

平成 26 年 6 月 10 日

東京工業大学広報センター長  
大谷 清

## 藻類の栄養欠乏応答性プロモーターによる脂質蓄積強化を実現

### 【要点】

**背景**：藻類は栄養欠乏条件下に細胞内に油脂を蓄積

**新規性**：緑藻の栄養欠乏応答性プロモーターを用い、油脂蓄積の強化を実現

**今後の展望**：油脂の脂肪酸を操作することが可能

### 【概要】

東京工業大学バイオ研究基盤支援総合センターの岩井雅子 CREST 研究員、太田啓之バイオ研究基盤支援総合センター/地球生命研究所教授らの研究グループは、藻類が栄養の足りない状況で脂質を蓄える機能の強化と光合成による細胞増殖を両立させることに成功した。藻類の細胞にリン欠乏応答性プロモーター（用語 1）を導入する遺伝子操作による形質転換で実現した。藻類による工業レベルでのバイオエネルギー生産を大きく前進させる成果だ。

モデル藻類のクラミドモナス（用語 2）を用い、これまで知られている窒素欠乏条件とは異なり、リン欠乏条件下では光合成の場であるチラコイド膜（用語 3）をある程度維持したまま、TAG（用語 4）を蓄積できることを見出した。リン欠乏条件下で発現上昇する遺伝子のプロモーターに着目し、リン欠乏条件下で油脂蓄積を強化する形質転換系を構築した。今後さらにこの系を用いて、油脂蓄積強化だけではなく油脂に含まれる脂肪酸の種類を操作することが期待される。

この研究は東工大バイオ研究基盤支援総合センターの下嶋美恵助教、同学技術部バイオ技術センターの池田桂子氏らと共同で行った。研究成果は英国科学雑誌「Plant Biotechnology Journal（プラント・バイオテクノロジー・ジャーナル）」July 2014, 12(6)に掲載される。同電子版は 6 月 9 日に公開された。

この研究は、太田教授が科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「藻類・水圏微生物の機能解明と制御によるバイオエネルギー創成のための基盤技術の創出」の採択を受け、「植物栄養細胞をモデルとした藻類脂質生産系の戦略的構築」の一環として実施した。

## ●研究の背景と経緯

藻類は栄養欠乏条件下で油脂（TAG）を細胞内に蓄積する。特に窒素欠乏条件において大量の TAG が蓄積することが知られている。窒素欠乏条件下では細胞はほとんど増殖せず、光合成を控えてチラコイド膜を分解し、炭素源として TAG を細胞内に溜め込み、環境が好転するのを待つ。このような応答は生命としての防御機構としては有効だが、細胞増殖せず、新規脂肪酸合成が抑制されるため、有用脂肪酸を TAG に蓄積させるといった工業的利用の上では不適當である。

一方でリン欠乏条件では窒素欠乏条件ほど劇的な細胞増殖抑制は見られない。そこで本研究では、細胞を増殖させながら、光合成の場であるチラコイド膜を維持して TAG 蓄積をできる条件を探索し、さらにその条件下での TAG 蓄積を遺伝子操作によって強化することを目的とした。

## ●研究内容

岩井研究員らは、モデル藻類である緑藻クラミドモナスを用いた解析から、リン欠乏条件下では光合成の場であるチラコイド膜を維持したまま、TAG を蓄積することを見出した（図 1）。

新規脂肪酸を合成させながら TAG 蓄積を強化することを目的とし、リン欠乏条件下で発現上昇する SQD2 遺伝子のプロモーター「pCrSQD2」（用語 5）とリン欠乏条件下で発現が弱い TAG 合成酵素「DGTT4」に着目した。

pCrSQD2 を使用し、DGTT4 をリン欠乏条件下で強発現させる形質転換系を構築した。形質転換株では野生株と比べ、リン欠乏条件下での TAG 蓄積が増加した。TAG には DGTT4 が基質として好むオレイン酸（C18:1＝炭素数が 18 で二重結合が 1 つ）が多く取り込まれていた（図 2）。これらの結果は pCrSQD2 がリン欠乏条件下での TAG 蓄積強化に有効であることを示している。

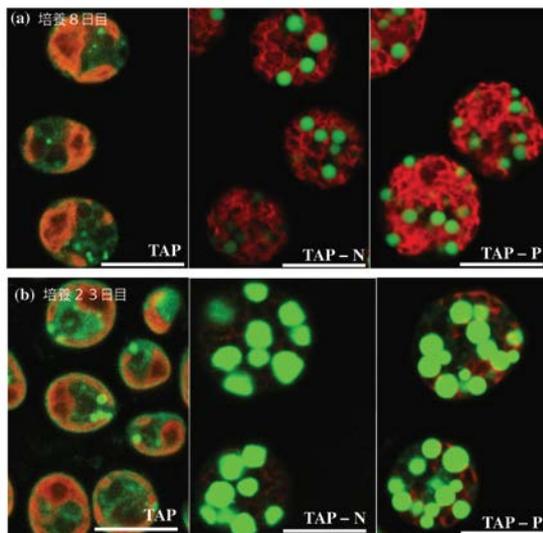


図 1 (a=上)培養 8 日目 (b=下)培養 23 日目。緑色が TAG を蓄積した油滴、赤色がチラコイド膜を示している。どちらの欠乏条件でも TAG 蓄積が確認できる。リン欠乏条件下（右）では 23 日目でもチラコイド膜が確認できる。

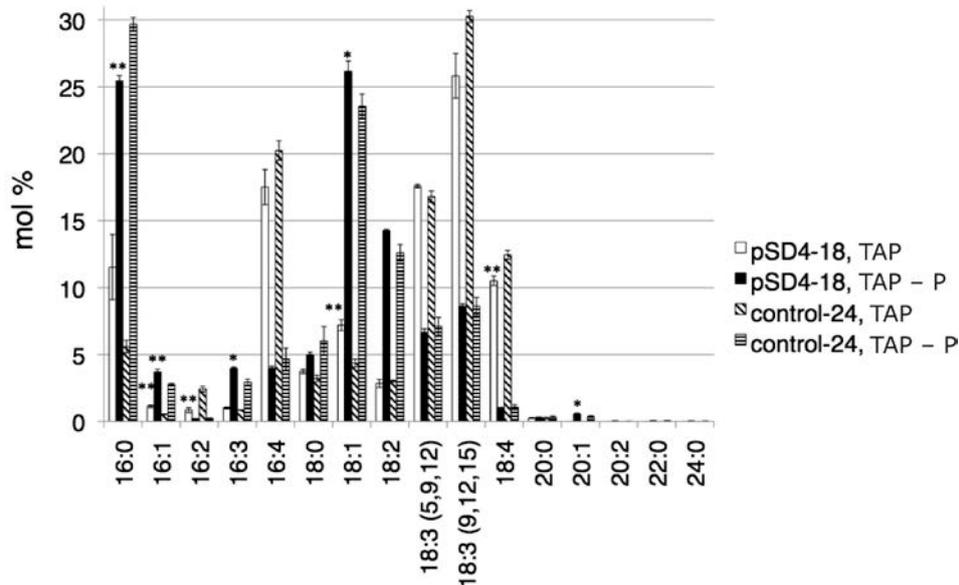


図2 リン欠乏条件下で形質転換株 pSD4-18 ではコントロール株 control-24 よりも C18:1 が多く TAG に含まれる。

## ●今後の展開

今回使用した pCrSQD2 はリン欠乏条件下で機能することが明らかになった。この系を用いれば、TAG 中の脂肪酸の量や質を操作することが可能となり、有用脂肪酸を TAG に蓄積させることができることが期待される。

## 【用語説明】

(1) リン欠乏応答性プロモーター：藻類や植物では、リンの欠乏時に欠乏したリンを生体膜を構成するリン脂質から切り出し、その代わりに糖脂質を合成して生体膜に用いる膜脂質リモデリングなどのリン欠乏に適応するための様々な応答が起こる。この際に発現が誘導される遺伝子の上流には、リン欠乏に応答して遺伝子の発現を誘導するプロモーターと呼ばれる制御領域が存在する。

(2) クラミドモナス：緑藻綱クラミドモナス目に属する単細胞藻類。ゲノム解析が進みモデル藻類として用いられる。

(3) チラコイド膜：葉緑体の内部に存在する高度に発達した膜構造。光合成の電子伝達装置や ATP 合成酵素などが存在し、光合成の光エネルギーから化学エネルギーへの変換を司る重要な膜構造である。

(4) TAG：トリアシルグリセロール。1分子のグリセロールに3分子の脂肪酸がエステル結合した中性脂肪の1つ。

(5) SQD2 遺伝子のプロモーター「pCrSQD2」：SQD2 は葉緑体に存在する硫黄を含む糖脂質 SQDG(スルホキノボシルジアシルグリセロール)の合成の最終段階を担う酵素。リン欠乏時に

誘導され SQDG を合成し、合成された SQDG が葉緑体でリン脂質の代替をする。

## 【発表雑誌】

雑誌名: Plant Biotechnology Journal

論文タイトル: Enhancement of extraplastidic oil synthesis in *Chlamydomonas reinhardtii* using a type-2 diacylglycerol acyltransferase with a phosphorus starvation-inducible promoter

著者: Masako Iwai, Keiko Ikeda, Mie Shimojima and Hiroyuki Ohta

DOI: 10.1111/pbi.12210

## 【東京工業大学地球生命研究所について】

地球生命研究所 (ELSI) は、文部科学省が平成 24 年に公募を実施した世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI ※) に採択され、同年 12 月 7 日に産声をあげた新しい研究所。

「地球がどのように出来たのか、生命はどこで生まれ、どのように進化して来たのか」という、人類の根源的な謎の解明に挑んでいる。

※世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) は、平成 19 年度から文部科学省の事業として開始されたもので、システム改革の導入等の自主的な取組を促す支援により、第一線の研究者が是非そこで研究したいと世界から多数集まってくるような、優れた研究環境ときわめて高い研究水準を誇る「目に見える研究拠点」の形成を目指している。

## 問い合わせ先

東京工業大学 バイオ研究基盤支援総合センター教授 太田啓之

Email: ohta.h.ab@m.titech.ac.jp

TEL: 045-924-5736 FAX: 045-924-5823

東京工業大学 地球生命研究所 広報担当

Email: pr@elsi.jp

TEL: 03-5734-3163 FAX: 03-5734-3416