

## カビの胞子，長生きの秘訣

萩原 大祐

糸状菌（いわゆるカビ）の胞子は生活圏大気中のいたるところに存在している。普段何気なく生活しているが、多ければ数十個もの胞子を一度の呼吸で肺に吸い込んでいる。多くの胞子は数 $\mu\text{m}$ ほどの大きさのため目には見えないが、風に乗って容易に環境中に拡散する。これは糸状菌の優れた生存戦略の一つであり、子孫をより遠くへ伝播することを可能にしている。また、胞子は耐久性器官でもある。熱や乾燥、UV、酸化ストレスなど多様な環境要因に対して比較的耐性が高く、発芽に適した環境（温度、湿度、栄養、etc.）に遭遇する確率を高めていると言える。

糸状菌胞子が実生活の上で問題となるケースとしては、病原菌の胞子が空気中から肺中に着床して感染を引き起こすケースが挙げられる。農業現場では、土壌に残存した植物病原菌の胞子が越冬して次年度にも被害をもたらすことがある。その一方で、清酒、味噌、醤油などの醸造産業においては麹菌の胞子耐久性が活用されている。各種醸造過程は、蒸した原料（米、大豆など）に麹菌胞子（種麹）をまぶして植えることから始まり、目的に合った種麹を仕入れて使用している。仕入れた胞子の耐久性が高いほど発芽率が良くなり、結果として醸造工程の短縮や胞子仕入れ量の抑制につながる。

自然界に存在する胞子の形や大きさは種によってさまざまだが、胞子の耐久性を規定している要因は何だろうか？ まずひとつには、胞子外殻の構造的な強度が挙げられる。そして、胞子内部に蓄積される物質も非常に重要な役割を果たしている。胞子内部にはマンニトールやトレハロースなどの適合溶質として働く糖質が貯蔵されており、これらの糖質がストレス耐性向上に寄与していることが遺伝子破壊株の解析などで示された<sup>1)</sup>。醸造で用いられる *Aspergillus oryzae* やクエン酸生産に利用される *Aspergillus niger* の胞子にはマンニトール、糸状菌研究のモデル生物 *Aspergillus nidulans* の胞子にはトレハロースが優先的に蓄積されている。さらに、これらの糖質は発芽の際に栄養源として利用される点でも重要である。この他に、胞子内部には抗酸化機能を持つカタラーゼも蓄積されている。これは、細胞外環境および細胞内の酸化ストレスに対処するため、胞子内にあらかじめ備えられていると考えられる。

近年、ゲノム情報を基にした遺伝子機能研究が隆盛となり、胞子耐久性の謎を解き明かすためにいくつかの新たなアプローチがとられている。その一つとして、ゲノムワイドな解析手法（トランスクリプトーム解析、プロ

テオーム解析）により、胞子内部に存在する mRNA や胞子全体から抽出されたタンパク質が網羅的に同定された<sup>2)</sup>。これらの解析からは、カタラーゼ以外にも活性酸素種の除去に関わる多くの抗酸化物質が胞子に存在することが示された。また違う視点から、どのようなメカニズムが働いてカタラーゼなどのストレス耐性付与物質が胞子内に蓄積されるか、解析が進められている。胞子特異的カタラーゼは *catA* 遺伝子にコードされているが、その発現制御には AtfA および AtfB という CREB 型転写因子が関与していることを坂本らが *A. oryzae* で示した<sup>3)</sup>。これらの転写因子の遺伝子破壊株では胞子のストレス耐性能が低下している。酵母におけるシグナル伝達研究の成果から推測すると、この両転写因子は普遍的なシグナル伝達系である HogA MAPK カスケードの下流で機能していると考えられる。多くの糸状菌において、HogA MAPK カスケードに対応する因子がゲノム配列から見いだされ解析されているが、胞子の耐久性に関与するとの報告は、いまのところ *A. nidulans* に限られている<sup>4)</sup>。この *A. nidulans* では、AtfA だけでなく HogA の遺伝子破壊株の胞子においても、胞子形成時に *catA* の遺伝子発現上昇が消失すること、およびストレス耐性が低下することが示されている。また、胞子形成時には HogA MAPK カスケードが活性化している。これらのことを考え合わせると、胞子形成時に HogA MAPK カスケードから AtfA 転写因子へと続くシグナル伝達を介して *catA* が発現上昇し、結果としてストレス耐性が付与されることが考えられる。興味深いのは、AtfA の遺伝子破壊株が形成する胞子数が野生株と変わらないことである。つまり、AtfA は胞子形成には関与せず、耐久性を付与することに特化した機能を持つと見なすことができる。

遺伝資源を包含した胞子をいかに長く生存させ遠くへ伝播させるかは、糸状菌が環境を生き抜く上での重要な作戦である。上記のように、胞子に耐久性が付与される分子メカニズムも明らかになりつつある。今後これらの知識をうまく利用することで、ストレスに強い（長生き）胞子を作製できるようになるかもしれない。これはカビの胞子の場合であるが、長生きするには中身が重要なカギになりそうである。

- 1) Ruijter, G. J. et al.: *Eukaryot. Cell*, **2**, 690 (2003).
- 2) Teutschbein, J. et al.: *J. Proteome Res.*, **9**, 3427 (2010).
- 3) 坂本ら: *Fungal Gent. Biol.*, **46**, 887 (2009).
- 4) Kawasaki, L. et al.: *Mol. Microbiol.*, **45**, 1153 (2002).