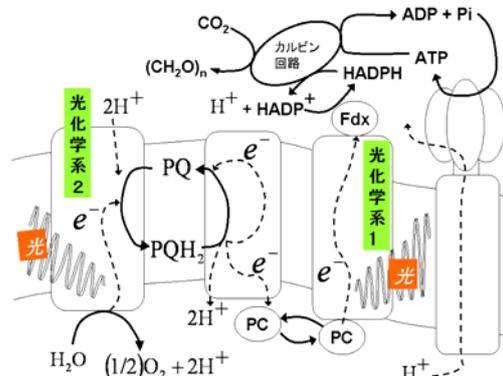


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	3. 凝縮系の物性と機能
中項目	3-6. 生物物理化学
小項目	3-6-11. 光合成と分光

概要（200字以内）

光合成反応を担う色素とタンパク質の複合体の構造がほぼ原子分解能で得られ、各種計測を駆使して素反応過程の解明が進んでいる。光合成は、効率の追求のみならず生体防御機構も同時に実現した精緻な反応であり、さらに、多様な分子設計で光合成が実現できることが発見されている。今後、色素タンパク質複合体の形成過程、光合成膜中の分子輸送、光合成膜の構造変化等のより高次元な現象も精密に理解できるだろう。



現状と最前線

植物に代表される酸素発生型の光合成が行われるのはチラコイド膜である。チラコイド膜中には色素とタンパク質の複合体があり、そこで光エネルギーから化学エネルギーへの変換が起こる。光エネルギーを捕獲する色素タンパク質複合体（アンテナ系）と光エネルギーをつかって正負の電荷を分離する（電荷分離）色素タンパク複合体（反応中心）がある。構造情報は主にタンパク質結晶のX線回折によって得られ、酸素発生型光合成を担う光化学系Iと光化学系IIの反応中心については、それぞれ2.5および3.0オングストロームの分解能でX線結晶構造の報告がなされている。

光エネルギーは電子励起エネルギーとしてカロテノイド分子やクロロフィル分子に瞬間的には保持され、それらの分子間で電子励起エネルギーの受け渡しが起こり、最終的にはクロロフィル分子やキノン分子等を使って電荷（電子とプロトン）がチラコイド膜の一方から他方へ移動する。これらの現象の素過程では数十フェムト秒で起こるもの（電子励起エネルギー移動等）から秒オーダー以上（遅い電子移動等）まで知られている。電子励起エネルギー、電子、プロトン、分子構造変化等を追跡するために様々な分光法が駆使されている。赤外線、可視光線、紫外線に対する吸収変化や電子励起状態が発する蛍光の強度変化を時間分解して追跡するのは主要な反応追跡方法である。また電子のスピンや原子核のスピンが感じる電磁場環境を調べることで反応中心を構成する電子伝達分子上の電子がどのように分子中で分布しているかを知ることできる。タンパク質の部位特異的アミノ酸置換を行って電子移動経路、電子移動速度などがいかなる影響を受けるかについても良く調べられている。

植物の光合成ばかりではなく、植物の光合成と共通の酸素発生型光合成を行うシアノバクテリア（藍藻）や、酸素発生型とは根本的に異なる反応を行う光合成生物（紅色光合成細菌、クロロフレクサス、緑色硫黄細菌、ヘリオバクテリア等）についても反応素過程が詳しく調べられてきた。このような多大な研究努力の結果、構造的にも、反応機構としても、様々な多様な方法で光合成反応が実現されている一方、ある程度の共通性も明らかになってきた。しかし、現在のところ、どの生物の光合成反応といえども人工的な分子設計で同等の機能発現を行える見込みは全くないほどに精妙なものであることは確かである。

人類が直接恩恵を受けるということもあり、植物の光合成機構に研究の関心が集中していることはある程度やむを得ないが、今後の物理化学的理解の発展としては、各種分光法が酸素発生型の光化学系反応中心だけではなく幅広い種類の反応中心に対して適用されていくことが望まれる。分光学的研究と共に、各種反応中心の立体分子配列構造が明らかになり、分子構造と反応機構の関係がより精密に解明されていくことが求められる。偏った種類の反応中心の理解から様々な偏見が形成されてしまうことが過去にあった。今後、未知の光合成生物の発見も十分あり得るが、新型光合成反応の発見で光合成生物進化に対する理解の深化が期待される。

さらに、精製した色素タンパク複合体のみならず、光合成膜における高次のタンパク質複合体が形成される場合の構造、機能を解明すること、さらには色素とタンパク質の複合体が形成される複雑なタンパク質折れ畳み問題なども将来の課題であろう。そのためには人工形成させた2次元光合成膜に対する原子間力顕微鏡や近接場光学顕微鏡が役立つと思われる。さらには破壊処理をしない葉緑体等においてどこまで光合成の素反応を追跡できるかにも関心が持たれる。これには3次元分解能を持つ共焦点顕微鏡などの利用が想定され、各種環境に応じた光合成の調節機構を、分子生物学と各種計測技術の協同により解明が進むと思われる。

参考文献：（１）佐藤公行編、朝倉植物生理講座3、「光合成」、朝倉書店、2002

（２）垣谷俊昭、三室守 編「電子と生命」共立出版、2000

（３）熊崎茂一、「フェムト秒テクノロジー」平尾一之、邱建榮編、化学同人、204 - 211 頁

将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題
 - （１）既知の光合成反応中心におけるプロトン移動、電子移動などの反応素過程の全貌解明。
 - （２）特に光化学系IIにおける酸素発生機構の全容解明など。
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題
 - （１） チラコイド膜3次元構造の分光学的可視化
 - （２） 光合成膜中タンパク質複合体の形成過程と各種環境順応機構の全容解明

キーワード

光合成、チラコイド膜、電子移動、プロトン移動、時間分解分光

（執筆者： 熊崎 茂一 ）