



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

「人工光合成研究」における「光合成研究」

A02 班 野口 巧

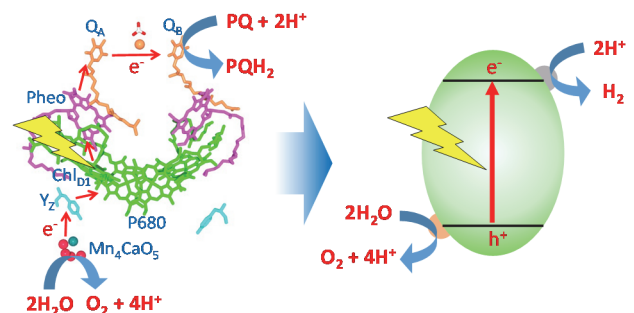
天然の光合成反応のメカニズム解明を生業とする「光合成研究」者にとって、「人工光合成研究」における立ち位置はどうあるべきなのだろうか？人工光合成の世界に足を踏み入れるようになって、このことをよく考えるようになった。光合成と人工光合成の研究で頻繁に例えられるのが、鳥と飛行機の関係である。確かに鳥が飛んでいるのを見て、人間も空を飛びたいと思ったであろうし、飛行機開発の過程では鳥がどのように飛んでいるのかを観察することによって重要なヒントが得られたであろう。しかし、鳥が飛ぶのと、鉄の固まりが人間を乗せて飛ぶのとはやはり相当な開きがある。人工光合成の場合も、まずは、植物がやっているのだから人間にもできるに違いない、と思うのが第一歩。しかし、この段階では光合成研究者は特に役立っていない。そうか Z スキームで2段階にすればよいのか、photocatalyst を2つつなげよう。ここではだいぶ昔の光合成研究の成果が役に立っている。しかし、そのくらいまでで、その後はもう人間は独自の人工光合成研究の道を進んできている。マンガンと色素をポリマー中に配置して光で電子を流して、水を分解して、それから電子はこうやって取り出して、、、などというふうに天然の光合成を真似してみても人工光合成が実現しないことは皆よくわかっている。そうすると、教科書に書いてあることよりもはるかに詳細な光合成機構を研究している、我々のような現在の光合成研究者は人工光合成研究にどう貢献できるのか。

生命は35億年ほど前に光合成細菌による光合成が始まってから、おそらく10億年くらいをかけて、水の電子を使う最終的な光合成の形を完成させた。その間に実に様々な試行錯誤があったに違いない（未完成品は全く残っていないので我々にはわからないのだが）。人間が何かの機械やシステムを開発する場合も似たような「進化」プロセスを辿るのであろう。そう考えると人工光合成研究は、まだ進化のほんの初期段階だ。水素や有機物を作る部品、水を酸化する部品も何とかできてきた。それを繋げることもある程度は可能だ。問題は効率だ。とにかく量子効率を上げてエネルギー効率も上げたい。生命の光合成の進化において効率を上げようと躍起になったのは、初期の光合成生物の光合成細菌であろう。光捕集系を見ても、うまくエネルギーを反応中心に集められるよう励起準位に段差をつけるなどして実によく設計されている。まだ水分解はできないものの、光エネルギーをほぼ量子効率1で電流に変えるシステムを作り上げたのだから本当にすごいと思う。現在の人工光合成研究は、光合成細菌が四苦八苦して効率の良いエネルギー獲得のシステムを作ろうとした、その初期段階あたりであろうか。

それは効率競争のあとには何がくるのか。光合成の進化を見てみよう。水分解と Z スキームは必須なエネルギー問題なので、クリアしなければならぬとして、光合成細菌の後に進化したシアノバクテリア（酸素発生型光合成

の創始者)や植物は、「反応制御」の問題に進化の軸を移している。つまり、光はエネルギー源であると同時に、システムを壊す破壊力も持つ。また、水から電子を取り出したのはよいものの、副産物に極めて毒性の強い酸素が出てきてしまう。これらからどうやって身を守りながら高効率なエネルギー変換を保つのか。そこで、真昼の光が強い時にはエネルギーが過剰になり、光合成器官が破壊されて光合成効率が下がる(光阻害)ため、わざと励起状態を消光して光捕集の効率を下げたり(非光化学的消光)、電荷再結合を促すように電子伝達成分の酸化還元電位を変えるなど、各反応段階での様々な光保護機構を発達させた。それでも、どうしても何割かの光合成器官は壊れていく運命にある。そこで、最も壊れやすい部品(光化学系IIのD1タンパク質)の生産能力を上げ、壊れたらすぐに入れ替える修復機構を備えた。こうした制御機構によって、環境の変化に応じて臨機応変に励起移動効率や電子移動効率を変え、またタンパク質を入れ替えて、システム全体を守りながら、光合成生産力を保つことができる。しかしながら、こうした光合成の制御機構については、未だ研究の途上であり、その全貌と分子メカニズムの詳細は現在進行中の研究に委ねられている。

今年には新幹線の開業50周年ということもあり、日本の新幹線の成功物語がしばしば語られている。しかしその成功は高速化という点だけではなく、50年間無事故を続けてこられた精密な制御機構の技術にあることは間違いない。人工光合成系を完成させ実用化させるためには、まずは比較的弱い光強度での量子効率、エネルギー効率を高くする必要があるのである。しかし、次の開発段階では、光強度変化などの環境変動に対する制御機構や自動修復機構を備えたものにしていかなければならない。光合成系が進化の過程で試行錯誤して獲得した様々な制御機構は、重要なヒントを与えるだろう。「人工光合成研究」において「光合成研究」が貢献できる余地はまだまだありそうである。



新学術領域「人工光合成」ニュースレター
 第2巻・第10号(通算第22号)平成27年1月5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)