

ビールを造る小さな主役

大室 蘭

醸造酒とは、麦、米、果実などの原料を醸造酵母により発酵させて造るお酒のことである。醸造酵母は糖からアルコールを生成する他、香りや味に関わる多くの成分も生成するため、お酒の品質に大きく関わっている。一言で醸造酵母といっても、ビールにはビール酵母、清酒には清酒酵母、ワインにはワイン酵母といったように、それぞれの原料を発酵させるのに適した酵母が用いられている。今回は、世界でもっとも飲用されているお酒であるビールを造るうえで主役となるビール酵母について、その特徴を紹介したい。

ビール酵母はその性質により、大きく上面発酵酵母と下面発酵酵母の2種類に分けられる。上面発酵酵母は *Saccharomyces cerevisiae* に属する酵母で、比較的高温 (20°C 前後)、短期間で発酵させるエールタイプのビール醸造に使用される。発酵後期には、発酵中に発生する炭酸ガスとともに液上層に浮き上がることからその名が付いた。一方、下面発酵酵母は *Saccharomyces pastorianus* に分類される酵母で、低温 (10°C 前後) で比較的時間をかけて発酵させる。今日の日本のビールの多くは下面発酵酵母によって造られるラガータイプのビールである。この下面発酵酵母は、ビール醸造の歴史において当初より使用されていた *Saccharomyces cerevisiae* と、南米パタゴニアの森に生育するブナの葉より発見された *Saccharomyces eubayanus* と呼ばれる酵母が掛け合わせ誕生したと考えられており¹⁾、発酵後期において酵母は凝集し、タンク底に沈殿するという特徴的な性質を持つ。下面発酵酵母の凝集沈降能はビール醸造において大変重要な性質であり、沈殿した酵母はタンク底より回収されて次のビール醸造に繰り返し用いられる。発酵終了時に下面発酵酵母が自然に沈むという性質を利用することで、遠心分離などをせずに酵母回収が可能であり、また繰り返し使うことで培養の手間も省けることから、効率的なビールの醸造が可能となっている。

下面発酵酵母の凝集に関わる遺伝子の一つは *Lg-FLO1* と呼ばれており、研究用として広く使用されている実験室酵母 (*S. cerevisiae*) の凝集に関与する *FLO1* 遺伝子と似た配列を持っている。両遺伝子がコードする *Lg-Flo1* および *Flo1* タンパク質は酵母細胞表層に存在し、別の酵母細胞表層のマンノースと結合することで凝集が起これると考えられている²⁾。 *Lg-Flo1* と *Flo1* タンパク質の違いは、グルコースやマルトースを認識するかど

うかにある³⁾。 *Flo1* タンパク質とは異なり、 *Lg-Flo1* タンパク質はこれらの糖を認識、結合する。そのため、これらの糖存在下ではマンノースとの結合が阻害されて酵母同士の凝集も阻害される。ビールのもとである麦汁中にはグルコースやマルトースが多く含まれており、それらが存在する発酵初期では *Lg-Flo1* タンパク質を発現する下面発酵酵母は凝集阻害により拡散して活発に発酵し、それらがなくなると凝集してタンク底に沈む。一方、実験室酵母のように *Flo1* タンパク質を発現する酵母は麦汁中に添加した場合でも凝集したまま酵母が拡散しないため、活発な発酵を進めることができない。上述したようなビール醸造にとって都合の良い性質を獲得している下面発酵酵母が、長い歴史を経て自然に選ばれてきたことは非常に興味深い。

一方近年では、狙った品質のビールを造りうるビール酵母を新たに生み出そうという試みもある。たとえば、通常よりも高いアルコール濃度や醸造期間の短縮を目指して、細胞周期関連遺伝子の組換えにより発酵速度の向上したビール酵母を取得した例がある⁴⁾。この研究は、清酒酵母の重要な特性の一つである高発酵性の一因が、細胞周期進行に関わる *Rim15* タンパク質の機能欠損や *Cln3* タンパク質の高発現による⁵⁾ という知見をビール酵母へ適用したものである。今後このような基礎的研究に基づきビール酵母の性質が明らかにされ、実用可能で特徴ある性質を持ったビール酵母を積極的に選抜・育種していくことが期待される。

ビール醸造の歴史は、造りたいお酒に合う特徴を持つ醸造酵母の選抜の歴史でもある。これからはその特徴を解明しコントロールすることで、新機能を持つビール酵母の選抜・育種や狙った品質を安定的かつ効率的に醸造する技術の開発が加速する時代が来ると予想される。今後もこのビールを造る小さな主役たちの研究が進み、ビール醸造の新たな歴史が築かれていくことを期待したい。

- 1) Diego, L. et al.: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **108**, 14539 (2011).
- 2) Watari, J. et al.: *Yeast*, **10**, 211 (1994).
- 3) Kobayashi, N. et al.: *J. Bacteriol.*, **180**, 6503 (1998).
- 4) Oomuro, M. et al.: *J. Biosci. Bioeng. Biochem.*, DOI: 10.1016/j.jbiosc.2016.04.007 (2016).
- 5) 渡辺大輔: *生物工学*, **91**, 2 (2013).