

葉緑体とミトコンドリアの起源

講師
平山 大

今回学ぶこと

真核細胞は原核細胞に比べて構造が複雑です。原核細胞にはない、葉緑体やミトコンドリアは光合成や呼吸の場として重要なはたらきをしています。どのように形成されたのか、その起源について見ていきましょう。

調べておこう、覚えておこう

細胞内共生説, シアノバクテリア, プロテオバクテリア,
宿主, 活性酸素, 捕食, 盗葉緑体

葉緑体とミトコンドリアの共通点

真核細胞の内部構造は、原核細胞に比べて複雑である。光学顕微鏡で真核細胞を観察すると、原核細胞には見られない核や葉緑体、ミトコンドリアなどの細胞小器官を見ることができる。光学顕微鏡で観察できる葉緑体やミトコンドリアは、大腸菌などの細菌類とほぼ同じぐらいの大きさであり、葉緑体は約 $5\mu\text{m}$ 、ミトコンドリアは約 $2\mu\text{m}$ である。これらの細胞小器官はともに二重の膜構造をもち、エネルギーの変換反応が行われている。葉緑体では、光合成が行われ、光エネルギーを吸収し、ATPの持つ化学エネルギーに変換した後、このエネルギーを利用して二酸化炭素から有機物を合成している。ミトコンドリアでは、呼吸が行われ、酸素を用いて有機物を無機物まで分解し、有機物のもつ化学エネルギーをATPの化学エネルギーに変換している。葉緑体もミトコンドリアも核のDNAとは別に、独自のDNAをもち、まるで別の生き物のように細胞の中で分裂、増殖している。

細胞内共生説

真核細胞の葉緑体やミトコンドリアは、もともとは別の原核生物として独立に生活していたものが、他の生物に取り込まれて共生することで形成されたと考えられている。この考えを**細胞内共生説**という。取り込んだ方の生物（細胞）を**宿主**（細胞）というが、原始的な単細胞の真核生物であったという考えがある。これに対して、宿主に取り込まれて葉緑体やミトコンドリアの起源となった生物は、それぞれ光合成を行う**シアノバクテリア**と酸素を用いて呼吸を行う**プロテオバクテリア**の一種であったと考えられている。このような考えは、葉緑体やミトコンドリアが細胞の中で分裂して増殖することから古くから考えられていた。その後、独自のDNAを持っていることが明らかにされるなど幾つかの根拠から定説となっている。葉緑体やミトコンドリアが二重の膜構造を持っていることも根拠の1つとされてきた。宿主の細胞が細菌などを取り込むときに、細胞膜で細菌を包んで取り込むので、取り込まれたものは、自己の細胞膜と宿主の細胞膜の2枚の膜で囲まれた構造になる。しかし、最近では「葉緑体の外側の膜も取り込まれた原核細胞の膜であり、包み込んだ宿主の膜は退化、消失した」という報告もあり、二重膜の構造をもつことを細胞内共生説の根拠とすることはなくなっている。

葉緑体やミトコンドリアは細胞内で分裂して増殖しているが、自分勝手に増えているわけではない。宿主の分裂に同調して分裂するように制御されている。これは、細胞内に取り込まれた生物が細胞小器官へと進化する過程で、取り込まれた原核生物の遺伝子が失われたり、宿主の核DNAに移行したりすることで、宿主にコントロールされるようになり、独立に分裂できなくなったのである。葉緑体の分裂のしくみは、分裂面に形成されるリング状の構造が収縮することで、葉緑体がくびれて二分される。このリング状の構造は、葉緑体の内外に二重に形成されるが、葉緑体遺伝子と核遺伝子のそれぞれから作られるタンパク質できている。

宿主に取り込まれた原核生物が葉緑体やミトコンドリアへと進化する過程は、いろいろな生物の生き方から推定され、**捕食**される餌→**盗葉緑体**→任意共生→絶対共生という関係を経て細胞小器官となったのではないかと考えられている。渦鞭毛虫が単細胞の藻類であるクリプト藻を餌として取り込み、その葉緑体を一時的に保持し、光合成により作られる有機物を栄養として利用している。これは、盗葉緑体の段階にある一例である。ミドリゾウリムシは細胞内に取り込んだクロレラと共生している。このミドリムシとクロレラは、分離しても、独立に生育できる、任意共生の関係にある。これに対して、細胞内の共生体である葉緑体やミトコンドリアは、分離すると、共生体も宿主細胞も死んでしまう、絶対共生の関係にある。まさに、宿主と葉緑体やミトコンドリアは切り離せない関係になっているのである。このように餌として捕食された原核生物が細胞小器官へと進化する過程で、**活性酸素**から身を守るしくみも必要であった。葉緑体やミトコンドリアは、エネルギーの変換反応を行うため、反応性の非常に高い化合物である活性酸素を放出する。シアノバクテリアやプロテオバクテリアと共生するときには、すでに宿主にとって猛毒といえる活性酸素から身を守るためのしくみを宿主が備えていたと考えられている。私たちの細胞に、過酸化水素を分解するカタラーゼと呼ばれる酵素が含まれているのは、このしくみの一つの例である。

母から伝わるミトコンドリア

精子や卵が形成される過程で、ミトコンドリアは精子や卵のもとになる細胞から精子、卵に分配される。しかし、受精により核とともに卵内に入った精子のミトコンドリアは、受精卵のなかで分解されてしまう。このため、ミトコンドリアのもつDNAは、必ず母親から子に受け継がれ、父親から受け継がれることはない。

このようなミトコンドリアDNAの特徴を利用して、世界のさまざまな人類集団のミトコンドリアDNAを分析すると、現生人類の共通の女系祖先に辿りつくことができる。この女系祖先のことを「ミトコンドリア・イブ」と呼ぶ。分析の結果からは、「ミトコンドリア・イブ」が29万～14万年前にアフリカに生存していた女性であると推定されている。