



Sake yeast strains have difficulty in entering a quiescent state after cell growth cessation

清酒酵母は細胞増殖停止後も休止状態になりにくい

(JBB, Vol. 112, No. 1, 44-48, 2011)

Henryk Urbanczyk^{1a}・野口 千笑^{1b}・呉 洪^{1c}・
渡辺 大輔¹・赤尾 健¹・高木 博史²・下飯 仁^{1*}

日本の伝統的醸造酒である清酒（日本酒）の特徴の一つは原酒で20%以上にも達する高いアルコール濃度である。この原因として、(1)糖化と発酵が同一容器内で同時進行するため、浸透圧を上げることなく高濃度の仕込ができること、(2)原料として用いる麴が嫌気条件での酵母の増殖と発酵を促進すること、(3)清酒酵母自体が他の酵母に比べて高い発酵力を持つこと、が挙げられる。

実際にさまざまな酵母菌株を用いて清酒醸造試験を行ってみると、現在主流を占めているきょうかい7号などの清酒酵母は発酵速度が速く、最終的にも高濃度のアルコールを生産する。酵母が生産したアルコールは強い化学ストレス物質であり、酵母の増殖やアルコール発酵を阻害する。したがって、清酒醸造にかかわる研究者のほとんどが、「清酒酵母はストレスに強いので、発酵力が強い」と考えており、そのように書いてある教科書も多かった。

本研究の発端は、第一著者であるヘンリク・ウルバンチク博士が、著者の1人である高木博史教授が研究代表者を務め、筆者が研究分担者である生研センター基礎研究推進事業「酵母の発酵環境ストレス適応機構の解明と新規な発酵生産系開発への基盤研究」にポストクとして参加したことに始まる。博士は、清酒酵母のストレス応答を遺伝子レベルで解析することとなり、まずすでに取得済みであった清酒酵母と実験室酵母の遺伝子発現プロフィールデータの解析に取り組んだ。

その結果、どうも清酒酵母は増殖停止後の定常期の遺伝子発現が異常だということに気がついた。そこで、博士が定常期の細胞の生理学的マーカーとして利用したのは、当時の最新文献で紹介されていた酵母細胞の浮遊密度であった。酵母は定常期に入ると細胞の浮遊密度が増加し、細胞が重くなるというのである。早速、濃度勾配遠心で酵母細胞の浮遊密度を測定してみると、実験室酵母は確かに定常期に入ると浮遊密度が高くなる（遠心で下に沈む）が、清酒酵母の浮遊密度はほとんど変化しな

かったのである。一般に増殖中の細胞はストレス耐性が低い、定常期に入ると高いストレス耐性を獲得し、長期間の生存に適した耐久型細胞となる。定常期になっても浮遊密度が変化しなかったとすると、ストレス耐性はどうかという疑問が湧く。実験の結果、清酒酵母は定常期でもストレス耐性が低いこと、ストレス耐性と相関の高い細胞壁溶解酵素に対する感受性も高いことが明らかとなった。「清酒酵母はストレスに弱いにもかかわらず、発酵力が強い」のである。

その後、当時進行していた清酒酵母のゲノム解析の結果を利用して、清酒酵母のストレス応答に関する遺伝子を詳しく調べた結果、清酒酵母では定常期への移行にかかわる複数の遺伝子が変異のために機能していないことがわかった。さらに、実験室酵母でこれらの遺伝子を破壊すると、ストレス耐性は低下したが、アルコール発酵力は顕著に増大したのである。これらの結果については、本誌1号2ページの渡辺大輔博士の生物工学会奨励賞(江田賞)受賞の紹介記事に詳しい。

清酒酵母は、「ストレスに強いから、発酵力が強い」のではなく、「ストレスに弱いから、発酵力が強い」のである。まさに、アルコール発酵におけるパラダイムの転換である。しかし実は、多くの研究者が「清酒酵母はストレス耐性が高い」というドグマに疑問を感じており、「何かおかしい」と思いながらも合理的説明ができないのでうやむやになっていたようである。筆者らの研究成果を発表後、意外と多くの方から「これで腑に落ちた」との声をかけていただいた。もちろん、酵母のアルコール発酵にとってストレス耐性がまったく不要であるのではなく、要はバランスの問題である。酵母菌体を繰り返し利用する場合などは高いストレス耐性が求められることになろう。しかし、ストレス耐性がアルコール発酵自体にマイナスに働くことがわかったことの意義は大きい。ストレス耐性のレベルをうまく調節することが発酵力最適化のキーになるのではないかと考えられる。

* 著者紹介 ¹ (独) 酒類総合研究所 (研究企画知財部門長) E-mail: simoi@nrib.go.jp

² 奈良先端科学技術大学院大学, ^a 現, 宮崎大学, ^b 現, 広島大学, ^c 現, 新興科技 (中国)