

## 趣旨説明：光エネルギーと光栄養

### Solar energy and life: the diversity of phototrophic processes in the environments

柏山 祐一郎<sup>1\*</sup>, 横山 亜紀子<sup>2</sup>, 宮下 英明<sup>3</sup>

KASHIYAMA, Yuichiro<sup>1\*</sup>, YOKOYAMA, Akiko<sup>2</sup>, MIYASHITA, Hideaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>立命館グローバル・イノベーション研究機構, <sup>2</sup>筑波大学生命環境系 生命環境科学研究科, <sup>3</sup>京都大学大学院人間・環境学研究科

<sup>1</sup>R-GIRO, <sup>2</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, <sup>3</sup>Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

地球生命の進化史は、エネルギー利用の工夫の歴史である。特に、太陽からふんだんに降り注ぐ電磁波のエネルギーを利用する仕組みの獲得は、地球の生命進化・多様化において決定的な役割を果たしている。遠紫外線から近赤外線にかけての可視光を含む電磁波が、実質的に生命が利用可能なエネルギーであり、共役系を有する分子の軌道の電子を励起することが出来る。このような有機分子、つまり色素は、ある領域の可視光を励起エネルギーとして吸収することで「色」をもたらす。しかし、色素は単に「色」をもたらすだけでなく、生命はその励起エネルギーを化学的なエネルギーに転換する仕組み（光栄養）を進化させてきた。

光栄養様式の代表的なものは、藻類や植物にみられる光合成である。光合成は、光エネルギーを利用して二酸化炭素を還元し、有機物を合成する過程である。この過程では、光励起されたクロロフィル *a* から放出された電子が「巧妙にリレー」され（電子伝達系）、膜系（チラコイド）の内外に電気化学ポテンシャル差を形成する。クロロフィル *a* には水分子から引き抜かれた電子が補填され、結果として分子酸素が発生する。膜間の電気化学的ポテンシャルを利用してアデノシン三リン酸（ATP）を合成し、結果として光エネルギーを化学結合エネルギーに転換するものである。光合成では、こうして得られた化学結合エネルギーと電子を用いて二酸化炭素を還元して有機物を合成する。

近年、現在の地球生命圏には、光エネルギーを利用する一方で二酸化炭素の還元を伴わないATP合成形態の多様性と量的な重要性が示唆されてきている。まず、クロロフィルや光化学系を利用せずに色素（レチナール）の異性化を介したプロトン輸送によって電気化学ポテンシャル差を形成する光栄養原核生物が大量に存在することが明らかになってきている。このことは、「光栄養生物」においてクロロフィルや光化学系が必要条件では無いことを意味する。また、非酸素発生型の光合成の仕組みをもついっぽうで二酸化炭素の還元を行わない生物が環境中に普遍的であり（酸素発生は「光栄養生物」の必要条件では無い）、海洋環境中にごく普通に存在することが分かってきた。また、酸素発生型光合成に限っても、従来知られていたクロロフィル *a*, *b*, *c* のほかにクロロフィル *d* やクロロフィル *f* を利用する生物も報告されてきた。これらの発見は、海洋における光栄養生物はクロロフィル *a* を基盤とする「いわゆる光合成」の枠を超えて遙かに多様である事を示唆する。

さらに、「いわゆる光合成」生物においても、従来、海洋における主な基礎生産者と見なされていた珪藻や円石藻、渦鞭毛藻の主役の座が揺らぎつつある。すなわち、近年の微生物検出法の発展やメタゲノム解析技術により、バクテリアサイズの藻類、すなわちピコシアノバクテリアや非常に多様なピコ真核藻類が、水圏環境に大量に存在することが分かってきた。環境によっては基礎生産の大半をこれらピコ藻類が担っていると考えられてきている。さらに、これらピコ藻類や上述の非クロロフィル *a* 型光栄養生物に端を発する食物連鎖は「マイクロビアルループ」に含められるものであり、そこにおける従属栄養性ないし混合栄養性のプロティストが、水圏環境では極めて重要な役割を担っていることが示された。このように、最近になってこれまでブラックボックスとして扱われてきた微細生物の実態の解明によって、海洋のエネルギーフローや物質循環を考える上で根幹をなす生物学の常識が刷新されつつある。

キーワード: 光栄養, 光合成, クロロフィル, 水圏生態系, 生物地球化学循環

Keywords: phototrophy, photosynthesis, chlorophyll, aquatic ecosystem, biogeochemical cycles