



カーボン・エネルギー・コントロール社会協議会 (CanApple)

事務局：民秋均

発行責任者：井上晴夫

編集責任者：八木政行

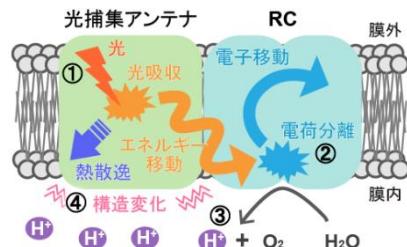
とりあえず、生物に教えを乞おう！

東北大学・JST さきがけ 近藤徹

生命は、原子→分子→タンパク質→細胞→細胞集団→生体→生物圏→地球圏、と様々な階層の上に成り立っている。各階層で高度な制御機構が働き、問題因子は即座に排除される。人間も病原菌が体内に侵入したら体温を上昇させ、免疫力を高めて殺菌する。最近何かと話題に上る地球温暖化もシステムとしての免疫機能と捉えるなら、殺菌対象は我々人類と言うことになる。では、どのように対策すればよいだろうか？ここで、無尽蔵に降り注ぐ太陽光を利用しない手はない。我々の周りには数十億年も前から地球と折り合いをつけながら上手くやっている大先輩達がいる。光合成生物である。彼らに聞いてみるのが手っ取り早い。

ソロモンの指輪を付けると動物の会話が理解できるらしい。つまり、伝説の神具を以ってしても植物の考えは理解し難いということであろう。光合成細菌となると尚のこと難しそうである。そこで科学の出番となる。それなりに傷めつけて薬品に漬けこんだり、それなりに冷やしたり、それなりに強度を弱めたレーザー光を照射することでコミュニケーションを試みる。私の場合は、タンパク質1個を引っ抜き、レーザー光で励起してその挙動を観察している。

1つのタンパク質を蛍光顕微鏡で観察すると、蛍光強度や寿命が揺らぐ¹⁾。これはタンパク質構造の熱揺らぎを反映しており、揺らぎ方の変化から局所的な構造の変化も追跡できる。光合成アンテナタンパク質を解析すると、弱光下では光エネルギー輸送能が高い構造を取ることが分かった²⁾。一方、強光下では、過剰な光エネルギーを間引いて捨て去る構造にシフトする。これは、非光化学的消光 (NPQ) 機構として知られ、光輸送を担うアンテナタンパク質と光電変換反応を担う反応中心 (RC) タンパク質が相互に連動し制御されている (図)。まず、



図：光捕集アンテナと RC が連動する光反応制御
過剰な光 (①) で RC の電荷分離頻度が増加すると (②)、それに伴い生体膜内の pH が低下する (③)。この pH 変化がアンテナ系の構造変化を誘起し (④)、光エネルギーの輸送能が減少する。結果、RC の電荷分離が抑えられて光反応が抑制される。このように、電子回路の PID 制御と同じような光反応のフィードバック制御機構が存在する³⁾。

この結果は3つの知見を与えてくれる。1つ目は、生体系が案外無駄を許容している点である。光合成光反応はその高効率性に目が行きがちだが、非効率性も上手く制御されている。車に例えると、高性能なアクセルだけでなくブレーキも備わっている。2つを上手くバランスすることで上りも下りも凸凹道も同じ速度で安全に走行でき、急な飛び出しにも柔軟に対応できる。舗装の行き届いた平坦な高速道路をアクセル全開で巡航しているわけではない。2つ目は、複数のタンパク質が相互に連携することで多機能性を実現している点である。3つ目は、上記の効率制御や多機能制御においてタンパク質の構造ダイナミクスが重要な役回りを果たす点である。これらは生体系の頑健（ロバスト）性を支える根幹部分であり、次世代光デバイスの設計指針となる。

持続可能社会の実現が叫ばれて久しい今日において、持続するために何が重要なかを再考する意味は大きい。そんな中で生物が教ってくれるのは、無駄を許容し賢く強かに生き抜く術であり、我々に数多くの知恵を授けてくれる。

- 1) Kondo, T. *et al.* (2017) *Chem. Rev.* **117**, 860–898.
- 2) Kondo, T. *et al.* (2017) *Nat. Chem.* **9**, 772–778.
- 3) Zaks, J. *et al.* (2012) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **109**, 15757–15762.