



研究領域名 新光合成：光エネルギー変換システムの再最適化

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：16H06552 研究者番号：80280725

【本領域の目的】

光合成反応は、その駆動に光エネルギーを必要とする一方、光エネルギーが反応の場に傷害をもたらす（光阻害）というトレードオフを内包している。そのため傷害からの防御機構（光防御）が発達した。植物は、進化の過程で光合成と光防御のバランスを最適化してきたが、現在の栽培環境にある作物等は必ずしも最適化された状態にあるとは限らない。すなわち、現存する植物の光合成機能を向上させようとする場合、その環境における光の「利用」と「散逸」を調節し、光合成と光防御の最適バランスをとることが重要である。本領域の目的は、葉緑体チラコイド膜を介したプロトン駆動力（膜電位およびプロトン濃度勾配）の制御によってこのバランスを再最適化することである。

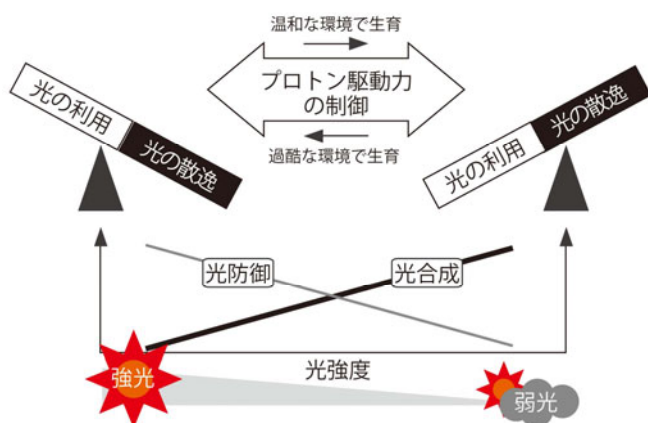


図1. 強光下での光阻害を防ぐためには「光の利用」能力を犠牲にしても「光の散逸」能力を上げ、光防御を行う必要がある

【本領域の内容】

プロトン駆動力は、葉緑体やミトコンドリアにおける ATP 合成の駆動力として認識されてきた。本領域は、光合成システムの制御を担うプロトン駆動力という新しい視点に基づいて、光合成の制御を分子レベルからシステムレベルまで解明する。研究項目1では、光化学反応や電子伝達反応等のプロトン駆動力を生成するメカニズムやシトクロム *b₆f* 複合体や ATP 合成酵素、イオントランスポーター等によるプロトン駆動力を制御する仕組み、さらにはプロトン駆動力によって過剰エネルギーの散逸（NPQ）や CO₂ 濃縮を調節する機構までを研究する。研究項目2では、構造生物学、電気生理学、システム生物学等、プロトン駆動力制御の新しい解析システムを研究する。その結果として、プロトン駆動力の制御に

より光の利用散逸の適切なバランスを取る方法を確立することを目指す。

【期待される成果と意義】

本領域研究の大きな特徴は、光合成の強化という目標を視野に入れた光合成の新たな基礎研究を行う点である。本領域研究により「プロトン駆動力制御」が解明されることで、光合成という自然界最大規模の光エネルギー変換システムをわれわれの望んだ環境に再最適化することができるようになる。これまで人類が活用できなかった環境にある非耕作地を耕作地として活用する道や、自然界では見られないような屋外池で藻類を培養する道が開かれる。この領域研究では、植物の光合成の潜在能力を引き出す、すなわち、新光合成を確立する。

【キーワード】

プロトン駆動力（proton motive force）：正電荷を持つプロトン（H⁺）をチラコイド膜を隔てて輸送すると、膜の内外にプロトン勾配差成分（ ΔpH ）と膜電位成分（ $\Delta \psi$ ）が生じる。この ΔpH と $\Delta \psi$ の総和がプロトン駆動力であり、ATP 合成に利用される。同じ大きさのプロトン駆動力のもとでも、その成分の割合を変えることで、光の「利用」と「散逸」のバランスを変えることができる。

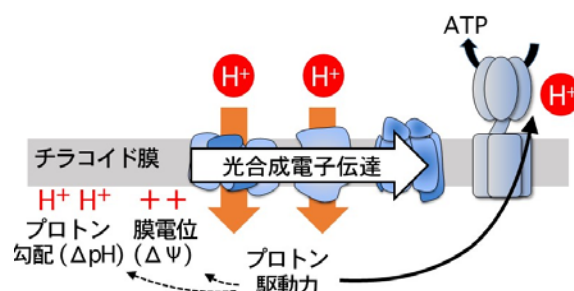
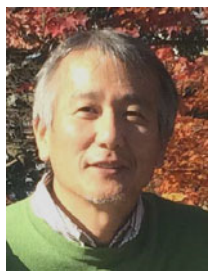


図2. 葉緑体では光合成電子伝達に伴ってプロトン輸送が行われプロトン駆動力が生成する

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度－32 年度
1,057,500 千円



Title of Project : New Photosynthesis: Re-optimization of the solar energy conversion system

Jun Minagawa

(National Institutes of Natural Sciences, National Institute for Basic Biology, Professor)

Research Project Number : 16H06552 Researcher Number : 80280725

【Purpose of the Research Project】

Photosynthesis requires solar energy, which has the potential to damage photosystems (photoinhibition). During the course of evolution, plants have developed mechanisms to dissipate such excess light to achieve an optimal balance between utilization of light energy (photosynthesis) and dissipation of light energy (photoprotection). However, this balance is not always achieved in many cultured plants, and today's science is expected to re-optimize this balance to improve photosynthetic efficiency. The goal of this project is to understand the mechanisms that regulate the proton motive force across thylakoid membranes, which is required for this re-optimization.

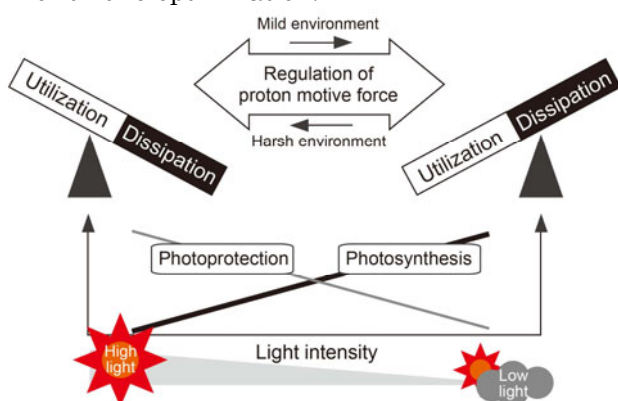


Fig. 1. To prevent photoinhibition in excess light, plants need to elevate the capacity of photoprotection, even if that involves sacrificing the efficiency of light utilization.

【Content of the Research Project】

In this proposed study, we will try to elucidate the regulatory mechanisms of photosynthesis by incorporating a new perspective, the regulation of the proton motive force. Group A01 will study the mechanisms by which the proton motive force is generated, including photochemical reactions and electron transport. The group will also study the mechanisms by which the proton motive force is regulated, including the cytochrome *b₆f* complex, ATP synthase, ion transporters, and the NPQ (non-photochemical quenching) mechanism that dissipates excess light energy as heat, which is activated by low pH. Group A02 will explore novel methodologies to investigate proton motive force regulation.

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

The proposed research will incorporate new perspectives into basic photosynthesis research with the goal of improving photosynthetic efficiency. We expect to establish strategies to re-optimize the photosynthetic performance of any organism under any environment. This could translate to a new way of converting any land to arable land for crops or any pond to culture pond for algae. This research will maximize the potential of photosynthesis in photosynthetic organisms.

【Key Words】

Proton motive force: ΔpH and membrane potential ($\Delta \Psi$) are generated when protons are transported across the thylakoid membranes. The sum of ΔpH and $\Delta \Psi$ constitutes the proton motive force, which is utilized to synthesize ATP by an ATP synthase. Modulating the ratio of ΔpH and $\Delta \Psi$ would alter the balance between light utilization and photoprotection.

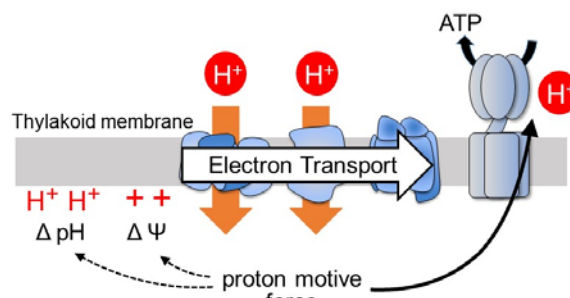


Fig. 2. The proton motive force is generated by proton transport across the thylakoid membranes, which is coupled with the photosynthetic electron transport.

【Term of Project】 FY2016-2020

【Budget Allocation】 1,057,500 Thousand Yen