

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	周 琦
論文題目	Synthetic biological study on cyclic electron transport around photosystem I in Arabidopsis (シロイヌナズナの光化学系 I 周辺サイクリック電子伝達に関する合成生物学的研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>サイクリック電子伝達は、二酸化炭素の固定に必要なATPとNADPHのうちATPのみを合成することで、両者の合成バランスを調整する。一方、光が過剰な時にチラコイドルーメンを酸性化することで、電子伝達にブレーキを掛ける。被子植物では、PGR5依存経路とNDH依存経路が存在するが、二つの経路が、いかに協調的に働き、使い分けされているかは、明らかになっていない。</p> <p>過剰な光による光傷害の標的は光化学系 II であるが、傷害を受けた光化学系 II は、速やかに修復を受ける。一方、野外のように光の強さが変動する下では、光化学系 I に過剰な電子が流れ込むことで、光化学系 I の光傷害が起こる。これは植物にとって致命傷になる。サイクリック電子伝達は、光化学系 I の上流 (ドナー側) で電子伝達を抑制することで、光化学系 I に過剰な電子が流れ込むことを防いでいる。一方、サイクリック電子伝達が、光化学系 I に留まる過剰な電子を汲み出すことで、光化学系 I の光傷害を防ぐモデルが考えられているが (アクセプター側制御)、その貢献の大きさや電子の汲み出しメカニズムは未知である。</p> <p>本研究は、シロイヌナズナの野生株及びそれぞれのサイクリック電子伝達を欠く変異株の電子伝達制御を人工的に改変し、その影響を調べることで、アクセプター側制御の生理機能とメカニズム、また、光化学系 I を光傷害から保護するために、二つのサイクリック電子伝達がいかに関わるかを明らかにすることを目的とした。</p> <p>周氏は、この電子伝達の人工的改変の手段として、クラミドモナスのPTOX2遺伝子を選んだ。PTOX2は、プラストキノンから電子を受け取り、酸素を水まで還元する酵素で、クラミドモナスでは、過剰な電子の安全弁として機能することが知られている。一方、シロイヌナズナもPTOXをもつが、その活性は、PTOX2に比べて、格段に低い。シロイヌナズナ野生株に導入されたPTOX2は、光合成の誘導時に、効率的な電子の安全弁と機能した。また、光化学系 II と連動し、ルーメンを酸性化することで、電子伝達のブレーキを瞬時に誘導した。この二つの機能から、PTOX2は、光合成誘導時に、光化学系 I に過剰な電子が流れ込むことを防ぐ、優秀なドナー側制御装置であることが明らかになった。</p> <p>PGR5依存サイクリック電子伝達を欠損するシロイヌナズナ<i>pgr5</i>変異株は、ルーメンを酸性化することができず、電子伝達にブレーキを掛けられない。<i>pgr5</i>変異株に、PTOX2を導入したところ、野生株背景同様、電子の安全弁としての効果とルーメンの酸性化に依存したブレーキの誘導が確認された。しかし、それでも過剰電子が光化学系 I に蓄積した。このことは、PGR5が、ドナー側の制御以外で光化学系 I の酸化に関わることを示している。この未知の機能は、PTOX2が相補したΔpHの形成とは独立であり、光化学系 I のアクセプター側の電子プールをプラストキノンプールに移す、アクセプター側の制御のモデルを提唱した。</p>			

(続紙 2)

さらに、PTOX2をNDH複合体を欠損する*crr2*変異株に導入した。*crr2*変異株では、光合成誘導時に電子伝達ブレーキの誘導が遅れる。したがって、その程度はPGR5より低いものの、ドナー側の制御に貢献していることがわかった。*pgr5*変異株背景と異なり、PTOX2の導入により、光化学系 I は完全に酸化された。この結果から、PGR5依存経路は、ドナー側とアクセプター側の両方に機能するが、NDH依存経路は、ドナー側のみ貢献することがわかった。NDHは、PGR5より Δ pHの形成には効率が良く、電子伝達速度が遅くてもルーメンの酸性化には有効であり、ドナー側の制御に特化したことは、理にかなっている。

さらに周氏は、深刻な光化学系 I の光傷害が起きる光強度が変動する環境下でのPTOX2導入株の表現型を調べた。光合成誘導時と同様に、PTOX2は、*crr2*背景で光化学系 I の酸化に有効であったが、*pgr5*背景では、光化学系 I を酸化することはできなかつた。またPTOX2株は、*crr2*背景でのみ、光化学系 I の変動光による光傷害を軽減することを示し、変動光下における、アクセプター側制御の重要性を明らかにした。

(論文審査の結果の要旨)

近年、サイクリック電子伝達が、特に変動光の下で光化学系 I を光傷害から護っていることが知られ、そのメカニズムとしてドナー側の制御が注目されている。一方、アクセプター側の制御の誘導は、電子移動を伴うので、常にドナー側の制御の誘導を伴う。したがって、アクセプター制御の貢献を独立に評価することは困難であり、アクセプター側の制御の生理機能の理解は遅れていた。周氏は、PTOX2を使った電子伝達制御の改変で、ドナー側制御のみを強化することに成功し、初めて、アクセプター制御の生理機能を明らかにした。このことは、光合成電子伝達制御の研究における大きな進展である。

また周氏は、アクセプター制御のメカニズムとして、電子プールの移動という新しいモデルを提唱することに成功している。これまでアクセプター制御には、 Δ pHの形成を介したATP合成による、電子受容体 (NADP⁺) の確保が考えられてきた。周氏の研究は、アクセプター制御は、 Δ pH形成の影響を受けないことを示し、旧モデルの問題を明確に示した点で評価できる。周氏が解析に用いた光合成の誘導は、一日に一度、夜明けに起きるが、さらに周氏は、変動光下でのアクセプター制御の重要性についても明確な知見を得ている。変動光は、自然光下で日常的に起きるストレスであり、最近の光ストレスの研究において重要キーワードの一つである。周氏の発見は、この点においても極めて重要であり、高く評価される。

本研究の内容の一部は、植物科学の有力国際誌の一つである、**Plant Physiology**誌に掲載されており、国際的にも高い評価を受けている。また未発表部分もそれと同等以上の重要性をもつ研究である。したがって、周氏の行った研究の質は高く、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。令和4年2月2日、論内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降