

寿命と有性生殖のトレードオフ説の問題点

高木由臣 (奈良女子大学)

Critical comments to the tradeoff theory for lifespan and sexual reproduction

Yoshiomi TAKAGI (Nara Women's University)

SUMMARY

The tradeoff theory for lifespan and sexual reproduction postulates that the latter results in genomic diversification. However, this is not true for autogamy in *Paramecium*, which usually results in genetically identical progeny and yet marks a new life cycle, resetting the developmental time to zero. I propose that the original form of sexual reproduction was the genomic alternation between diploid and haploid, which had nothing to do with genomic diversification. For early eukaryotes with huge haploid genomes, diploidization was an adaptive means to protect from harmful mutations, and haploidization was a process to evaluate the accumulated mutations. The simplest form for diploidization is genomic duplication (Du) and that for haploidization is distribution of the duplicated genome (Di), the common process of asexual division of haploid cells. If Du is repeated in the haploid division cycle, the resulting $Du \rightarrow Du \rightarrow Di \rightarrow Du \rightarrow Di$ cycle is the asexual division of diploid cells. If Di is repeated in the diploid division cycle, the resulting $Du \rightarrow Di \rightarrow Du \rightarrow Di \rightarrow Di$ cycle is the asexual division of haploid cells. Therefore, diploidization connotes fertilization, and haploidization connotes reduction division, which later evolved into authentic sexual reproduction involving genomic diversification.

[目的] 生物の寿命は、有性生殖とのトレードオフとして出現したというのが通説である。有性生殖の本質は、異性間のゲノムの融合と減数分裂・組み換えによるゲノムの多様化とされている。利己的遺伝子の観点からすると、100%自己を遺す無性生殖を停止して50%しか自己を遺さない有性生殖を導入したのは、ゲノムの多様化という有性生殖のメリットが進化学的にいかに大きな意義をもったかを伺わせる。しかし原生物を研究材料としてきた研究者には、ゾウリムシのオートガミーやセルフイングに見るように、有性生殖が必ずしもゲノムの多様化をもたらさないことを熟知している。それにも拘らず、オートガミーやセルフイングは、発生時計をリセットし細胞を若返らせ、(オートガミー)未熟期に始まる新しい寿命の起点となる。メイナード・スミスに代表される進化遺伝学者は、オートガミーの生殖法を無性生殖とみなすことでこの難点を切り抜けようとしている¹⁾が、小核レベルでの減数分裂と受精を伴い、寿命の起点を作る過程を有性生殖とみなさないという見解には同意し難い。演者は初期の有性生殖がゲノムの多様化を伴わない無性生殖的過程から派生したものであること、それにもかかわらず100%自

己を遺す無性生殖を停止することに進化的意義がありえたとする新しい観点を提起し、議論を喚起することを目的とする。

[結果と考察] 演者の結論を先に述べておく。寿命と有性生殖のトレードオフは認めたと上で、有性生殖の本質をゲノムの多様化とみなす見解に異議を唱える。初期の有性生殖は「1倍体の2倍体化と2倍体の1倍体化」という形の、ゲノムの自己同一性を保証する無性生殖的過程であった。「1倍体の2倍体化と2倍体の1倍体化」が、異質な雌雄細胞の受精と、組み換えを伴う減数分裂という形をとってゲノムの多様化を保証するようになるのは後のことである。「1倍体の2倍体化」は、細胞が大型化し大型ゲノムをもつようになった初期真核細胞にとっての「突然変異への安全対策」であり、「2倍体の1倍体化」は蓄積した突然変異の有用性検証過程であった。

1倍体が2倍体化するもっとも簡単な方式はゲノムの複製である。1倍体の無性生殖過程は「1倍体ゲノムの複製→複製ゲノムの分配」というパターンの繰り返し、すなわち「2倍体化(複製)→1倍体化(分配)」の繰り返しである。1倍体の「複製→分

配→複製→分配」サイクルで、複製が1回重複して「複製→複製→分配→複製→分配・・・」となると2倍体の無性生殖サイクルになる。一方2倍体の無性生殖サイクルで分配が1回重複して「複製→分配→複製→分配→分配」となると2倍体が1倍体化する。

1倍体と2倍体の無性生殖過程が交替する生活史をもつ生物（コケ、シダ、褐藻類、紅藻類、有孔虫類など）では、1倍体が2倍体化するときに受精であり、2倍体が1倍体化するときに減数分裂である。すなわち「1倍体の2倍体化と2倍体の1倍体化」は、最も原始的な形の「受精と減数分裂」というパターンの原型を内包している²⁾。言い換えれば「受精と減数分裂」が有性生殖の本質であり、有性生殖には元来ゲノムの多様性をもたらすような過程は含まれていなかったと考える。

安全対策としての2倍体化が、異性1倍体細胞の融合（受精）の形をとるようになり、2倍体の1倍体化（減数分裂）過程で組み換えが起こるようになったことで、初めて有性生殖がゲノムの多様性を保証するようになった。2倍体化機構として「1倍体細胞同士の細胞融合」が「ゲノム複製」よりも後の出来事

であるとみなす理由は、前者は細胞融合のための分子的仕組みだけでなく、自家不和合性を克服するための仕掛けなど、ゲノムの複製という太古からの様式に比べてはるかに複雑な過程が含まれるからである。2倍体中心の生活史に1倍体が短く介在する後生動物や種子植物での有性生殖は「（性分化と組み換えを伴う）減数分裂と受精」であり、1倍体化は性成熟を意味し、性成熟までのタイミングを計ること（性的未熟期をもつこと）が2倍体生物にとっての生活戦略になったとき、寿命と有性生殖のトレードオフが確立したと考える。繊毛虫類も基本的にはこの部類に入るが、ゲノムの多様性を保証しない有性生殖を保持している点で特異な位置を占める。

[文献]

- 1) Maynard Smith, J. (1998) *Evolutionary Genetics*, 2nd Edn. Oxford Univ. Press, Oxford.
- 2) Takagi, Y. (1999) Clonal life cycle of *Paramecium* in the context of evolutionally acquired mortality. In: *Cell Immortalization* (ed. Macieira-Coelho, A.) pp. 81-101. Springer, Berlin.