

## 醸造酵母を想う

中沢 伸重

公開講座や高校での出前講義では、清酒、ビール、ワインおよびパン製造に使われている酵母、いわゆる醸造酵母の特性についての話をするにしている。清酒製造には清酒酵母が、ビール製造にはビール酵母が用いられるように、それぞれの生産目的に適した醸造酵母が使われている。「清酒酵母でビールはできないのか」と質問されることがあるが、「清酒酵母でもビールのようなものはできるが、一般的に言われるビールにはならないだろう」と答えている。餅は餅屋である。

醸造酵母は出芽酵母と呼ばれ、この酵母には動物のオス、メスに相当する一倍体のa型細胞と $\alpha$ 型細胞が存在する。両細胞が出会うと融合して、a型でも $\alpha$ 型でもない二倍体のa/ $\alpha$ 型細胞が誕生する。この過程を利用して、新しい性質を持った酵母を作ることができる。たとえば、良い香りを醸し出す酵母のa型細胞と良い味を醸し出す酵母の $\alpha$ 型細胞が出会えば、良い香りと味を醸し出す酵母が生み出される可能性がある。いわゆる交雑育種である。栄養が豊富な条件では、a型細胞と $\alpha$ 型細胞が出会ってできた二倍体のa/ $\alpha$ 型細胞は、二倍体細胞としてどんどん増殖する。栄養源が枯渇した環境下では、二倍体のa/ $\alpha$ 型細胞は子孫を残す、すなわちa型あるいは $\alpha$ 型を示す胞子を二つずつ形成する。減数分裂が始まる胞子形成では遺伝子のかきまぜが起こるので、多様な性質を持つ子孫が得られる。このようにa/ $\alpha$ 型細胞において栄養が枯渇した時にだけ、胞子が形成される。

1988年に出芽酵母の胞子形成の鍵となる遺伝子*IME1* (inducer of meiosis) が見いだされた<sup>1)</sup>。a/ $\alpha$ 型細胞であるというシグナルと栄養が枯渇したというシグナルを受けて*IME1* 遺伝子の転写が誘導され、減数分裂が開始される。ほとんどの醸造酵母は栄養源が枯渇した環境下でもあまり胞子を形成しない。そこで、*IME1* 遺伝子を清酒酵母に導入し、多量に発現させることで胞子形成の回復が試みられたが、期待したほどの結果は得られなかった<sup>2)</sup>。

栄養が豊富な環境下では、細胞はG1期と呼ばれるスタート地点から出発する細胞周期を経て、二つの細胞に分裂し増殖する。一方、栄養源が枯渇した環境下では、細胞周期のスタート地点であるG1期で停止し、減数分裂を開始して胞子を形成する。2002年には栄養が豊富

な環境下では、スタート地点であるG1期を通過させるために必要なCln3タンパク質が*IME1* 遺伝子の転写を抑えていることが明らかにされた<sup>3)</sup>。一方、栄養源が枯渇した環境下ではCln3タンパク質が消失するため、*IME1* 遺伝子の転写が誘導され、減数分裂が開始される。このように細胞増殖と胞子形成は拮抗した関係にある。それでは清酒酵母の*CLN3* 遺伝子を破壊すれば、胞子を形成するのだろうか。清酒酵母の*CLN3* 遺伝子を破壊した酵母を作り、栄養源が枯渇した環境下に置いたところ、胞子の形成が観察された<sup>4)</sup>。この結果は、栄養源が枯渇した環境下にもかかわらず、清酒酵母は胞子の形成ではなく、増殖することを選択していると想像させる。

酵母細胞にとって栄養源が枯渇した環境下は危機的状況である。それにもかかわらず胞子を形成することなく、本当に増殖を続けているのだろうか。清酒酵母の*CLN3* 遺伝子は発酵期間を通じて発現し、*CLN3* 遺伝子を破壊すると発酵力が低下することが分かっている<sup>5)</sup>。このことから、*CLN3* 遺伝子が清酒酵母の発酵力に重要な役割を果たしており、栄養源が次第に欠乏する発酵後期でも増殖を選択して、発酵を継続していると推測される。効率よく発酵させたい人類にとって、清酒酵母のこのような特徴は大変都合がよい。

一般に実験に用いられる酵母、いわゆる実験室酵母と比べると、清酒酵母を含む醸造酵母は抜群の増殖力と発酵力を有している。メソポタミア文明の発祥の地、現在のイラクで、紀元前3500年ごろにはビールが製造されていたことを示す粘土板が出土している。発酵技術が構築される過程で、発酵に適した酵母を人類は時間をかけて自然に選抜してきたと言える。このように人類と醸造酵母との付き合いには長い歴史がある。清酒、ビール、ワインやパンを口にして香りや味を楽しむとともに、時にはこの長い歴史に思いを馳せてはどうだろうか。

- 1) Kassir, Y. et al.: *Cell*, **52**, 853 (1988).
- 2) Nakazawa, N. et al.: *J. Ferment. Bioeng.*, **73**, 265 (1992).
- 3) Purnapatre, K. et al.: *Gene Cell*, **7**, 675 (2002).
- 4) Nakazawa, N. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, **110**, 1 (2010).
- 5) Watanabe, D. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, **112**, 577 (2011).