



# News letter

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究  
 領域略称「人工光合成」領域番号 2406  
 人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：  
 実用化に向けての異分野融合

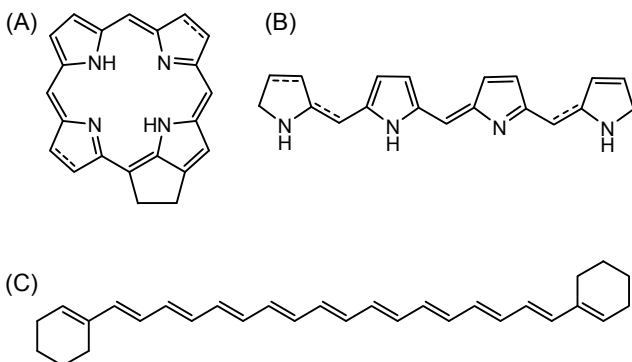
## 班員から

### 天然光合成から考える人工光捕集系

A01 班 佐賀 佳央

天然の光合成は太陽光エネルギーを化学エネルギーに変換する優れたシステムである。このような天然光合成システムの優れた点に学び超えることを目指して、太陽光エネルギーを利用して高エネルギー化合物生産などの物質変換を人工的に行うシステムの構築が人工光合成と位置づけられる。天然光合成は多くの機能性タンパク質などが生体膜系で複雑に連携したシステムであり、多くの素過程の組み合わせで反応の高効率化を達成している。この光合成反応において、光が関与する過程は主に、光捕集系複合体による光吸収・励起エネルギー移動と反応中心複合体による電荷分離である。

天然光合成システムは長い進化の歴史を経て変化し最適化されてきたと考えられるが、光が関係するこれら 2 種類の機能性複合体（光捕集系と反応中心）の多様性には大きな違いがあるように見受けられる。反応中心タンパク質は基本的には 2 種類のタイプ（光化学系 I タイプと光化学系 II タイプ）に大別することができる。また、この 2 種類のタイプを比較してみると、電荷分離・電子伝達に関与する色素の種類や色素配置などに関しては限定され比較的類似していることから、天然光合成で働く反応中心複合体にはあまり多様性はないといえる。それに対して、光捕集系複合体は、光吸収を直接行う色素の種類やタンパク質構造などをみても非常に多様である印象がある（タンパク質が超分子構造形成に関与しない光捕集系もある）。例えば、光捕集系タンパク質で機能する構成色素分子の骨格（下図）は、環状テトラピロール（クロロフィル）、鎖状テトラピロール（ビリン）、直鎖ポリエン（カロテノイド）がある。また、これらの骨格の共役系の長さや骨格に直結する置換基にも多様性があり、さまざまな波長の光を吸収することができる。



天然光合成の光捕集系で用いられる主な色素の骨格。  
 (A) クロロフィル類、(B) ビリン類、(C) カロテノイド類の一例。

天然光合成における反応中心複合体と光捕集アンテナ複合体の多様性に関するこのような違いは、以下のように解釈することが可能であると思われる。反応中心複合体は電荷分離の高効率性と後続する物質変換反応に必要なポテンシャル獲得という制約がかかったうえで最適化・収束していった結果として、構造や特徴が類似していると考えられる。それに対して、光捕集アンテナ複合体は光合成生物が生育する光環境に適応して、多様な構造・特徴を獲得していったと解釈できる。すなわち、反応中心複合体はどのような環境に生育する光合成生物でも目的が類似しているためあまり多様化できず、その代わりに光捕集アンテナ複合体が多様化することでさまざまな光環境での光吸収・エネルギー集約を担い反応効率を向上させてきたと推測できる。

このような天然光合成における光捕集系の多様性、および多様性が存在する理由（仮説）は、人工光合成研究を推進するうえで何らかの示唆を与えるだろうか？天然光合成の多様性の観点から人工光合成における光物質変換系と光捕集系の役割を少し考えてみたい。人工光合成のコンセプト実現における重要なポイントは太陽光エネルギーを利用した物質変換であり、それらに関与する触媒はそれぞれがターゲットとする反応（水素発生、CO<sub>2</sub>還元、水を電子源とする反応など）に必要なポテンシャルを太陽光（主に可視光）によって得るという明確な目的が存在する。あわせて、多電子に関与する反応を行う必要がある。人工光合成の場合ではもちろん、多様な戦略で光物質変換系の設計が可能であるが、触媒機能の向上がまず求められる。したがって、実際に使用する光環境に細かく対応させて光吸収特性をチューニングした物質変換系を構築していくのは少し困難が伴うかと思われる。その結果として、太陽光の捕集効率の向上や使用する光環境へ対応するためには、多様な人工光捕集系を開発し光物質変換系とうまく同調させる必要があると思われる。たとえば実用化段階では、コア機能を有する光物質変換デバイスに、設置場所の光環境に応じて人工光捕集系をオプションとして選択し付け変えて使用する（熱帯仕様や寒冷地仕様の人工光捕集系など）という想像も可能かと思われる。

天然光合成の反応中心複合体を主に研究しておられる先生が光捕集系の研究者に冗談半分で「反応中心がないと光合成生物は生きていけないけど、光捕集系がなくてもなんとか生きていけそうだね」とおっしゃられることがある。人工光合成の研究分野でもそのような冗談(?)を言われなように人工光捕集系の高性能化や物質変換系との連結に関する研究を精力的に推進し、人工光合成システムの高効率化に貢献したいと考える。光合成生物が反応中心複合体と光捕集系をうまく連携させて地球上での繁栄を築きあげたように、人工光合成研究でも光物質変換系から求められるものを理解し人工光捕集系とうまく融合させることで地球上での持続可能型社会の形成への寄与が期待できる。

新学術領域「人工光合成」ニュースレター

第 2 巻・第 9 号（通算第 21 号）平成 26 年 12 月 1 日発行

発行責任者：井上晴夫（首都大学東京 都市環境科学研究科）

編集責任者：八木政行（新潟大学 自然科学系）

<http://artificial-photosynthesis.net/>