

酵母のストレス逃避術

松沢 智彦

微生物からは乳類にいたるまで、生物は大小さまざまなストレスを受けながら生きている。基礎研究から醸造にいたるまで幅広く活躍している酵母もまた、熱ショックや高浸透圧、エタノールなど、さまざまなストレスとともに生きている。酵母はストレスを感知するとシグナル伝達経路を活性化することでストレスと向き合い、この克服を試みる。酵母ではストレス応答性 mitogen-activated protein kinase (MAPキナーゼ) 経路がストレス応答に重要な役割を果たしていることが知られている。たとえば、出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* は高浸透圧ストレスに曝されると high osmolarity glycerol response (HOG 応答) 情報伝達経路によってグリセロールなどの適合溶質の生合成・蓄積を誘導し、高浸透圧ストレスを克服することで生命維持を図っている¹⁾。

しかし、ストレスの中にはまともに向き合っても克服できないストレスもある。手も足も鞭毛もない酵母は泳いだり走ったりすることによってストレス源から逃げるができない。しかし、酵母も命つきるまでそのストレスと向き合っている訳ではない。酵母にはいくつかの「ストレスから逃避する術」が備えられている。そのうち、本稿では二つのストレス逃避術について簡単に紹介する。

一つは菌体の凝集を利用したストレス逃避術である。普段は一つひとつバラバラに増殖している酵母菌体が集まり、膨大な数の菌体が結合することによって肉眼で容易に観察できるほどの大きな菌体の塊（凝集塊）を形成することがある。たとえば、醸造において用いられる下面発酵酵母は凝集塊を形成することによって沈降している。この酵母の凝集塊形成メカニズムに関する研究は、醸造分野を始め多くの領域の研究者によって活発に行われてきた。*S. cerevisiae* では凝集素（細胞表面に局在す

るレクチン様の糖結合タンパク質）Flo1pなどが菌体表面のマンノースを認識し結合することによって凝集塊が形成されることが知られている²⁾。この凝集塊の表面に位置する菌体と内部に位置する菌体とでは、凝集塊が薬剤やエタノールに曝された際にたどる運命が大きく異なることがSmukallaらによって報告された³⁾。凝集塊表面の菌体は薬剤やエタノールなどに曝されると死んでしまうのに対し、凝集塊内部の菌体は凝集塊の内部に引きこもることで生命を維持できる。

もう一つは菌糸状増殖を利用したストレス逃避術である。「酵母」と聞くと多くの読者は丸形もしくは楕円形の単細胞の菌体を想像されることだろう。多くの酵母は丸形もしくは楕円形の菌体が出芽もしくは分裂することによって増殖しており、母細胞と娘細胞は結合することなく独立して増殖を繰り返す。分裂酵母 *Schizosaccharomyces japonicus* も栄養が豊富でストレスの少ない環境下では、上記の様に楕円形の菌体が分裂し単細胞増殖を行っている。しかし、*S. japonicus* は栄養の枯渇もしくはDNAダメージなどの非常事態には増殖様式を単細胞増殖から菌糸状増殖に劇的に変化させることが報告されている⁴⁾。菌糸状増殖では分裂した菌体同士が連なり菌糸状の形態になる（偽菌糸の形成）。また、菌糸状増殖している菌体には著しい細胞伸長が見られることが報告されている⁴⁾。このような菌糸状増殖は *S. japonicus* に単細胞増殖時には無かった「移動性」を付与し、好ましくない環境から菌体が逃避することを可能にしているのではないかとFuruyaらは考察している⁴⁾。酵母の菌糸状増殖は *Candida albicans* などの感染性の酵母にも広く見られ、感染する際の宿主への接着や好中球やマクロファージによる貪食からの防御などに重要な働きをしていると考えられている⁵⁾。

我々も大小さまざまなストレスを受けながら日々生活をしている。ストレス耐性を身につけ、これらのストレスを克服することは大切であろう。しかし、耐えられないほどの強いストレスに出会ったときは自らを守るためにそのストレス源から距離を置くこと、または逃避することも時として必要であろう。

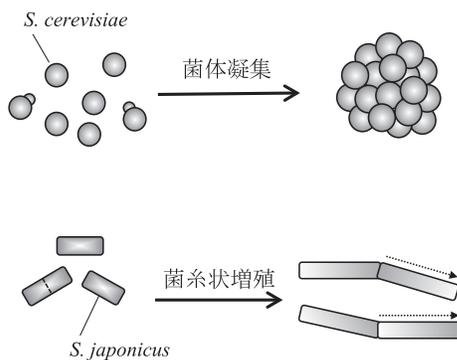


図1. 酵母の菌体凝集と菌糸状増殖

- 1) Brewster, J. L. et al.: *Science*, **19**, 1760 (1993).
- 2) Kobayashi, O. et al.: *J Bacteriol*, **180**, 6503 (1998).
- 3) Smukalla, S. et al.: *Cell*, **135**, 726 (2008).
- 4) Furuya, K. et al.: *Mol Cell Biol*, **26**, 2909 (2010).
- 5) Missall, T. A. et al.: *Eukaryot Cell*, **3**, 835 (2004).