件での代謝系の発現様式などを基に、新しい反応系の誕生過程について議論する。

M. Mimuro : A new aspect of the concept of "loci and reactions" in photosynthesis: approach from the evolution of organisms.

S3C3

アンテナ系励起エネルギー移動における光合成細菌と緑色植物の相違と類似

○住 斉¹、向井 宏一郎² (¹ 筑波大物質工、² 産総研)

アンテナ系は蛋白質中に保持された色素から構成される。その中で、反応中心を取り囲み、そこに色素励起エネルギーを伝達する部分をコアアンテナ、その外側に位置し、エネルギーをコアアンテナに伝達する部分を辺縁アンテナと呼ぶ。どの光合成系でもコアアンテナは必ず存在する。しかし辺縁アンテナはそうではなく、酸素非発生型光合成細菌では、それを欠くものや、光が強いとそれを減らすものがある。また、辺縁アンテナ自身の形もコアアンテナとの接触の仕方も、酸素発生型、非発生型を問わず、光合成系によって非常に異なる。コアアンテナにおける色素配列も、酸素発生型と非発生型光合成系では非常に異なる。ここには、酸素発生型光合成系が非発生型から進化した跡を見出すことはできそうにない。太陽系エネルギーがアンテナ系色素の励起として刈り取られ、励起エネルギーがアンテナ系中を伝達される過程は、光合成初期過程を律速しないため、自然淘汰による選択を受けていないからである。アンテナ系色素励起エネルギーは、次に反応中心に渡され、そこで電荷分離状態が形成されて、捕獲される。どの光合成系においても、後者は前者よりずっと速く、1 ps のオーダーで初期電荷分離状態ができる。また、コアアンテナに渡された（または太陽光捕獲によりそこにきた）色素励起エネルギーは、1 ps のオーダーでそこでの熱平衡に達する。従って、その後に大体 10 ps のオーダーかかって、励起エネルギーが反応中心に渡される過程が光合成初期過程全体を律速する。この過程はどの光合成系でも基本的にはほぼ同じである。しかし重要な違いもあって、励起エネルギーを反応中心中で最初に受け取る色素は、酸素非発生型光合成系では（バクテリア）クロロフィル特別対であるが、酸素発生型では必ずしもそうでない。前者から後者への進化過程を跡づけるものである。従って、電荷分離過程も異なる。

H.Sumi and K.Mukai : Similarities and Differences between Photosynthetic Bacteria and Higher Plants in Excitation-Energy Transfer in the Antenna System

S3C2

新しい色素をもつ光合成生物から見える光化学系の柔軟性

○宮下 英明（京大院・地球環境・地球親和技術）

シアノバクテリアには 1970 年代まで Chl a と水溶性色素のフィコビリリン以外の光合成色素組成が知られていなかった。70 年代後半から 90 年の前半にかけて、フィコビリリンをもたず Chl b をもつ *Prochloron* や *Prochlorothrix*、通常の Chl a を全くもたず divinyl(DV) 型の Chl をもつ *Prochlorococcus*、Chl a でなく Chl d を主要光合成色素とする *Acaryochloris* などが次々に発見され、Chl 組成に多様性があることが明らかになってきた。本報告では、近年見出されたこれらの新しい色素系をもつ生物の Chl と光化学系タンパク質の特徴から光化学系の柔軟性と光合成生物進化のシナリオについて考察する。DVChl および Chl b、Chl d は、それぞれ Chl a の 8 位にビニル基、7 位にフォルミル基、3 位にフォルミル基をもつ。この構造により、各 Chl はそれぞれ異なった吸収スペクトルを示す。DVChl は Chl a 合成反応が途中 1 段階欠失することによって、Chl b は Chl a oxygenase によって合成されているものと考えられている。Chl d の生合成系については明らかにしていない。Acaryochloris および *Prochlorococcus* の反応中心タンパク質配列には、他のシアノバクテリアに比べ激しいアミノ酸置換が見られる。一方、*Prochloron* や *Prochlorothrix* では、他のシアノバクテリアと同等の置換しか見られない。このことから、DVChl や Chl d は反応中心タンパク質中の色素となり得たが、Chl b はあくまで新規アンテナ色素の獲得にすぎないととらえることができる。これらのことから、酸素発生型光合成生物は、Chl a もしくはその合成中間生成物をそのまましくは一部改変して吸収波長を変化させ利用することによって、生育環境において淘汰されない新しい色素系を獲得し、また、淘汰されない必要最低源のエネルギー代謝が可能な Chl については、タンパク質配列の変化を伴う Chl a を用いない新しい色素系として利用しているものと考えられる。

H. Miyashita : Flexibility of pigment system in oxygenic photosynthetic prokaryotes

S3C4

光合成エネルギー変換システムの組織化と人工光合成への取り組み

○南後 守（名工大）

光合成膜では、アンテナ系、光化学反応中心およびそれに続く電子伝達系で光エネルギーから化学エネルギーへの効率の良い変換が行われている。この変換は、主として光合成膜中での諸種のタンパク質/色素複合体で行われている。最近、そのアンテナ系複合体の構造が X 線解析およびそのモデル研究などから明らかとなってきた。しかしながら、その複合体の構造と機能の関係について分子レベルではまだ明らかでないことが多い。特に、光合成細菌の LH1 アンテナ複合体系での検討が期待されている。先に我々は、光合成細菌から単離精製した LH1 アンテナ系タンパク質を用いてその色素複合体の再構成を界面活性剤中で行った。その結果、再構成した色素複合体は光合成膜中での LH1 アンテナ系のそれと類似した複合体であることを認めている。ここでは、アンテナ系タンパク質ならびにそのモデルタンパク質を用いてクロロフィル色素誘導体の自己組織化についてモデル的に検討した下記の 1) - 2) を紹介する。これらの知見をもとにアンテナ系でのクロロフィル色素誘導体の効率の良いエネルギー移動システムを人工的に創製できることが期待される。1) 光合成細菌のアンテナ系タンパク質およびそのモデルポリペプチドによる諸種のクロロフィル色素複合体の組織化 2) 光合成細菌のアンテナ系タンパク質/クロロフィル色素複合体の脂質二分子膜中および電極上への組織化

M.Nango : Organization of photosynthetic energy transfer system and its functional analysis for an artificial photosynthesis