



南極藻類の光合成研究

基礎生物学研究所 小杉真貴子

私は地衣類という菌類と藻類の共生生物の乾燥耐性に関する研究で学位を取りましたが、博士研究員になってからは南極や北極の陸上環境に生育する地衣や蘚類、藻類といった光合成生物の生理生態学的な研究を行ってきました。その過程でナンキョクカワノリという緑藻が赤外線の一部である遠赤色光 (700–800 nm) を効率よく光合成に利用していることを発見しました。ナンキョクカワノリはトレブクシア藻綱に属する大型の気生緑藻で、南極の海岸線に点在する露岩域 (氷河が後退して岩盤が剥き出しになっている地域) に広く分布し、陸上環境に大きなコロニーを形成することで知られています。鮮やかな緑色のコロニーは南極で非常に目立つ存在ですが、ナンキョクカワノリが持つその特殊な光合成特性は最近まで気づかれていませんでした。

酸素発生型光合成は、今から 27 億年ほど前に地球に誕生したシアノバクテリアが起源と考えられています。光エネルギーを利用して水を分解し、そこで得られた還元力で二酸化炭素を糖や炭水化物として固定する反応ですが、水の酸化還元電位は +0.86V 程度で、酸化還元電位が低い二酸化炭素を直接還元することはできないため、酸素発生型光合成生物は光化学系 I と光化学系 II タンパク質複合体による 2 回の光励起反応により電子の酸化還元電位を下げることでこれを解決しています。この時利用される光は主に可視光 (400–700 nm) です。700 nm より長波長の光である赤外線は太陽光に多く含まれますが、光化学系 II 反応中心は 680 nm に相当する赤色光で励起されるため、それよりも低いエネルギーの長波長光では励起効率が著しく減少することが知られています。しかし一方で、赤外線の中でも可視光の波長に近い遠赤色光を利用した酸素発生型光合成を行う藻類がナンキョクカワノリを含め複数報告されています。

私たちはナンキョクカワノリの光合成活性のアクションスペクトルを測定することで、細胞に吸収された遠赤色光のエネルギーが可視光と同等の効率で光化学系 II 反応中心を励起していることを明らかにしました[1]。このことから、効率的なアップヒル型の励起エネルギー移動メカニズムが存在している可能性があります。そのアップヒル型の励起エネルギー移動の詳細を明らかにするために、ナンキョクカワノリから遠赤色光領域に顕著な吸収帯を持つ新規の光捕集アンテナタンパク質 Pc-frLHC (*Prasiola crispa* far-red absorbable chlorophyll binding protein complex) を精製し、解析を行いました[2]。まずクロロフィル蛍光の時間分解スペクトル解析により、Pc-frLHC に吸収された遠赤色光のエネルギーが、アップヒル型の励起エネルギー移動により可視光のエネルギーレベルにあるクロロフィルを励起することが示唆されました。クロロフィル間のエネルギー移動の詳細を明らかにするためには蛋白質の構造解析を行い、結合するクロロフィルやカロテノイド色素の立体配置を詳細に調べる必要があります。南極から採集した生物材料は量に限りがあり、X 線構造解析のハードルは非常に高かったのですが、幸運なことに、ちょうど Pc-frLHC の精製ができるようになった頃、クライオ電子顕微鏡による蛋白質構造解析が盛んに行われるようになり、国内のクライオ電子顕微鏡ネットワーク (BINDS) を通じて高エネルギー加速器研究機構の千田俊哉先生の協力の元で 3 次元構造を解くことができました[2]。現在はナンキョクカワノリの培養株を用いて、更に高分解能の構造解析を目指すと共に、分子生物学的側面から Pc-frLHC の進化や発現プロセスを明らかにすることを目指しています。

[1] Kosugi et al. 2020 BBA Bioenerg. 1861(2):148139.

[2] Kosugi et al. 2023 Nature Commun. 14(1):730