



百聞は一見にしかず!?

京都大学大学院 生命科学研究科

伊福健太郎

光合成研究者は、目に見えない反応のメカニズムを解明するべく、分光光学や生化学などの様々な手法を駆使して研究を行ってきました。ところが近年の構造解析技術の急速な進展によって、実際に反応が行われる場であるタンパク質複合体の超分子構造が、色素や酸化還元コファクターの精密な配置まで見えるようになってきました。まだ記憶に新しいところと言えば、2011年に発表された好熱性シアノバクテリア由来の光化学系 II 複合体 (Photosystem II、以下 PSII) の原子レベルでの X 線結晶構造解析は、世界に衝撃を与えました¹⁾。近年では、フェムト秒 X 線自由電子レーザーパルスを用いて、X 線照射による損傷を排除した構造²⁾や水酸化-酸素発生反応の中間段階の構造³⁾が解析され、その全貌を明らかにする試みが続いています。また最近では、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析の装置と技術が大幅に進歩し、結晶化が難しかった緑色植物由来の PSII 超複合体の立体構造が、X 線結晶構造解析に近いレベルの分解能で報告されました^{4,5)}。

筆者のように、主に構造解析とは異なる手法で生物試料からの情報を“聞いてきた”立場の人間は、新しい構造情報が得られると、先人達の精密な測定結果が構造と見事に一致していることに感服するとともに、自分の研究結果が間違っていなかったか、ドキドキしながら構造を眺めることとなります。実際に分子が“見えること”のインパクトは大きく、測定と構造が食い違う場合は不安になったりもしますが、そこは新しい発見につながる可能性があります。さらに精密な構造情報は、パワフルな計算科学の力を借りた反応機構の解明や、効率的な変異タンパク質の設計による分子機能の解

明につながります。まさに“百聞は一見にしかず”といったところです。

一方で、生体内においては、光合成の電子伝達反応に限っても、いわゆる Z スキーム型の電子伝達経路からは想像もできない時空間の広がりを持って反応は進行します。葉緑体のチラコイド膜上では、2つの光化学系やシトクロム複合体などが、生体膜上の特定のコンパートメントにおいて、超複合体同士が相互作用しつつ、光エネルギーや電子のやり取りを行うことがわかってきました。さらに色素-タンパク質複合体の構築過程や、損傷を受けた光化学系の修復過程なども、生体膜中での超分子複合体の移動を伴うダイナミックなプロセスです。こうした現象を理解するためには、立体構造から得られる情報だけでは不十分で、分子遺伝学や逆遺伝学的手法も含めた様々なアプローチで、新しい因子や制御メカニズムの解明を進める必要があります。

人工光合成に関わる多くの研究者にとって、こうした生物学的に“聞いてきた(調べた)”知見の集積は、“見える”構造情報に比べて、扱いにくいと思われるかもしれませんが、特に生物の場合、進化が進むにつれ、個々の反応(分子)の頑健性よりも、システム(個体や反応系)としての頑健性を優先する場合があります。それでもなお、水を酸化する強い酸化力と活性酸素発生の危険と向き合ってきた光合成生物の知恵は、頑健な人工光合成システムを設計する上で、コンセプトとして参考になるのではと考えています。

まだまだ生物に聞いてみたいことは山ほど残されています。人工光合成分野の研究者が模倣してみたくなるような、精緻な生物システムを解明し、それをより“見える”かたちで発信していきたいと思えます。

- 1) Umena, Y. et al. (2011) *Nature* 473, 55–60.
- 2) Suga, M. et al. (2015) *Nature* 517, 99–103.
- 3) Suga, M. et al. (2017) *Nature* 543, 131–135.
- 4) Wei, X. et al. (2016) *Nature* 534, 69–74.
- 5) Su, X. et al. (2017) *Science* 357, 815–820.