

日本植物学会公開シンポジウム

進化の原動力＝細胞内共生

オーガナイザー

長里 千香子

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

〒051-0003 北海道室蘭市母恋南町 1-13

Endosymbiosis, driving force for evolution

Key words: chloroplast; endosymbiosis; nucleomorph; secondary symbiosis.

Chikako Nagasato

Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

1-13 Bokoi Minami, Muroran 051-0003, Japan

1. シンポジウム実施の経緯

日本植物学会第 73 回大会（山形）で行われた公開シンポジウムは、「植物の大系統に関する最近の知見」をテーマに若手研究者を中心とした 8 名の演者で構成された。本シンポジウム実施には、前大会にあたる日本植物学会第 72 回大会（高知）の会場において、日本植物学会専務理事と山形大会会長・原慶明先生による会談に端を発している。そこで「これからの大会の在り方を提示する試み」として、若手が企画し、若手を中心としたシンポジウムを実施してはどうかとの要請を受けた原慶明先生が、シンポジウムの世話人として著者を任命されたのである。

その後は、原慶明先生のご助言・ご協力を仰ぎながら、候補となるべく若手研究者のリストアップをし、シンポジウムの趣旨を添えた書簡と共に講演依頼を行った。各候補者からは円滑な受諾の回答を得たことから、急遽、平成 21 年度科学研究費補助金（研究成果公開促進費）「研究成果公开发表（B）」に、日本植物学会第 73 回（山形）大会公開シンポジウム「奇妙な生物から植物の大系統を探る」として、学会会長名で事務局を通じ申請していただいた。幸運にも採択を受け、今回のシンポジウムの実施に至った。

2. シンポジウムのねらい

最近の生物科学の進歩は著しい。特に生物の進化、系統に関する分子生物学と微細構造学の成果の集積がめざましく、我々がこれまで抱えてきた構図とはかけ離れた生物の世界とその成り立ちを描き出してくれる。「植物」は核と独自のゲノム（DNA）を有するミトコンドリアと葉緑体から成る（真核）細胞でできており、酸素を発生する光合成により光エネルギーを化学エネルギーに変えて、自らエネルギーを獲得できる（独立栄養）という明瞭かつ独特の特徴を持つ生物群である。そして、古くから動物や菌類（カビやキノコ）とは系統を異にし、「植物」は植物として独自の進化をたどった自然集団と理解してきた。ところが核のゲノ

ムに刻まれた「植物」の過去の歴史を紐解くと極めて複雑で多様な系統から構成されていることがわかってきた。一方で、葉緑体のゲノム情報からはどの「植物」もそれらの葉緑体は単一起源であること、シアノバクテリアをはじめとする原核光合成生物との類縁を示すことが提示されている。これらの結果を総合すると「植物」は多系統であり、「植物」と言う自然集団は存在しないことを示している。しかしながら、真核従属栄養生物による原核光合成生物の取り込みとオルガネラ化によって葉緑体が獲得される細胞内共生が進化上のイベントとして1回のみ行われたことを想定すれば説明がつく(図1)。この極めて複雑な「植物」の進化プロセスはこれまでのような突然変異、自然選択、遺伝的浮動など、漸進的な進化の理論では説明することはできない。すなわち、「植物」の辿った進化の道筋の中に、我々がこれまで見落とし、見間違いをしていた進化上のイベントが存在していた可能性を示唆するものである。

真核細胞の成立にはミトコンドリアの起源となる好気性バクテリアや葉緑体の起源となるシアノバクテリアなどの原核生物による細胞内共生＝共生説が関与したことは周知の事実である。細胞内共生が系統の全く異なる生物(細胞)の間で生じ、構造や機能、あるいは遺伝的な再編統合が行われ、新たな細胞(系統)を形成するという視点はそれほど広く認知されていない。しかし、分子進化・系統学の急速な発展とともに、電子顕微鏡による微細構造学的な知見が蓄積し、いろいろな生物の細胞内構造が明らかとなり、その情報に基づいて「植物」の全体像が把握できるようになった。このような新たな生物学が展開されてきた初期の段階でエポックメイキングな2つの研究がある。一つは2核性の渦鞭毛藻類は細胞膜で仕切られた2つの細胞質がイレコになった状態の細胞であること(いつも染色体が凝集している渦鞭毛藻独特の核が持つ細胞質と、他の真核生物の核が持つ細胞質の、2つの細胞質からできている)を明らかにしたものである(Larsen 1992)。もう一つはクリプト藻類の葉緑体は核膜から伸長した粗面小胞体で取り囲まれ、その小胞体と葉緑体包膜の間に細胞質が存在する区画(葉緑体周縁区画)があり、そこには光合成産物のデンプン顆粒やリボソームの他にサイズこそ小さいが核によく似たヌクレオモルフというオルガネラが存在している(Greenwood 1974)。このヌクレオモルフはクリプト藻の葉緑体の起源となる真核独立栄養生物の細胞核が退化したものであろうと推察された(図2)。その後の研究により、ヌクレオモルフにはDNAが存在することが示され(Ludwig & Gibbs 1985)、染色体の構造が真核生物と同様であることが明らかになったのである(Douglas et

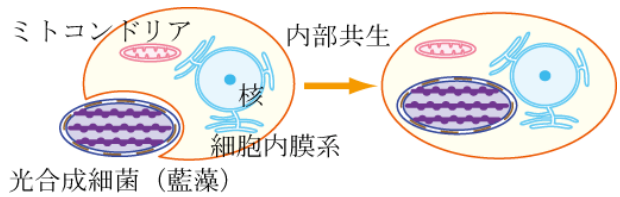


図1 細胞内共生による葉緑体の獲得。葉緑体は光合成細菌(藍藻)が真核細胞に飲み込まれ、共生することによって誕生したと考えられている。

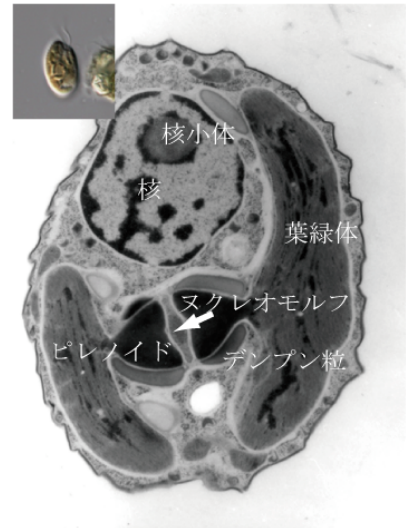


図2 クリプト藻に見られる光合成真核生物の痕跡的な核；ヌクレオモルフ (写真提供 佐藤友則氏)

al. 2001, Gilson & McFadden 2002)。真核生物の特徴であるこれらの研究を端緒として、真核細胞が成立したときの細胞内共生以外にも細胞内共生が生じていたことを示す多くの証拠が集積してきた。しかも、その細胞内共生は従属栄養の真核細胞と独立栄養の真核細胞の間で起こり、あらたな「植物」の系統を生み出しているということから、細胞内共生＝進化の原動力の考え方に連動した。

細胞内共生に関する証拠は微細構造学だけでなく、それらの研究から推察できる一連の現象を分子系統学的な証拠により裏付けられた。この真核生物間での細胞内共生にはいろいろな宿主と共生体の組み合わせがあり、それが「植物」の多系性の原因となり、さらに、宿主と共生体が一つの細胞になるべく、生理的、形態的、遺伝的な再編統合を進める過程があり、その再編統合の進み具合にも多様性があり、「植物」の多系性にバイアスをかけていることが判明した。したがって、「植物」の大系統の成り立ちを理解するためには細胞内共生の介在、それらの組み合わせ、細胞内共生の再編統合を見極める必要がある。それと同時に細胞内共生が解析しやすい生物の発見や探索、すなわち「奇妙な生物」との遭遇が研究の進展と現象の解明に大きく寄与することになる。

この進化の原動力となる細胞内共生の仕組みとそれによって新たに生み出された「植物」の大系統をどのように理解するかを考えてみるというのが本企画の目的である。それを説明する前に知っておいてほしい「奇妙な生物たち」の発見があり、それ抜きには「植物」の進化も、大系統も語れない。また、このシンポジウムに登場する大系統の名前は極めて馴染みの薄く、日本では植物学の分野でも市民権を得ていない。まずは名前の由来を理解することが肝心で、名前の由来の元となる術語のほとんどは、新しく系統的に認識された大系統の生物間に共通する形態的特徴、すなわち共有派生形質に基づくことが多い。それ故、術語の意味を理解すれば、自ずと大系統の定義や性質が判ることになる。

引用文献

- Douglas, S., Zauner, S., Fraunholz, M., Beaton, M., Penny, S., Deng, L.-T., Wu, X., Reith, M., Cavalier-Smith, T. & Maier, U.-G. 2001. The highly reduced genome of an enslaved algal nucleus. *Nature* 410: 1091-1096.
- Greenwood, A. D. 1974. The Cryptophyta in relation to phylogeny and photosynthesis. In: Sanders, J. V. & Goodchild, D. J. (eds.) *Electron Microscopy* pp. 566-567. eds. Australian Academy of Sciences, Canberra.
- Larsen, J. 1992. Endocytobiotic consortia with dinoflagellate hosts. In: Reisser, W. (ed.) *Algae and Symbiosis*. pp. 427-442. Biopress, Bristol.
- Ludwig, M. & Gibbs, S. 1985. DNA is present in the nucleomorph of cryptomonads: further evidence that the chloroplast evolved from a eukaryotic endosymbiont. *Protoplasma* 127: 9-20.