



研究課題名 植物における過剰光ストレス応答の総合研究

自然科学研究機構・基礎生物学研究所・環境光生物学研究部門・教授

みながわ じゅん

皆川 純

研究課題番号： 21H05040

研究者番号： 80280725

研究期間： 令和3年度～令和7年度 研究経費（期間全体の直接経費）： 145,500千円

キーワード： 光合成、環境適応、NPQ、シグナル伝達、クライオ電子顕微鏡、高速AFM

【研究の背景・目的】

植物の光合成装置は「光のエネルギーを効率よく利用しCO₂を固定する」ためにデザインされている。しかし、強い光を浴びた光合成装置は、過剰に励起されたクロロフィルが生産する活性酸素によって容易に壊れてしまう。皮肉なことに植物は直射日光が苦手である。このため、光合成反応の入り口である集光アンテナ（LHCII）において緊急避難的に光エネルギーを熱散逸させるNPQ（Non-photochemical quenching）と呼ばれるしくみが発達した（図1）。NPQは強光、低温、低CO₂等のストレス環境下で光合成を行うために不可欠であり、NPQ機能を失った植物は生存できない。NPQの生理的な重要性が認識されるにつれ世界中で研究が進められたが、そのメカニズムの全容は明らかではない。

本研究は、NPQシステムが強光シグナル受容後いかに誘導されるのか、そしてそのNPQシステムは過剰な光エネルギーをいかに安全に熱散逸させるのかを超分子複合体のレベルで解明する。さらに、解析の階層を超分子複合体のマクロ構造制御に展開し、広く植物がいかにNPQを実現しているのか、進化の視点も交えて明らかにする。

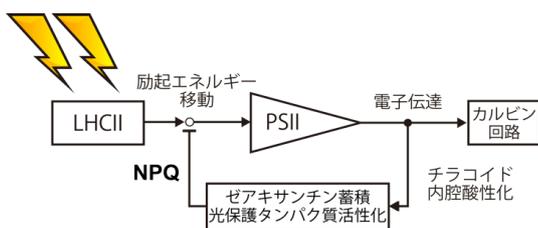


図1. NPQの模式図. LHCIIにより過剰に集められた光エネルギーは光化学系II (PSII)により過剰な電子伝達を起し、チラコイド膜内腔を酸性化する。さらに複雑な作用を経たのち、エネルギー移動に負のフィードバックをもたらすNPQを引き起こす。

【研究の方法】

本研究はNPQによる光保護反応の全容解明に向け3課題に分け研究をすすめる。

I. 強光シグナル伝達系の解明

緑藻クラミドモナスのNPQシステム誘導については、光受容体（フォトトロピン、UVR8）、ユビキチンE3リガーゼ（COP1, SPA1, DET1等）、転写因子

（CONSTANS等）などの関与が明らかになっている（Petroustos et al, 2016ほか）。これら各因子と葉緑体由来のシグナルをつなぐシグナル伝達系の全容を、各種変異体を用いて明らかにする。

II. 過剰エネルギー散逸メカニズムの解明

緑藻クラミドモナスのNPQは陸上植物と異なりゼアキサンチンによらないとされてきたが、緑色植物間で基本NPQメカニズムは共通している可能性が高く、クラミドモナスの解析でその詳細が解明される可能性が高い。クラミドモナスの光保護タンパク質に結合したゼアキサンチンにおけるエネルギー散逸過程について変異体を用いて詳しく解析する。そしてその解析を陸上植物に展開する。

III. NPQの構造基盤の解明

クラミドモナスの定常状態の光化学系II超複合体構造は最近明らかとなった（Sheng et al. 2019）。本研究では、NPQ状態のクラミドモナスの光化学系II超複合体を野生株、各種変異株より調製し、その構造をクライオ電子顕微鏡にて決定する。また、ホウレンソウ、シロイヌナズナ、クラミドモナスにおけるPSII-LHCII超複合体のチラコイド膜内ダイナミクスを高速AFMにて可視化するすることで、NPQの構造決定因子を特定する。

【期待される成果と意義】

本研究から、1.緑藻における強光シグナル伝達系、2.ゼアキサンチンによる過剰光熱散逸メカニズム、3.NPQの構造基盤、などが明らかになる。水生の藻類と陸上植物はいずれもNPQ機能を備えるが、その仕組みには共通点と相違点があり、その詳細が詳らかになる。本研究から、いかに安全に光合成を行うかという基礎的な問いへの解答が得られるとともに、何が植物の陸上進出を可能にしたのか、その理由の一端も明らかになるものと期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ Petroustos, D., et al. (2016) A blue light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis. *Nature* 537: 563-566.
- ・ Sheng, X., et al. (2019) Structural insight into light harvesting for photosystem II in green algae. *Nat. Plants* 5: 1320-1330.

【ホームページ等】

<http://www.nibb.ac.jp/photo/minagawa@nibb.ac.jp>