

## 植物葉緑体の電子伝達経路の解明

### 研究成果のポイント

- ・ 植物の葉緑体内に存在する 2 つの電子伝達経路のうち、不明であった循環的電子伝達経路の解明に成功
- ・ 植物が自然環境の下で生き残るために光合成をどのように調節しているのか理解する突破口となることが期待される
- ・ 今後気候変動が植物プランクトン生態へ与える影響の予測や、過酷な環境で生育可能な農作物の開発などに役立つと考えられる

### 研究成果の概要

植物は、光のエネルギーを利用して葉緑体内で電子を移動させ、その結果、二酸化炭素を固定し糖を合成します（光合成）。北海道大学低温科学研究所（香内晃所長）は、植物の葉緑体内に存在する 2 つの電子伝達経路のうち不明であった循環的電子伝達経路の解明に成功しました。

これは、北海道大学低温科学研究所生物環境部門の皆川純准教授、滝澤謙二研究員、岩井優和大学院生（現・理化学研究所基礎特別研究員）らによる成果です。

本研究は、低温科学研究所生物環境部門（皆川純准教授）が中心となり、岡山大学大学院自然科学研究科高橋裕一郎教授らとの共同研究として実施されました。

本研究成果は、英国の科学誌『*Nature*』電子版（2010 年 4 月 4 日付オンライン先行出版 AOP(Advanced Online Publication)）に掲載されました。

### 論文発表の概要

論文名：Isolation of the elusive supercomplex that drives cyclic electron flow in photosynthesis  
(ついに捕えた光合成循環的電子伝達を行う超分子複合体)

著者名：Masakazu Iwai, Kenji Takizawa, Ryutaro Tokutsu, Akira Okamuro, Yuichiro Takahashi,  
& Jun Minagawa

雑誌名：Nature オンライン先行出版 AOP(Advanced Online Publication)

公表日時：日本 2010 年 4 月 5 日（月）午前 3 時（英国時間 2010 年 4 月 4 日午後 6 時）

## 研究成果の概要

### (背景)

光合成は、光を集め、そのエネルギーを2つの光化学系に与えて電子を移動させる反応です。電子の移動とともに ATP が合成され、さらに二酸化炭素を用いた炭水化物の合成が行われます。電子の移動は、水の分解に始まり、光化学系 II—シトクロム *bf* 複合体—光化学系 I—NADP<sup>+</sup> と伝わる「リニア電子伝達」が広く知られていますが (図 1)、歴史的には、リニア電子伝達の発見よりさらに4年前、1954年に「サイクリック (循環的) 電子伝達」が発見されています。サイクリック電子伝達では光化学系 II は使われず、電子はもっぱら光化学系 I の回りを循環します (図 1)。その際、リニア電子伝達より多くの ATP が合成されるため、サイクリック電子伝達は細胞にとって多くの ATP が必要な環境で重要です。植物は、必要に応じてリニア/サイクリック2つの電子伝達のバランスをとることで、効率良くしかも逆境に強い光合成を行っているのです。

ところが、サイクリック電子伝達の詳細は謎に包まれていました。光化学系 I を出た電子がどの分子を經由して再び光化学系 I へ戻ってくるのか、長い間わからなかったのです (図 1)。有力な仮説の一つは「FQR 仮説」と呼ばれます。光化学系 I から出た電子が、FQR (仮称) と呼ばれる未発見の酵素を介してチラコイド膜中のプラストキノンに渡され、そこからシトクロム *bf* 複合体を通して光化学系 I へ戻ってくるといふものです。しかし、数十年にわたる探索を経ても FQR は見つかっていません。

### (研究手法・研究成果)

皆川准教授のグループは、植物プランクトンを材料として光合成研究を進めてきました。植物プランクトンは、その光合成によって地球上の二酸化炭素固定量の約半分を担い炭素循環を支える、環境にとって大変重要な生物群です。そのモデルとして選ばれたのが単細胞緑藻クラミドモナスです。この緑藻は、光化学系 II のみにエネルギーを与え続けると、光化学系 I で行われるサイクリック電子伝達の能力が著しく高まることで知られています。そこで、サイクリック電子伝達の実態を詳しく調べる目的で、“光化学系 II のみにエネルギーを与えた” 特別な状態のクラミドモナス細胞から光化学系 I を分離しました。驚いたことに、そこには光化学系 I ばかりでなく、シトクロム *bf* 複合体などリニア電子伝達でおなじみのタンパク質が集合してできた、分子量約150万の“超”複合体が見つかったのです (図 2)。

CEF (Cyclic Electron Flow) 超複合体と名付けられたこのタンパク質複合体に光を当てると、電子は光化学系 I から隣に結合したシトクロム *bf* 複合体へと移動しました。また光化学系 I に残された正電荷はシトクロム *bf* 複合体からの電子によって消滅しました。すなわち、CEF 超複合体は自身の中にサイクリック電子伝達の回路を含んでいたのです (図 2)。今回の発見によって、サイクリック電子伝達は、リニア電子伝達の部品をサイクリック電子伝達仕様に再配置したタンパク質複合体で行われることが明らかになりました。

### (今後への期待)

この研究は、巨大タンパク質複合体の精密な分離技術、および微細な電子移動シグナルを検出できる優れた分光装置の開発 (図 3) によって初めて可能となったものです。今後、CEF 超複合体のさらに詳細な解析を行うとともに、リニア/サイクリック電子伝達がいかに切り替わるのか、その調節機構についても解析を進める予定です。今回の研究は、植物が自然環境の下で生き残るために光合成をどのように調節しているのか理解する突破口となるでしょう。また、今後気候変動が植物プランクトン生態へ与える影響の予測や、過酷な環境で生育可能な農作物の開発などに役立つと考えられます。

図1. 葉緑体チラコイド膜に存在する2種類の電子伝達経路。電子の流れを矢印で示す。サイクリック電子伝達の経路は謎だった。

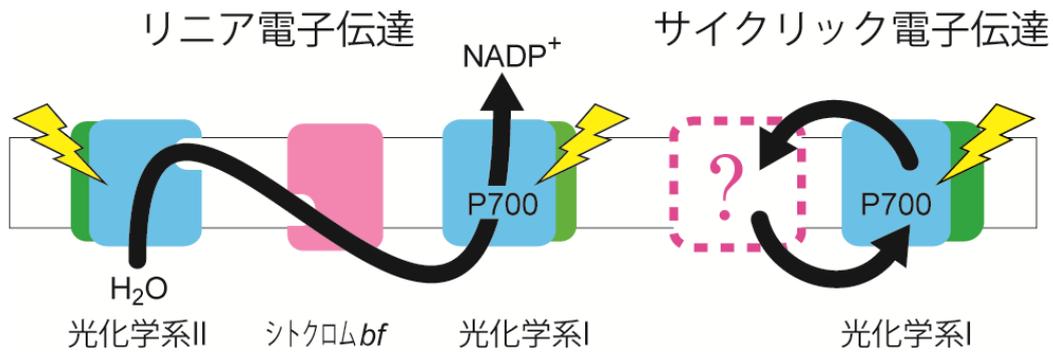


図2. 姿を現した CEF 超複合体。電子は、まず光化学系 I からフェレドキシンへ移動し、隣に結合したシトクロム *bf* 複合体を介してプラストキノンへ渡る。さらに、再びシトクロム *bf* 複合体、プラストシアニンを通して光化学系 I に戻りサイクリック電子伝達が完成する。FNR、フェレドキシン-NADPH 酸化還元酵素。

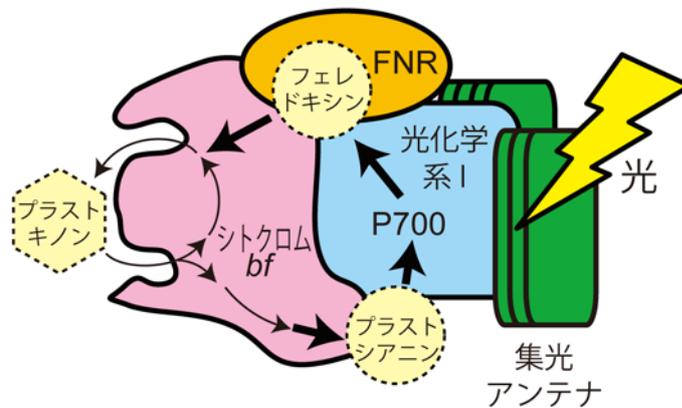
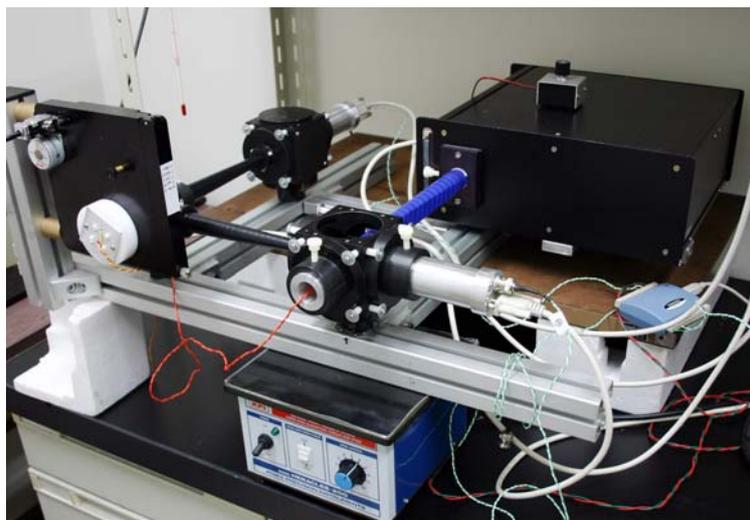


図3. 低温科学研究所で開発した分光装置 Chlamy-spec。白色光，青色光，赤外光などさまざまな光を照射しながら，特定波長における微細吸収変化 ( $\Delta A \sim 0.0001$ ) の時間分解測定をすることが可能になった。



お問い合わせ先

北海道大学低温科学研究所 皆川 純 (みながわ じゅん)  
 Tel: 011-706-5471, Fax: 011-706-5471, E-mail: minagawa@lowtem.hokudai.ac.jp