



## 太陽光利用にはアンテナが鍵？

大阪市立大学 関 荘一郎

これまで私は大阪市立大学の藤井律子准教授の元で、海藻由来の光合成アンテナの研究に従事し、特にカロテノイドの機能に興味を持って研究を進めてきた。ここではそれを通して気づいたアンテナの重要性について書こうと思う。

地球表面における太陽光は、季節や天候、地域によって大きく異なり、非常に扱いづらいエネルギー源である。人工光合成は天然の太陽光、特に可視光領域の光を効率良く利用するという点に関して、苦戦しているように見える。一方、植物の光合成を見ると、太陽光を上手く利用しているように見える。その鍵は”アンテナ”にある。

天然の光合成における反応中心である光化学系は金属触媒と色素を持ち、太陽光から得た励起エネルギーを基に有用物質を生産する。それに対し、光合成アンテナ (Light-harvesting complex: LHC) は、色素とタンパク質のみの複合体で、太陽光を吸収し、そのエネルギーを伝達する。LHC はその伝達先を光環境に応じて変えることで、時々刻々と変動する太陽光を上手く利用している。

LHC は、弱い光環境下では、効率良くエネルギーを獲得、伝達する。一方、強い光環境においては、獲得したエネルギーの内、余剰エネルギーを特定の色素によって、熱として消光することで、光化学系を過度なエネルギーから守る。近年では、直射日光にさらされるような陸上植物は、太陽光の大部分は光合成に使われず、熱や蛍光として消光することが分かっている<sup>1)</sup>。このように天然の光合成では、LHC が存在することで、供給量が不安定な太陽光を上手く仕分けし、光合成系全体のエネルギーバランスを保っているのである。

また光合成アンテナの特殊な例として、近年注目を集めているのが、海洋に生育する珪藻や緑藻の光合成アンテナである。海

底環境には、太陽光の内赤色、青色領域の光が減衰してしまい、青緑色の光しか届かない。そこで海洋性の光合成生物は、光合成アンテナのタンパク質の構造や結合する色素の組成を多彩に変えることで、そういった限られた光環境に適応してきた。

海洋性の珪藻由来の光合成アンテナ FCP が 2019 年に X 線結晶構造解析により解明された<sup>2)</sup>。FCP の構造は陸上植物と比べて、タンパク質の構造や色素の配置が大幅に異なる。特に、陸上植物由来の光合成アンテナが、カロテノイドを 4 分子しか持たないのに対し、FCP はフコキサンチンと呼ばれるカルボニルが共役したカロテノイドを 7 分子も結合することで、陸上植物には無い緑色光吸収を生み出している。加えて、クロロフィルの組成も陸上植物や緑藻が持つ Chl *b* の代わりに、Chl *c* を持つことで、青色領域の吸収を拡大している。

他の例として、近年、筆者らは、クライオ電子顕微鏡法により、海洋緑藻ミル由来の光合成アンテナ SCP を構造解析した<sup>3)</sup>。SCP は珪藻由来の FCP とは異なり、タンパク質の構造や色素の配置は陸上植物とほとんど同じである。一方、FCP に結合するフコキサンチンと同様に、カルボニルが共役したカロテノイド、シフォナキサンチンとそのエステル体を持つことで、緑色領域の吸収帯を増強している。加えて、クロロフィル *a*、*b* の組成を陸上植物に比べて、二分子 *b* を増やすことで、青色光の吸収帯を増強している。

以上のように、植物は光合成アンテナ自体に機能的な多様性を持たせることや、進化の過程で、生育する光環境に応じてその構造を自在にデザインすることで、不安定な太陽光を上手く利用してきたのである。

今後は更に LHC の構造学的研究を進める中で、光合成アンテナの詳細な分子メカニズムに迫ればと考えている。

### Reference

- 1) Shulau-Cohen G. S. and Berry, J, *Physics today* **68**, 66 (2015).
- 2) Wang W. et al. *Science* **363**, 6427 (2019).
- 3) Seki S. et al. *BBA Adv.* **2**, 100064 (2022).