

『細胞内共生から始まった 葉緑体進化の不思議』

大阪大学 蛋白質研究所 准教授
中井 正人



研究の背景

藻類や植物の葉緑体は光エネルギーを化学エネルギーに変換する光合成の場であり、それによって作り出される有機物は地球上の多くの生命を支えています。葉緑体は、シアノバクテリアのような酸素発生型の光合成を行う原核生物が、10億年ほど前に核やミトコンドリアを持つ真核生物の一種に細胞内共生することで誕生したと考えられています(図1)。その後、内共生体が持っていた遺伝子の多くは宿主の核ゲノムへ移行し、新たに加わったものも含め、2000種類を超える葉緑体タンパク質が核ゲノムにコードされるようになりました。これらのタンパク質の合成は葉緑体の外(細胞質ゾル)で行われるため、葉緑体タンパク質だけを特異的に輸送する分子装置が葉緑体を包む膜に同時に進化する必要がありました。これまで、葉緑体を包む外側の膜(外包膜)に存在するタンパク質膜透過装置はすでに明らかにされていましたが、内側の膜(内包膜)に存在する膜透過装置についてはよくわかっていませんでした。

研究の成果

今回、私たちは、この葉緑体内包膜のタンパク質膜透過装置の中核因子Tic20を同定し、それに単離精製用のタグ配列を付加したシロイヌナズナの形質転換植物を利用することで、この膜透過装置を分子量100万もの巨大分子複合体のまま精製することに世界で初めて成功し、その構成因子をすべて同定しました(図2)。

今後の展望

興味深いことに、複合体を構成していた4つのタンパク質因子のうちのひとつTic214は、葉緑体ゲノムにその遺伝子(*ycf1*)が存在していました(図2)。ところが、現存のシアノバクテリアや、内共生成立後初期に分岐したと考えられる灰

色藻や紅藻では、この遺伝子の直接の相同遺伝子が見当たりませんでした。したがって、*ycf1*は、緑藻が進化するまでの過程で葉緑体ゲノム上に出現したと考えられる非常にまれな遺伝子だとわかりました。これは、シアノバクテリアの内共生による葉緑体の誕生という生物進化上の大イベントの後、これまで考えられていたような、核ゲノムへの遺伝子の転移や付加だけでなく、ダイナミックな遺伝子の変化が葉緑体ゲノム側にも生じ、緑藻類および陸上植物の進化をもたらす一因になったことを示しています。なぜこの因子が葉緑体ゲノム側に生じなければならなかったのか、どのように生じたのか、なぜ分子量100万もの巨大な膜透過装置が必要となったのか、葉緑体進化の不思議のひとつが、これからさらに解明されていくと期待されます。

関連する科研費

- 平成14-18年度 特定領域研究「植物プラスチドにおける蛋白質輸送の分子メカニズムの解析」
- 平成20-23年度 特定領域研究「内包膜プロテントランスロケーターによるプラスチドの機能発現とその制御機構の解明」
- 平成24-25年度 新学術領域研究(研究領域提案型)「色素体成立の初期過程におけるタンパク質輸送装置の確立と進化に関する研究」
- 平成24-25年度 挑戦的萌芽研究「葉緑体包膜のメガダルトン級蛋白質輸送装置の立体構造解明への挑戦」

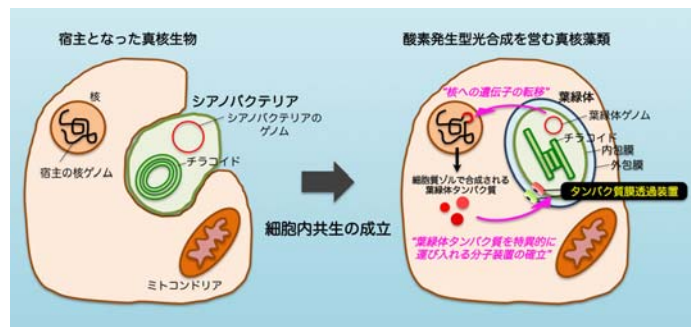


図1 シアノバクテリアの内共生による葉緑体の誕生
進化の過程で、葉緑体タンパク質の多くは細胞質ゾルで合成後、輸送されるようになった。

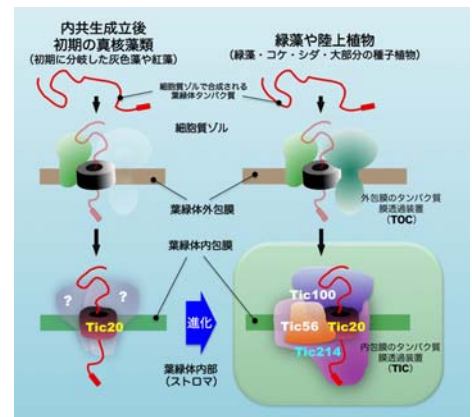


図2 シロイヌナズナ葉緑体内包膜に見いだされたタンパク質膜透過装置(右下)
大部分の陸上植物で保存されている。Tic20/56/100は核コード、Tic214のみ葉緑体のycf1遺伝子にコードされている。緑藻にはTic100は存在しない。また中核因子のTic20以外は、現存の灰色藻や紅藻では相同タンパク質が見当たらず、内共生成立直後は中核のTic20とともに別の因子が働いていたかもしれない(左下)。