

宮城島 進也 特任准教授

細胞内小器官である、ミトコンドリアと葉緑体。これらは、太古の昔には独立した生物だったが、10億年以上前に、真核細胞の中に取り込まれ、共生したと考えられている。

異なった細胞がどのように統合され、ひとつの生物として生きていくようになったのか？

ミトコンドリアと葉緑体の分裂に注目し、統合の機構がどのように進化してきたのかを、宮城島研究室は解き明かそうとしている。



PROFILE

■みやじま しんや / 1975年生まれ

東京大学大学院理学系研究科博士後期課程修了、立教大学理学部博士研究員、ミシガン州立大学博士研究員、理化学研究所独立主幹研究員。2011年より現職。

受賞歴 / 2002年日本植物形態学会奨励賞、2004年日本植物学会奨励賞、2005年The Early Career Award, American Society of Plant Biologists、2010年日本植物形態学会平瀬賞

趣味 / 楽しく飲むこと

2個の細胞が1個になる。その過程が知りたい

宮城島特任准教授がこのテーマを選んだ経緯を聞いてみた。

「もともと、細胞の中にある物の形を見ることに興味があったんです。大学院のときに、葉緑体やミトコンドリアがどうやって動いたり増えたりするのか、というのに単純に興味があって始めたことなんです。そしたら進化とかそういう問題が分かってきて。今、面白いと思っているのは、もともと別の生き物だったものが片方に取りこまれて、細胞の中に細胞がいるようなことになっている。2個の細胞から1個の細胞ができるっていう、その過程に興味があるんです。」

こうした視点で研究している研究室は、かなり少ないという。

「ミトコンドリアの分裂の研究室はアメリカに4つくらいあるんですけど、対象は出芽酵母です。ミトコンドリアは進化とかが多様化が進んでいて、生き物ごとに様子が違うんです。生き物全体にわたるような共通点が出てこない。何か見つかっても酵母にしかないということが多いです。」

生物の研究って、生き物が違えばいくらでも新しいことは出てくると思うんですけど、そんなことやっててもきりが無い。遺伝子の機能を全部調べますって言うても、生き物が変われば遺伝子も違うし、進化してどんどん変わっているわけだから、全部の遺伝子の機能を見るなんて多分できないし、やっても意味が無い。そういうのではなく、原理という大きなものが見えるのが面白い。僕が知りたいのは、どうやってバクテリアが細胞に取り込まれて、一緒に増えるようになったかです。」

シアノバクテリア由来と宿主細胞由来のタンパク質で、分裂の輪が作られる

細胞が分裂するに先立ち、葉緑体やミトコンドリアは2つに分裂して複製され、娘細胞にほぼ等分される。

葉緑体やミトコンドリアが分裂するときには輪状の構造が現れ、その輪が縮んでいって2つに分かれ、分裂が終わると輪は分解される。宮城島特任准教授は、これまでの研究で、この輪の構造と組成を明らかにしてきた。

葉緑体とミトコンドリアでそれはほとんど同じということなので、ここでは葉緑体について聞いた。

「葉緑体はもともとはシアノバクテリアでした。シアノバクテリアは

分裂するとき、輪が内側にできて縮んでいって分裂します。葉緑体を分裂させる輪には、シアノバクテリアの輪にも存在する「FtsZ」というタンパク質が持ち込まれていました。この「FtsZ」は葉緑体の内側にできます。

一方、シアノバクテリアには無い、宿主細胞が作るタンパク質「ダイナミン」が葉緑体の外側にできます。

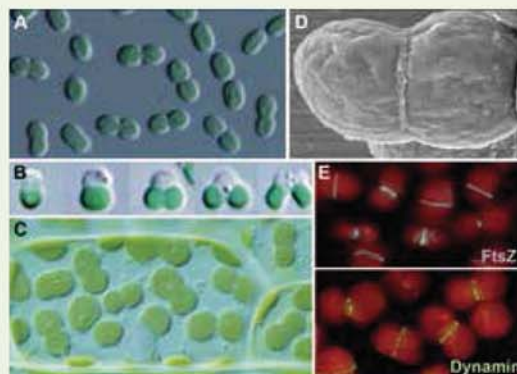
「FtsZ」と「ダイナミン」、そしてこれ以外に、シアノバクテリアが持っていた「ARC」と、シアノバクテリアが持っていない宿主細胞の「PDV」というタンパク質がないと分裂できません。」

分裂のために働く輪は、シアノバクテリア由来のタンパク質と、宿主細胞由来のタンパク質が複雑に組み合わせられてきたものだったのだ。

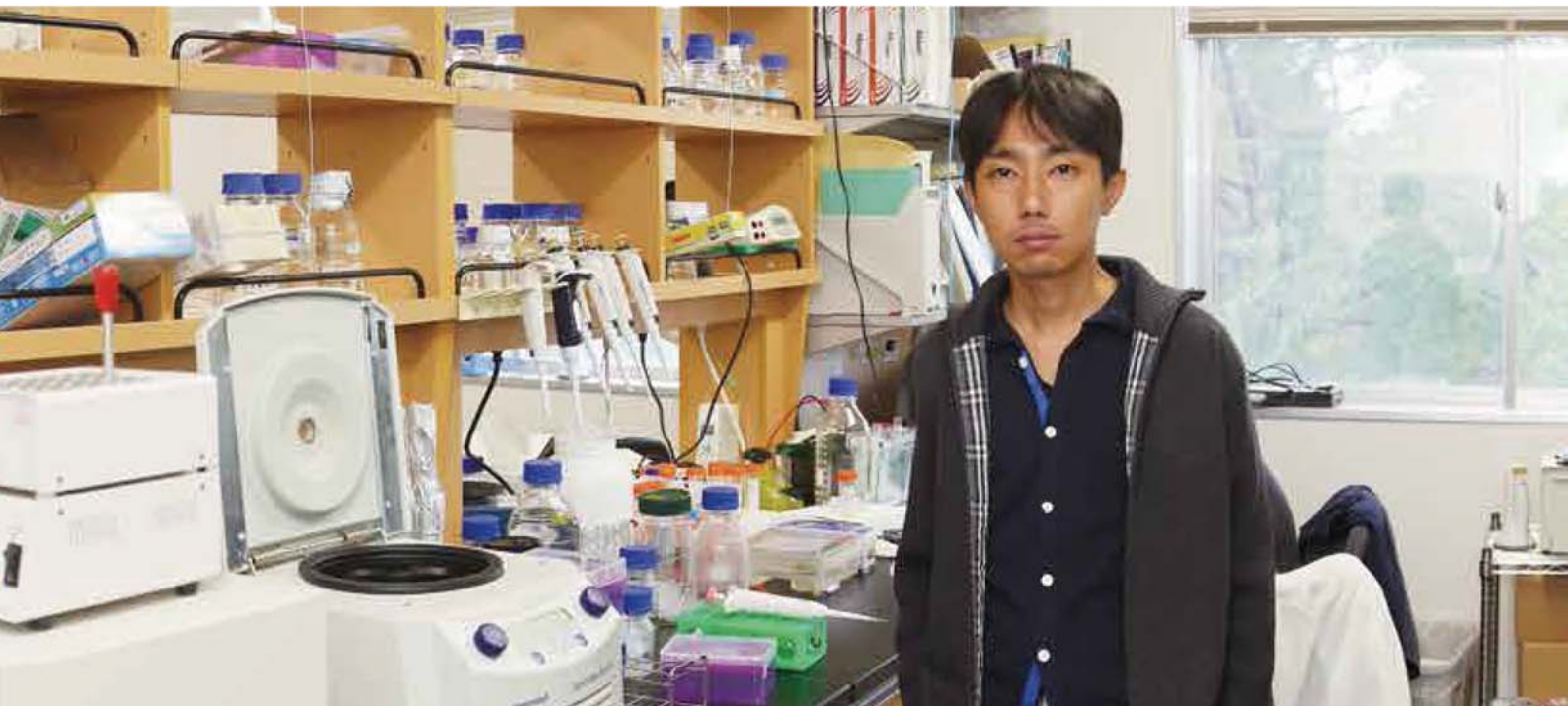
そして、これらのタンパク質をつくる遺伝子は、すべて宿主細胞に移っているという。

「葉緑体の中にまだいくつかの遺伝子はあるんですけど、「FtsZ」を作る遺伝子はもう葉緑体の中にはなくて、宿主細胞の核に移っています。遺伝子は取り上げられている。自分では使えない」

つまり葉緑体の分裂を制御しているのは、完全に宿主細胞ということになる。



図一祖先のシアノバクテリア(A)と同様に、葉緑体は分裂によって増殖する(B,単細胞の藻類;C,陸上植物の細胞)。我々は、葉緑体分裂がその分裂面に形成される分裂装置(リング)の収縮によって行われること(D)、分裂装置がシアノバクテリア由来のFtsZと宿主細胞が加えたDynamin等から構成されていること(E)を明らかにした。



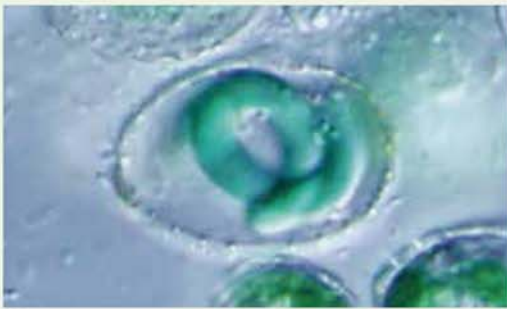
様々な生物を培養して、進化の過程を調べる

研究室では、進化の過程をたどるために、様々な生物を培養している。葉緑体の祖先であるシアノバクテリア、葉緑体を持っていない粘菌、葉緑体を1個～3個持つ藻類、陸上植物のシロイヌナズナなど。ちょっと面白いのは、最近培養を始めた「ポウリネラ」という原生生物。葉緑体とは別起源のシアノバクテリアを取り込んだ生物だという。

「ポウリネラが葉緑体ではないシアノバクテリアを持っていると分かったのはつい最近です。

というのは、細胞の中にある葉緑体が、本当に共生体なのか、食べ残しなのかっていうのは、単独培養ができないと分かりません。生物の単独培養は難しいんです。他の生き物が作るものに依存して生きてるものがほとんどなので、場合によっては単独培養できないこともある。多分人間が培養できてる生き物は、地球上の1%にも満たないだろうって言われてるくらいです。人間が知らないだけで、ポウリネラのように、細胞内共生をしている生物はいっぱいいるはずですよ。」

未知の生物を使った研究で、新たな発見が期待される。



ポウリネラ

解き明かしたい4つの謎

宮城島研究室では、大きく4つの謎の解明に挑戦していくという。

「まず1つめとして、リングがどうやって縮むか?という大問題が残っています。

内側と外側のものがどうやってつながってるか分からない。由来の違うものがどうやって縮むのか?」

2つめは、ミトコンドリアや葉緑体の輪ができるタイミングは宿主が制御しているが、いつ増やすのか、やめさせるのか、どうやって調節しているのかが分からない。

3つめは、2つめの疑問とは逆に、葉緑体なら光合成、ミトコンドリアなら呼吸、これがないと宿主細胞は増えることができないので、取り込まれた側が宿主細胞にどうということをするのか?

4つめが、いろいろな細胞内共生を理解するということ。

ゾウリムシがクロレラを飼うとか、サンショウウオみたいな生き物のなかに細胞がとりこまれて光合成してるとか様々な共生があります。また現在、共生が進行しつつある中間的な生物もいるので、そういうものもヒントにしたい。」

人工的に細胞内共生を作れないか?

さらに野心的な目標として、「人工葉緑体」という言葉も飛び出した。

「理想は、細胞内共生を作ること。人工葉緑体とか人工制御ですね。シアノバクテリアとアメーバを混ぜて、食べさせて、分裂を操作できたら人工的に共生体を作ることができるかもしれません。

現在、共生が起こりつつある生き物を見ると、取り込まれたバクテリアのほとんどの遺伝子はまだ宿主に取り上げられていないので、ほんのちょっといじるだけで一緒に増やす事ができるかな、と思うんです。そんなにたくさんのことが進化で一度に起きるわけないので、順番にどれかが起きて、チューンアップしてきたと思う。だから一番最初のイベントが知りたくて、それがわかれば作ることができるかもしれないと思っています。」

僕たちの細胞～真核細胞がどうやってできたかを知りたい

最後に、研究の意義について聞いた。

「僕の研究は、明らかに完全な基礎研究なので、何かの開発とか今すぐこれでエネルギー問題が解決するとかいうことに直結する研究ではないです。でもまず「物を知る」ということは人間のやりたいことです。例えば芸能鑑賞は生きるためには要らないのかもしれないけど、無きゃ全然面白くない。人間がマシンとして、家畜として生きるのであれば要らないことかもしれないけど…。

恐竜なんてたかだか何千万年前のもんですけど、何十億年の間に、どうやって真核細胞ができてきたか?今の僕たちの細胞も含めて、どうやってできてきたのかを知ることはとても有意義なことだと思います。」



ミトコンドリア分裂から真核細胞の起源と進化を探る

真核細胞内のエネルギー変換器、ミトコンドリアと葉緑体は、10億年以上前にバクテリア細胞が真核細胞内に共生して誕生しました。その他、真核細胞が別の細胞を取り込み、新機能を獲得する例は広く見受けられます。このような二種の細胞の世代を超えた持続的統合には、宿主細胞の分裂増殖に伴った、共生細胞の分裂・増殖の制御が必須です。

我々は、葉緑体とミトコンドリアの分裂が、それぞれ祖先のバクテリアと宿主真核細胞の両方に由来する部品から構成されるハイブリッド装置によって引き起こされることを世界に先駆けて解明してきました。本研究室では、(1)葉緑体、ミトコンドリア、その他の細胞内共生細胞の分裂が、如何にして宿主細胞によってコントロールされているのか、(2)逆に、共生体のエネルギー生産・物質代謝が、宿主細胞の分裂増殖にどのような影響を与えているのか、(3)これらの機構がどのように進化したのかを解析することにより、二つの異種細胞からどのようにして新たな細胞が誕生し進化するのか、その基本原理を解明していきます。

Publications

Miyagishima, S., Nakanishi, H., and Kabeya, Y. (2011). Structure, regulation, and evolution of the plastid division machinery. *Int Rev Cell Mol Biol* 291, 115-153.

Miyagishima, S. (2011). Mechanism of plastid division: from a bacterium to an organelle. *Plant Physiol* 155, 1533-1544.

Miyagishima, S., and Kabeya, Y. (2010). Chloroplast division: squeezing the photosynthetic captive. *Curr. Opin. Microbiol.* 13, 738-746.

Suzuki, K., and Miyagishima, S. (2010). Eukaryotic and eubacterial contributions to the establishment of plastid proteome estimated by large-scale phylogenetic analyses. *Mol. Biol. Evol.* 27, 581-590.

Okazaki, K., Kabeya, Y., Suzuki, K., Mori, T., Ichikawa, T., Matsui, M., Nakanishi, H., and Miyagishima, S. (2009). The PDV1 and PDV2 components of the chloroplast division machinery determine the rate of chloroplast division in land plant cell differentiation. *Plant Cell* 21, 1769-1780.

Nakanishi, H., Suzuki, K., Kabeya, Y., and Miyagishima, S. (2009). The plant-specific protein MCD1 determines the site of chloroplast division in concert with bacteria-derived MinD. *Curr. Biol.* 19, 151-156.



※2012年度要覧より



大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

国立遺伝学研究所

National Institute of Genetics

〒411-8540 静岡県三島市谷田1111

<http://www.nig.ac.jp/>