

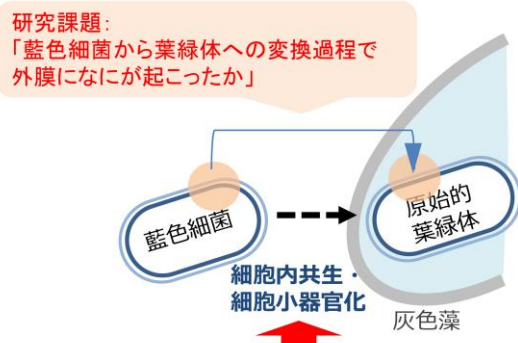
報道機関 各位

東北大学学際フロンティア研究所  
東北大学大学院生命科学研究科

## 葉緑体の成り立ちに関する新視点 原始的な葉緑体の細胞壁を覆う新奇外膜チャネルの発見

### 【研究概要】

東北大学学際科学フロンティア研究所の児島征司助教は、同大学院生命科学研究科草野友延教授および村本光二教授と共同で、原始的な葉緑体と考えられている灰色藻(学名 *Cyanophora paradoxa*) の葉緑体に、葉緑体一個あたり約 100 万分子の新奇外膜チャネル蛋白質<sup>注1</sup> が二つ存在することを発見し、これらを CppS と CppF と名付けました。葉緑体の起源は原始真核細胞に細胞内共生<sup>注2</sup>した藍色細菌<sup>注3</sup>であることが知られていますが、CppS/F は明らかに藍色細菌とは異なる細菌系統に由来します。葉緑体内外への物質輸送経路の確立には外膜チャネル蛋白質の存在が不可欠ですが、原始的葉緑体において、従来は植物と全く関係ないと思われていた細菌系統由来のチャネル蛋白質がその役割を担っていることが示唆されました。なぜ、どのような過程を経てこのような外来因子が原始的葉緑体の外膜を占めるに至ったのかはわかっていません。本研究成果は葉緑体の成立過程や外膜機能に関する研究に、従来とは異なる視点からの切り口を提供する可能性があります。本成果は米国生化学分子生物学会が発行する学術誌 *Journal of Biological Chemistry* に 8 月 8 日付けで掲載されました。



研究課題:  
「藍色細菌から葉緑体への変換過程で  
外膜になにが起こったか」

研究成果:  
・原始的葉緑体の細胞壁を覆う外膜チャネル蛋白質 CppS/F の発見  
・藍色細菌の外膜蛋白質は消失し、外来蛋白質 CppS/F と入れ替わった

図 1. 本研究成果を示す概念図。葉緑体は藍色細菌の細胞内共生により生まれました。本研究では、葉緑体への変換過程で、藍色細菌の主要外膜蛋白質は消失し、非藍色細菌由来のチャネル蛋白質 CppS/F と入れ替わったことが示唆されました。

## 【研究内容】

葉緑体の起源は原始真核細胞に細胞内共生した藍色細菌であることが広く知られています。自然界で生息する藍色細菌が真核細胞内に入り込み、葉緑体へと変化するためには、①宿主となった細胞と同調して分裂増殖すること、②藍色細菌の DNA の大部分が宿主細胞の核へ移行し、宿主からの蛋白質輸入経路が成立すること、および③宿主細胞との物質的やり取りを可能にするための輸送経路の確立、の三つが要求されます。①・②に関する研究は盛んに行われていますが、一方で③の輸送経路に関する知見はほとんど得られていません。本研究では、葉緑体の最外層を形成する外膜に焦点を当て、藍色細菌から葉緑体に変換する過程で外膜にどのような変化があったかを知ることを目的としました。

本研究グループは、藍色細菌とよく似た表層構造を残す、最も原始的な葉緑体とされる灰色藻の葉緑体（藍色細菌由来の細胞壁ペプチドグリカンを保持する）から外膜を単離・機能解析し、藍色細菌（モデルとして、*Synechocystis* sp. PCC 6803 を使用）の外膜との比較を行いました。その結果、灰色藻の葉緑体の外膜には、二つのよく似た蛋白質が、細胞壁を覆うような形で多量に存在することを発見し、CppS と CppF と名付けました（図 2）。これらを単離精製し、人工膜小胞に組み込んでその機能を調べた結果、小さな化合物を区別なく通過させる拡散チャンネルを形成していることがわかりました。CppS と CppF のアミノ酸配列と遺伝子の塩基配列を決定して、他生物種の蛋白質と比較解析したところ、藍色細菌からは CppS/F と似た蛋白質は全く見つからず、むしろ CppS/F は従来は植物と全く関係ないと思われていた、プランクトマイセテス門<sup>註4</sup>に属する細菌群の、細胞表層蛋白質と類似していることがわかりました。一方、藍色細菌の外膜には灰色藻と同様に、細胞壁を覆う外膜蛋白質が存在するものの、これらの類似蛋白質は植物系統内には全く存在しないことがわかりました。

これらの結果は、藍色細菌が原始的な葉緑体へと変換する過程で、藍色細菌の主要外膜蛋白質が消失し、非藍色細菌を起源とする CppS/F と入れ替わったことを示唆しています。本研究成果は、新しいタイプのチャンネル蛋白質が発見されたという単純な新規性も含みますが、むしろ、なぜこのような外来因子が原始的葉緑体の外膜を占めているのか、その意味は何か、この現象は灰色藻の葉緑体に限られるのかどうか、といった新たな疑問を派生させる点に重要性があります。本研究成果を通じて、葉緑体の成立過程や外膜機能に関する研究に、従来とは異なる視点からの切り口が生まれる可能性があります。本研究は、科学研究費補助金「若手研究(B) 15K20860」および公益財団法人農芸化学研究奨励会研究奨励金（1-322）の支援を受けて行われました。

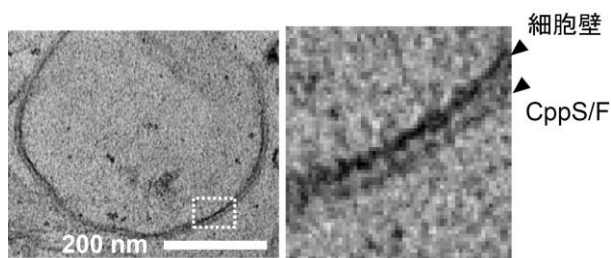


図 2. 単離した葉緑体の細胞壁と CppS/F の切片を電子顕微鏡観察した写真。白い点線で囲われた部分を右に拡大して表示しています。CppS/F は細胞壁を覆うような形で存在します。

## 【用語説明】

- 注1 チャネル蛋白質：生体膜を介した物質輸送に関与するタンパク質の一種。イオンや小さな化合物を膜を超えて通過させる働きを持つ。
- 注2 細胞内共生：ある生物が他生物種の細胞の中に住み着き、共生すること。ミトコンドリアや葉緑体は細菌による原始宿主細胞への細胞内共生にその起源を持つ。
- 注3 藍色細菌：酸素発生型光合成を行う細菌群の分類上の総称。
- 注4 プランクトマイセテス門細菌：細菌の系統分類上の一門。土壌、海水、淡水など、自然界の多岐にわたる環境に棲息する。外膜を持つ。

## 【論文情報】

English Title:

Outer membrane proteins derived from non-cyanobacterial lineage cover the peptidoglycan of *Cyanophora paradoxa* cyanelles and serve as a diffusion channel.

Authors:

Seiji Kojima, Koji Muramoto, Tomonobu Kusano

Journal:

Journal of Biological Chemistry, doi:10.1074/jbc.M116.746131

お問い合わせ先

(研究に関すること)

東北大学 学際科学フロンティア研究所

助教 児島 征司 (こじま せいじ)

電話番号：022-217-5717

Eメール：skojima0801@gmail.com

(報道に関すること)

東北大学 学際科学フロンティア研究所

特任准教授 (URA) 鈴木 一行 (すずき かずゆき)

電話番号：022-795-4353

Eメール：suzukik@fris.tohoku.ac.jp