

# 清酒酵母の魅力 -栄養特性と醸造特性-

醸造技術応用研究部門長 家藤 治幸

## 1. はじめに

醸造技術応用研究部門では、研究所の重点化3分野のひとつである環境保全研究を担う部門として、環境汚染防止や資源のリサイクル・有効利用の観点から、酵母や麹菌などの生物機能を利用した環境保全技術の開発や、酒類製造工程で発生する醸造副産物の有効利用に関する研究を行っている。また、酵素の機能及び利用に関する研究開発を行っている。

そのなかで、副産物の有効利用の観点から、清酒酵母の栄養特性および醸造特性に関する研究を行っているので、本講演ではこの話題に絞って紹介する。

## 2. 醸造酵母に求められる特性

各種醸造に使用される酵母は長年醸造現場においてその醸造環境に耐え、また優れた酒質を生産する酵母として選りすぐられてきたものであり、それぞれ醸造工程上欠かせない特性を有している（表）。清酒酵母では、もろみで20%に達するまでのアルコール生産を行うことが可能であり、10℃以下という通常の実験室酵母では増殖が困難な低温で増殖することが可能である。またワイン酵母では亜硫酸耐性、ビール酵母では凝集性、マルトースの高い資化性などの特性が重要視される。これら醸造酵母の特性解明は醸造産業上重要な研究課題であり、酒総研においても精力的に研究を行っているところである。

表 各種醸造酒とその醸造酵母に必要とされる特性

	発酵様式	酵母の特性
清酒	並行複発酵	乳酸酸性耐性 低温（10℃以下）増殖性 高アルコール耐性、発酵性
ワイン	単発酵	亜硫酸耐性
ビール	単行複発酵	凝集性 マルトース発酵性

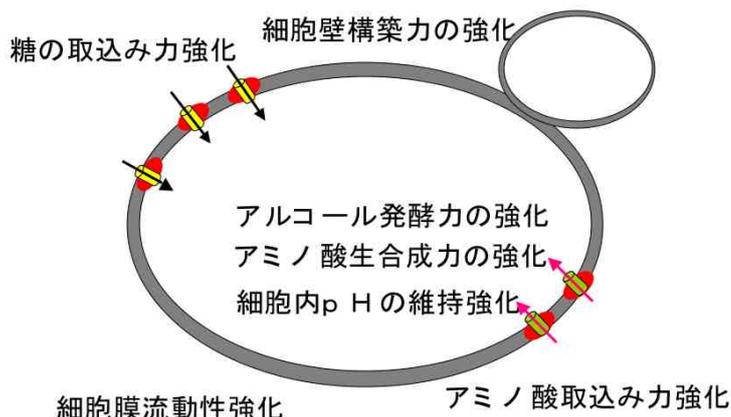
## 3. 清酒酵母のアルコール耐性機構の解明

井上ら（日本盛）と我々は清酒酵母のアルコール耐性機構について調べる目的で、アルコールの耐性が弱くなった変異株を取得し、その原因について調べた。結果、この変異はエルゴステロールの合成経路に欠陥を生じたものであることを突き止め、細胞膜の流動性、機能維持に係わるエルゴステロールが、酵母のエタノール耐性に重要な因子の一つであることを明らかとした。

## 4. 実験室酵母との遺伝子発現量比較による清酒酵母の特徴

清酒酵母の特性解析のため、清酒酵母（協会9号）と実験室酵母(X-2180-1A)の、振盪、静置培養下でのゲノムの遺伝子発現プロファイルDNAマイクロアレイにて調べた。実験室酵母と比較し、清酒酵母(K-9)において炭素代謝に関与する *HXT*, *ATP*, *COX* 遺伝子群、およびエルゴステロール合成系の *ERG* 遺伝子、チアミン合成系の *THI* 遺伝子群が高発現していた。

図1 清酒酵母の特性(実験室酵母との比較による)



一方、清酒酵母(K-9)において *CUP1*、*PHO* 遺伝子群の発現が低く、これは清酒酵母の低い銅耐性や低い酸性フォスファターゼ活性の特性を裏付けるものであった。

その他も含め、全遺伝子発現比較により、図1のような、糖取り込み、アミノ酸取り込み、細胞壁構築、細胞膜流動性、アミノ酸合成、細胞内 pH 維持、アルコール発酵力など、醸造酵母として重要な機能が強化されていることが示された。

## 5. 清酒酵母の栄養特性

S-アデノシルメチオニンは、アルコール性肝炎の顕著な治癒効果やうつ病の改善効果などで注目されている生理活性物質である。あらゆる微生物の中で酵母が、その中でも特に清酒酵母が、このS-アデノシルメチオニンを高生産することが知られている。図2は、各種酵母でのS-アデノシルメチオニン蓄積量を調べたものである。

次に我々は、清酒もろみにおいて、酵母中のS-アデノシルメチオニンの蓄積量を調べた。高泡までの酵母増殖期にはその量はごく少ないものの、酵母の増殖が停止した後、アルコール発酵が進行していくに従って酵母中のS-アデノシルメチオニン量が増大、蓄積することが示された。

清酒造りにおいては、高泡以降増殖が停止した酵母により20%近くにまでアルコール発酵が進行するが、その過程で必然的にATPが生産され続ける。増殖を停止した酵母の中で、過剰(?)に生産される高エネルギー物質ATPを酵母がいかにか処理しているか？清酒醸造における不思議の一つであった。

S-アデノシルメチオニンはATPとメチオニンより合成される。酵母は、増殖を停止した状態で生産される過剰なATPを、S-アデノシルメチオニンに変換し、液胞に蓄積することでATPの処理を行っているのではないかと。我々はもろみでの蓄積挙動などをもとに、現在そのような仮説を立てているところである。

なお、菌体内に蓄積したS-アデノシルメチオニンは、イオウや窒素の欠乏した状態で実際に再利用され、増殖に用いられることを我々は明らかとした。

酵母のアルコール耐性にエルゴステロールが重要な役割をしていることを先に示したが、エルゴステロールはビタミンDの前駆物質であり栄養物質である。このエルゴステロールの生合成にはS-アデノシルメチオニンが必要であり、清酒酵母はこの貴重な生理活性物質であるS-アデノシルメチオニンを多量に生産蓄積する。

酵母のアルコール発酵において、ピルビン酸からアセトアルデヒド、エタノールへの変換のキーとなっているのがピルビン酸脱炭酸酵素である。その酵素を働かすためには補酵素であるチアミン(ビタミンB1)が必須である。モデルもろみ液の中で、清酒酵母においてこのチアミンを合成するための酵素遺伝子群が最も多く発現していることを、我々はEST解析(全遺伝子の中での絶対的な発現量を比較解析する方法)で見出した。

このように清酒酵母のエタノール耐性や高いアルコール生産力という清酒酵母の醸造特性の裏を支え

図2 各種酵母のSAM蓄積量

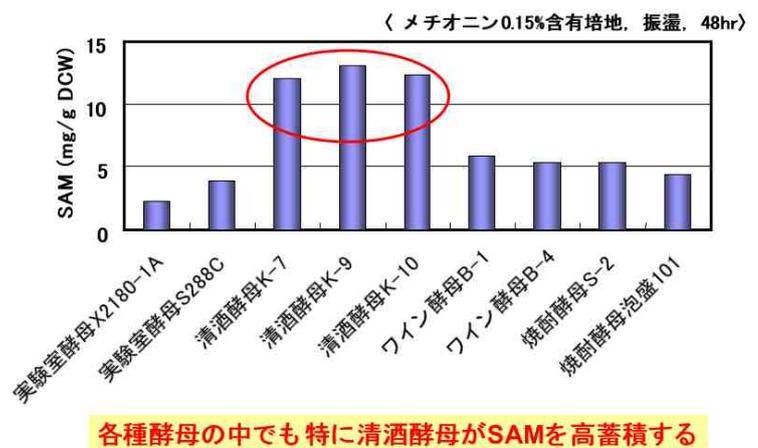
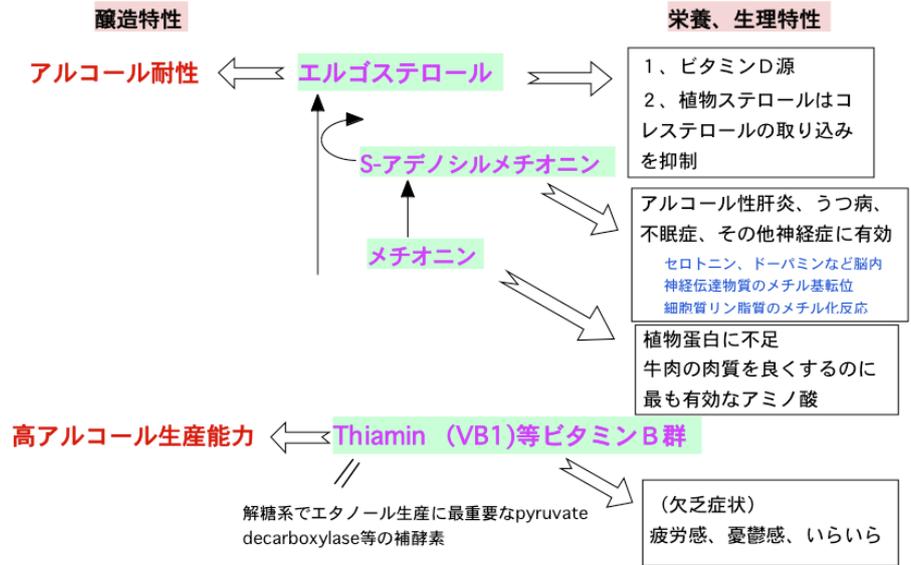


図3 醸造酵母の醸造特性と栄養特性

るものとして、エルゴステロールやS-アデノシルメチオニン、そしてチアミンなど各種の栄養特性物質が存在しており、清酒酵母の栄養特性と醸造特性は表裏一体の関係にあると考えることも可能である。



最近我々は清酒酵母において葉酸が実験酵母より10倍以上も多く生産されていることを明らかとした。葉酸の欠乏は心臓病、神経管欠損、精神分裂病、がんなどいくつかの人の病気に関係する。葉酸は細胞増殖全般に必要とされることより、葉酸の拮抗剤(antagonists)は抗菌薬およびガン化学療法薬として重要な薬ともなっている。葉酸はS-アデノシルメチオニンのもととなるメチオニンおよびアデニンなどの合成に必須の物質である。清酒酵母において葉酸が多いことは、その酵母の特性に深く関わっているものと考えられ、その機構や役割について現在調べている。

我々は副産物の有効利用という観点から、「栄養特性」という特殊な視点で清酒酵母を眺め、その切り口で研究しているのであるが、その成果は、酒粕など副産物の有効利用、高付加価値化に広く資するとともに、清酒酵母の醸造特性の解明につながるもの、と考えている。