

# なぜ清酒酵母はアルコール発酵力が高いのか？

醸造技術基盤研究部門 渡辺 大輔

## 1. はじめに

清酒酵母とは、清酒醸造に適した酵母菌株群の総称で、分類学上はパン酵母などと同じ出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* (サッカロマイセス・セレビシエ) に属していますが、他の出芽酵母菌株にはない優れた醸造特性を有しています。このような清酒酵母の特徴を生み出す原因を遺伝子レベルで解明することにより、「清酒酵母らしさ」とは何か、という根源的な問いに正確に答えられるようになることが期待されます。今回は、清酒酵母の特筆すべき性質の一つである「高いアルコール発酵力」にスポットを当てた最新の研究成果をご紹介します。

## 2. 清酒酵母はストレスに弱いから発酵力が高い

清酒酵母が清酒もろみ中において高いアルコール発酵力を示す原因については諸説ありますが、その中でも、「清酒酵母は他の酵母よりもストレスに強いから、酵母にとって過酷なストレス環境である清酒もろみにおいても、アルコールを作り続けることができる」という説が広く知られています。この通説は果たして本当なののでしょうか？

そこで当研究所では、発酵力の高い清酒酵母と発酵力の低い実験室酵母（バイオ研究に一般的に用いられる出芽酵母）を用いて、高温・高エタノールなどのストレスの存在下における生存率を比較しました。その結果、意外なことに、清酒酵母は実験室酵母よりもはるかに死滅しやすいたことが明らかになりました（図1）。清酒酵母とは、実はストレスに弱い（ストレスに対して適切に応答できない）酵母だったのです。「ストレスに強い酵母よりも弱い酵母の方が高い発酵力を示す」とは、にわかには信じがたい結果でした。ところが、この仮説を裏付けるように、清酒酵母のアルコール耐性株をスクリーニングすると、新たに得られた株では、発酵力が改善するどころか、逆に発酵速度が低下する場合もあることを見出しました。以上の結果をまとめると、「酵母のストレス応答の中には、発酵力向上のために必要どころか、むしろ不要なものもある」という結論が得られました。つまり、清酒酵母とは、こうした不要なストレス応答を抑制することで高い発酵力を獲得した酵母なのではないかと推測されます。本来、このような性質は酵母自身が厳しい自然界で生き延びるためには不利なはずですが、高いアルコール発酵力を求める人間の手によって酵母菌株の選抜が繰り返された結果、自らの生存を犠牲にしてまで人間のためにアルコールを生産し続けるという、いわば「働き者」（酵母の視点から見ると「働きすぎ」）の清酒酵母が誕生するに至ったのでしょう。

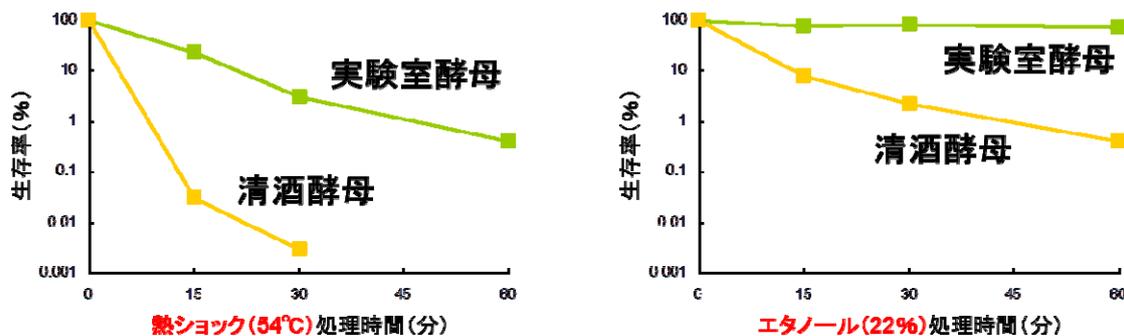


図1 清酒酵母 (K701) と実験室酵母 (X2180) の定常期細胞を用いたストレス耐性の比較

### 3. 清酒酵母の高い発酵力を生み出した *RIM15* 遺伝子機能欠失変異

次に、清酒酵母がストレスに弱い原因を遺伝子レベルで理解するために、発酵中における清酒酵母と実験室酵母の遺伝子発現パターンを解析したところ、清酒酵母では、出芽酵母のストレス応答において中心的な役割を果たす転写因子 Msn2p 及び Msn4p (Msn2/4p) を介した遺伝子発現が抑制されていることが明らかになりました。また、代表的な清酒酵母菌株として知られるきょうかい7号 (K7) の全ゲノム解析結果 (Sake Yeast Genome Database にて公開中 ⇒ <http://nrifb1.nrifb.go.jp/SYGD/>) に基づいてストレス応答関連遺伝子の解析を行ったところ、K7 において、この Msn4p 自身に加え、Msn2/4p の上流で働くことが知られている Rim15p プロテインキナーゼをコードする遺伝子における機能欠失変異が発見されました。このように、清酒酵母ではこの Rim15p と Msn2/4p を介したストレス応答経路が欠損していることが示されました。なお、これらの変異はいずれも、昭和期以降に単離された清酒酵母にのみ特異的に分布しており、ワイン酵母やビール酵母、実験室酵母などには存在しないことから、「清酒酵母らしさ」と密接に関連していることが予想されます。

では、この Rim15p と Msn2/4p を介したストレス応答は、先ほど述べた「発酵力向上のために不要なストレス応答」に該当するでしょうか。そのことを調べるために、実験室酵母の *RIM15* 及び *MSN2/4* 遺伝子の変異株を用いて清酒小仕込試験を行ったところ、これらの遺伝子の機能欠損により発酵力が改善することを見出しました。特に、*RIM15* 遺伝子の機能欠損は顕著な効果を示し、親株では 11% 程度のアルコール度数に達すると清酒もろみでの発酵がほぼ停止するのに対し、遺伝子破壊株では約 17% まで発酵が持続しました (図 2)。このようにわずか 1 遺伝子の機能欠損によって酵母の発酵力が大きく改善する例は現在までに報告がないことから、この *RIM15* 遺伝子における機能欠失変異が、清酒酵母の高発酵性を生み出した主要な要因だろうと結論づけることができました。

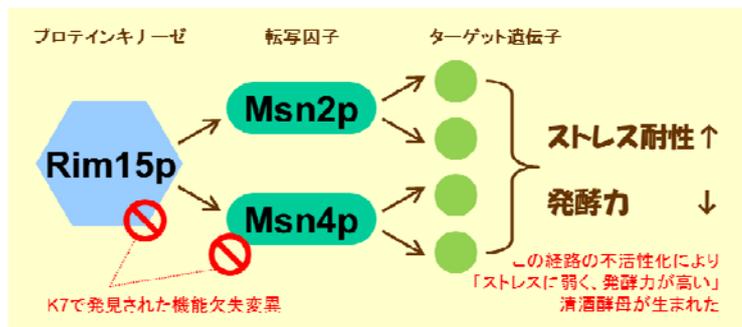
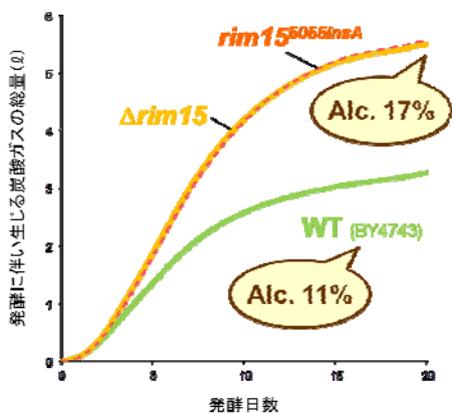


図 2 発酵力向上のために不要なストレス応答経路

### 4. おわりに

本研究により解明された清酒酵母の高い発酵力を生み出すメカニズムは、清酒醸造そのものを根幹から正確に理解する上で重要な技術的基盤となるだけでなく、バイオエタノール製造用酵母の発酵力改善など、他の発酵・醸造産業にも広く応用されることが期待されます。今後は、アルコール発酵にとどまらず、発酵によって生み出される香りや味の成分に寄与する「清酒酵母らしさ」にも着目してさらに研究を進めていきたいと考えています。

### 5. 参考文献

- 1) 渡辺, 化学と生物, 50, p723-729 (2012)
- 2) 渡辺, 生物工学会誌, 91, p2-9 (2013)