

## プロティストによる捕食生物中のクロロフィル解毒代謝機構と光合成細胞内共生 Chlorophyll detoxification catabolism associated with protistan phycophagy and evolution of phototrophic symbiosis

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

Yuichiro Kashiya<sup>1\*</sup>, Akiko Yokoyama<sup>2</sup>, Hitoshi Tamiaki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> JST さきがけ; 立命館大学院生命科学, <sup>2</sup> 筑波大学生命環境系, <sup>3</sup> 立命館大学院生命科学

<sup>1</sup>JST PRESTO; Ritsumeikan Univ., <sup>2</sup>Life Environ. Sci., Univ. Tsukuba, <sup>3</sup>Grad. Sch. Life Sciences, Ritsumeikan Univ.

藻類の光合成においては、クロロフィルは光のエネルギーを化学ポテンシャルに転換する上で必要不可欠な有機分子であり、色素体内で多量に生合成・維持されている。しかし、クロロフィルは生物にとって猛毒の一重項酸素（活性酸素の一種）を発生させる高い光毒性を有するため、クロロフィルの生合成や分解代謝は、光毒性の中間生成物を蓄積することなく精密に制御されていることが被子植物やシアノバクテリアなどの研究から分かっている [1]。陸上で生産されるクロロフィルの多くは PAO 経路と呼ばれる多段階の代謝分解により無色無蛍光（従って光毒性がない）の化合物にまで植物自身によって分解されていると考えられるが、水圏環境では、微細藻類を捕食するプロティストがクロロフィルを無蛍光性でかつ光毒性を示さない <sup>13</sup><sup>2</sup>, <sup>17</sup><sup>3</sup>-シクロフェオフォルバイドエノール（シクロエノールと略す）に分解代謝していることが報告された [2]。すなわち、様々なプロティストと藻類の二員培養株を抽出・色素分析すると、クロロフィルが減少し、シクロエノールが高濃度で蓄積する現象が観察された。さらに、プロティストのの食胞作用による藻類捕食過程を蛍光顕微鏡下で観察すると、クロロフィルの自家蛍光が消化の初期段階において速やかに消失することを確認できた。従ってシクロエノールは、光毒性であるクロロフィルのプロティストによる解毒代謝物であると結論された。

これまでにシクロエノール代謝は、ストラメノパイル-アルペオラータ-リザリア群（SAR 群）とクリプト藻-有中心粒類-テロネマ類-ハプト藻群（CCTH 群）の 2 つの真核生物のスーパーグループからの報告があるが、二次共生藻であるユーグレナ藻類を含む、エクスカバータ群全体に関する知見はなかった。そこで我々は、ユーグレナ藻類とその外群に属する微細藻類食の無色ユーグレノイドに関して、クロロフィルの代謝分解物を分析したところ、光独立栄養のユーグレナ藻類を含む全ての生物からシクロエノールが有意な量検出された。すなわち、色素体を持つユーグレナ藻類は、一部色素体が褐色で無蛍光性の顆粒状に変化した細胞において、シクロエノールの有意な蓄積が確認され、老化あるいは不要となった色素体を処分するに際してシクロエノール代謝によりクロロフィルの光毒性を無効化していることが示唆された。ユーグレナ藻類の色素体は細胞内共生した緑藻を起源とすると考えられているが、細胞内共生やそれに続くオルガネラの過程において、ホスト生物が従来は植物食の目的で有していたシクロエノール代謝の仕組みが、光毒性のクロロフィルを多量に含有する共生体（色素体）の代謝分解に転用されたと考えられる。

### 引用文献

[1] Scheer, H. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2012. 109, 17311.

[2] Kashiya, Y.; Yokoyama, A.; Kinoshita, Y.; Shoji, S. et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2012. 109, 17328.

キーワード: クロロフィルの光毒性, プロティスト, 光合成細胞内共生, 二次植物進化, シクロエノール

Keywords: phototoxicity of chlorophyll, protists, phototrophic symbiosis, evolution of secondary algae, cyclophorbide enol

