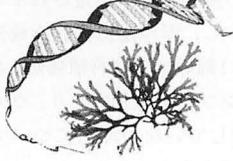


## 藻類学最前線



### 石田 健一郎：一生使える使い捨て葉緑体 ーウミウシのクレプトクロロプラストー

光合成を自身の細胞内で行ない独立栄養で生育する能力は、何も植物や藻類に限られたものではない。実は、様々な真核生物が様々な様式でその能力を獲得している。植物や真核藻類が葉緑体という「光合成工場」を永続的に細胞内に統合しているのに対して、珊瑚や一部の軟体動物、絨毛虫などは捕食した藻類細胞をそのまま共生体として自身の体内で栽培する「光合成農場」とも言うべきシステムを獲得している。また、ある種の軟体動物や有孔虫、絨毛虫、渦鞭毛藻などは、藻類を捕食したあと葉緑体だけを一時的に体内に蓄積することで光合成の恩恵に預かる、言ってみれば「使い捨て葉緑体」を獲得している。この使い捨て葉緑体(クレプトクロロプラストと呼ばれる)は、真核生物の複数の系列で独立に獲得されており、他の2つの方法と並ぶ真核生物の主要な光合成能獲得方法の一つとも言える。また、これは共生段階から真の葉緑体獲得に至る中間段階と言われることもあり、進化上非常に興味深い現象の一つでもある<sup>(1)</sup>。

この学問上の面白さとは裏腹に、クレプトクロロプラストに関する研究は、材料の供給や技術的な問題によりなかなか分子レベルまで踏み込むことが困難であった。しかし最近になって、アメリカの Rumpho らのグループが、軟体動物のウミウシの一種 (*Elysia chlorotica*) のクレプトクロロプラストについて、初めての分子レベルの研究を発表し、クレプトクロロプラスト獲得と保持機構の理解に向けた大きな一歩が踏み出された<sup>(2,3)</sup>。*E. chlorotica* は、軟体動物の中のゴクラクミドリガイ目 (Saccoglossa) に属し、全身緑色で葉を広げたような形態を持ち光合成によって生育可能であることから「這い回る葉」とも言われる (図1)。ゴクラクミドリガイ目のウミウシの多くは緑色の葉緑体を体内に蓄積することで知られ、一般にミルやイワツタなどの多核囊状緑藻から葉緑体を獲得するが<sup>(4)</sup>、*E. chlorotica* の場合は不等毛植物門に属する多核囊状の黄緑藻 *Vaucheria litorea* から葉緑体を獲得する。葉緑体の

獲得は、ヴェリジャー幼生と呼ばれる時期を過ぎた後の幼体の時に始まり (従って葉緑体は次世代に受け継がれない)、生息地に豊富に存在する *V. litorea* を捕食することで行われる<sup>(2)</sup>。捕食された *Vaucheria* はほとんど消化されてしまうが、葉緑体だけは消化管を取り囲む上皮細胞層の特別な細胞に取り込まれ蓄積される<sup>(2,3,5)</sup>。このウミウシの驚異的なところは、一度葉緑体を取り込むと、その後全くエサを食べなくても光を与えるだけで9ヶ月間 (寿命で死ぬまで) 生き延びることができることである<sup>(2,3)</sup>。他の生物のクレプトクロロプラストは通常数日から数週間に入れ替えられるのが普通なので、この9ヶ月という記録はギネスブックものと言ってよい。この葉緑体、持ち主が変わった後数カ月間も本当に機能しているのだろうか？

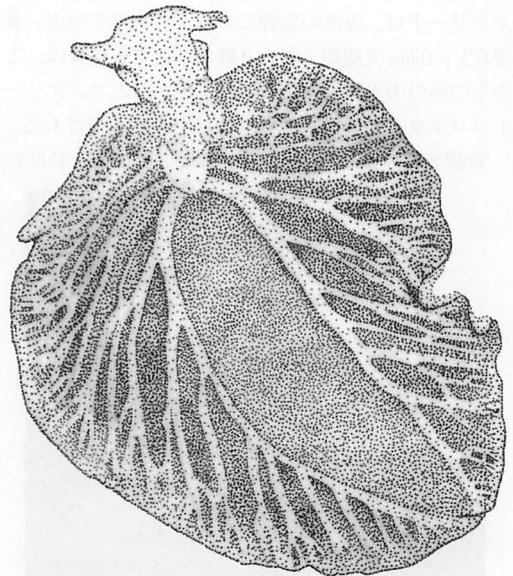


図1 *Elysia chlorotica* 「這い回る葉」とも呼ばれる全身緑色のウミウシ。アメリカ大陸の東海岸に分布する。

これまでの電子顕微鏡観察によると、上皮細胞に取り込まれた葉緑体は2枚の包膜に囲まれており、不等毛藻の葉緑体に普通存在する葉緑体ER膜などは残っていない<sup>(5)</sup>。しかし内部構造などは *Vaucheria* 細胞の中の葉緑体とほぼ同じであり、形態的なダメージはほとんど無いことが分かる<sup>(5)</sup>。また生理学的にも、光合成活性の指標の一つであるみかけの酸素発生は、葉緑体獲得後5ヶ月目から活性が衰えるものの7ヶ月までは酸素発生が呼吸量を上回り、光化学系の電子伝達の活性も、光化学系IとIIで若干の差があるものの、6-7ヶ月までは高い活性を保っている<sup>(3)</sup>。葉緑体ゲノムの遺伝子発現も、葉緑体獲得後8ヶ月目まで少なくとも2つの遺伝子で発現が確認されている<sup>(5)</sup>。つまり、この葉緑体は *Vaucheria* 細胞から取り出された後もウミウシの細胞内で藻類細胞の中とほとんど変わらずに数カ月間機能することができるのである。

そうすると、次はこのウミウシがどうやって9ヶ月もの長期間葉緑体を保持しているのかを知りたくなる。葉緑体で機能するタンパク質の90%以上は遺伝子が核ゲノムにコードされていると言われ、それらのタンパク質無くして葉緑体は正常に機能できない。ウミウシ細胞の核にも *Vaucheria* の核由来の葉緑体タンパク質の遺伝子が存在するのだろうか？ Green ら<sup>(6)</sup> はサザンブロット法により、*Vaucheria* 核由来の光合成系タンパク質の一つであるアンテナ色素複合体タンパク質 (FCP) <sup>(7参照)</sup> の遺伝子の有無を調べ、ウミウシの体内のどこにもこの遺伝子が存在しないことを報告している。しかしながら、FCP タンパクの有無をウエスタンブロット法で調べてみると9ヶ月目までちゃんとチラコイド膜に存在するのである<sup>(3)</sup>。どうやらこのウミウシは、葉緑体を取り込んだ時に既に存在していたFCPをそのまま9ヶ月間保持することができるらしい。このウミウシには葉緑体のタンパク質を保護する（あるいは修復する）何か特別な機構が存在するのだろうか？それとも *Vaucheria* のタンパク質はもともと丈夫で部品交換の必

要が無いのだろうか？謎はますます深まるばかりだが、今後の研究の進展が楽しみである。

ところで、先に述べたように、これまでクレプトクロプラストは真の葉緑体に至る進化の初期段階として認識されてきた。しかしながら、もし他の核コード葉緑体タンパクの遺伝子もFCPの場合と同じようにウミウシの体内に全く存在しないとしたら、クレプトクロプラストは通常の葉緑体への中間段階と言うよりは、むしろ全く別のメカニズムで獲得された葉緑体であると言えるのではないだろうか。他のクレプトクロプラストを持つ生物群でもこのウミウシと同じように核コードの葉緑体タンパク遺伝子は存在しないのだろうか？もともと真の葉緑体を持っていたと思われる渦鞭毛藻の場合などは特に興味深いところである。

#### 参考文献

- (1) 堀口 健雄 1999. 藻類の多様性と系統(千原光雄 編) pp. 147-157.
- (2) Rumpho M.E., Sumner E.J. and Manhart J.R. 2000. *Plant Physiol.* 123: 29-38.
- (3) Green B.J., Li W-Y, Manhart J.R., Fox T.C., Sumner E.J., Kennedy R.A., Pierce S.K. and Rumpho M.E. 2000. *Plant Physiol.* 124: 331-342.
- (4) Rudman B.W. (1998-) "Solar-powered Sea Slugs" World Wide Web Site: <http://www.seaslugforum.net/solarpow.htm>.
- (5) Mujer C.V., Andrews D.L., Manhart J.R., Pierce S.K. and Rumpho M.E. 1996. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93: 12333-8.
- (6) Green B.J., Sumner E.J., Li W-Y and Rumpho M.E. 2000. Abstracts for Plant Biology Meeting 2000, San Diego, CA: 909 (p. 180)
- (7) 三室 守 1999. 藻類の多様性と系統 (千原光雄編) pp. 68-94.

(プリティッシュコロンビア大学)

