

独立行政法人酒類総合研究所 理事長  
平松 順一

人類と酵母の歴史は、人類が酒類を手にした時代から始まりました。それ以降、特に近代科学の進歩により解析が進んだ現在もなお、酵母に関して解明しきれない機能や特性に関する課題が残されています。今回は、特に清酒酵母の機能や特性に関する研究成果を二つご紹介します。

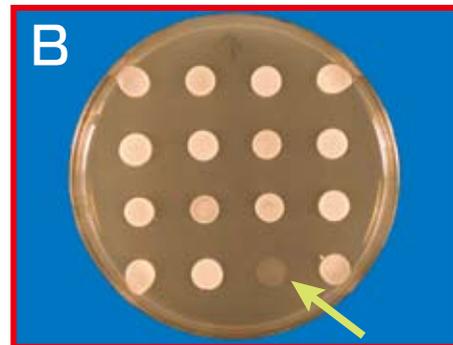
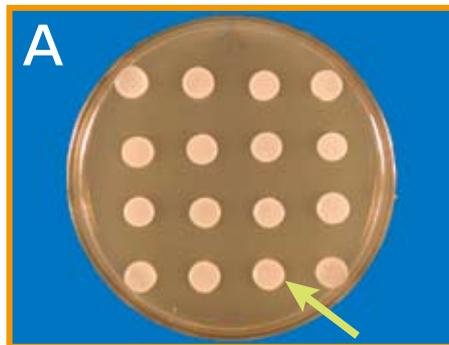


一つは、清酒酵母は清酒もろみでアルコール度数20%に達するまでの高濃度のアルコール生産を行うことができますが、その性質を深く調べることで、清酒酵母の意外な一面が明らかになったことです。清酒酵母の高アルコール発酵力の仕組みを解明し、幅広く活用することにより、新しいタイプの酒類や製品開発に繋がっていくと思います。

もう一つは、清酒酵母の醸造特性を研究する中で、清酒酵母が人間にとって欠かせない栄養素を高蓄積することが分かってきたことです。これらの物質の蓄積メカニズムを調べることは、新たな有用醸造酵母の育種に貢献するものです。

これらの研究成果が、人類がより深く酵母を知り、より適切に酵母を活用するための重要な役割を果たすことを期待しています。

これらの研究成果が、人類がより深く酵母を知り、より適切に酵母を活用するための重要な役割を果たすことを期待しています。

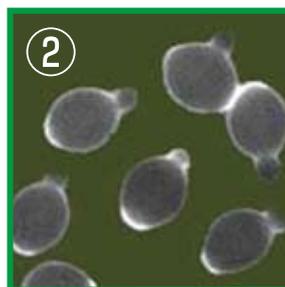


### 酵母の生育試験

一般的な酵母の実験方法で、様々な酵母菌株を異なる培地で増殖させ、培地中の物質の資化や薬剤への感受性を試験します。上の例では、16の酵母菌株を成分の異なる培地AとBの同位置に植え付けて増殖状態を見比べます。矢印の位置の酵母菌株は、Aの培地では増殖できてもBの培地では増殖できないことが分かります。

## 特集 清酒酵母の機能と特性

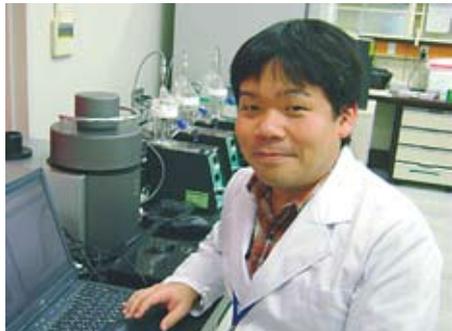
酒類醸造に使用される酵母は長年醸造現場でその環境条件に耐え、優れた酒質を産み出す酵母として選りすぐられたもので、これらの特性解明は醸造産業上重要な課題です。遺伝子レベルでの解析は始まったばかりですが、僅か数ミクロンの単細胞微生物である酵母に驚くほど高度で緻密な機能が凝縮していることが分かってきました。当所はゲノム解析による遺伝的性質の解析をはじめ各種方法により、精力的にこの研究を行っています。



- ① もろみ中の協会7号酵母:透過型電子顕微鏡による写真(左上)  
実際にもろみで発酵している酵母細胞内部の様子です。
- ② 一般的な合成培地で増殖させた協会7号酵母:蛍光顕微鏡による写真(中央)  
酵母の細胞壁を構成しているマンナンという多糖質物質を蛍光試薬で染色しました。
- ③ 清酒小仕込試験の様子(右上)  
当所で行っている清酒の小仕込試験の様子です。今回紹介した研究も、このような仕込を行って実際に発酵している酵母の特性等を調べています。

## 高濃度のアルコールを造る清酒酵母の真の姿とは？

醸造技術基盤研究部門 研究員 渡辺 大輔 (わたなべ だいすけ)



発酵という現象は古代から知られているのに、酵母によるその調節メカニズムには現代でも多くの謎が残されています。研究すればするほど奥深さを感じます。

## 適材適所な酵母たち

酵母は、酒類醸造、パンなどの食品製造、バイオ燃料の工業生産など様々な発酵産業に用いられる大きさわずか数ミクロンの球形の単細胞生物です。見た目には違いが分かりませんが、用途によってさらに細かく分類されます。例えば清酒酵母は、米、麴、水からなる清酒もろみでの発酵に適しており、アルコールや清酒の香り・味わいに関わる成分を生産する能力にすぐれています。同様に、ワイン酵母はブドウ果汁の発酵に、パン酵母はパン生地の発酵に適した能力をもっています。

今回は、清酒酵母が20%を超える高濃度のアルコール生産を行うことができる理由について調べてみました。

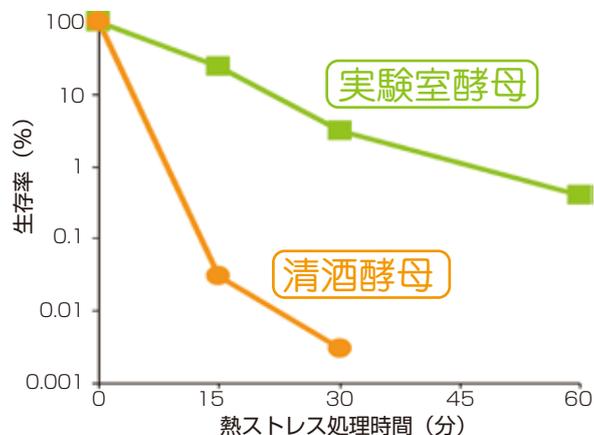


図1 清酒酵母と実験室酵母の熱ストレス耐性の違い

清酒酵母（オレンジ）と実験室酵母（グリーン）にそれぞれ熱ストレス（54℃）を与え、死滅率の時間経過を調べました。清酒酵母の方がより短時間で死滅しており、ストレス耐性が低いことが分かりました。

## 清酒酵母はストレスに弱い

これを調べるために、清酒酵母と他の酵母の違いについて詳細に研究したところ、発酵中の清酒酵母は、環境ストレス（温度変化や栄養欠乏など、生物の増殖や生存に適さない物質や状態）に対する耐性が著しく低いことが明らかになりました。例えば、発酵中の清酒もろみから取り出した酵母に熱ストレスを与えてみると、清酒酵母以外の酵母では、多くの酵母が生き残ることができましたが、清酒酵母は同じストレスで簡単に死滅しました（図1）。

これまでは「アルコールをたくさん造る清酒酵母はアルコール耐性が強いなど何か特殊なパワーを秘めているに違いない」と広く信じられていました。ところが、フタを開けてみると、「実は打たれ弱い（ストレスに弱い）清酒酵母」という全く予想しなかった姿が浮かび上がってきたのです。

## 「働き者」の清酒酵母

この結果にはわかには信じがたいものでした。そこで、DNAマイクロアレイを用いたトランスクリプトーム解析（特定の条件下で発現する多数の遺伝子情報を解析する手法）により、清酒酵母がストレスに弱い原因を探り出し、清酒酵母のストレス対応遺伝子の不活性化（遺伝子の発現が抑制される状態）が原因であることを発見しました。これと同じ状態を清酒酵母以外の酵母でも再現したところ、ストレス耐性が低くかつアルコール生産力の高い酵

母を作り出すことに成功しました（図2）。この結果から、酵母のストレス耐性を弱めるとアルコール発酵力が高くなる事例を確認できました。

そもそも酵母のストレス応答とは、自らを護るためのメカニズムとして知られています。酵母は、周りの環境が良いときには増殖して仲間を増やすことにエネルギーを使います。環境が増殖に適さなくなると、自分自身が生き延びるためにモデルチェンジを行い、休眠してまたいつか環境が良くなるまでじっと耐え忍ぶのです。

清酒酵母におけるこのようなストレス対応遺伝子の不活性化は、酵母自身が様々な環境で生き残るためのメカニズムをあえて封印し、清酒もろみという環境だけに特化して高濃度のアルコールを造り続けるように進化したものと言えます。言わば「一途で働き者な職人」のような存在であると言えるでしょう。おいしい清酒を造り出すために、清酒酵母が自分を犠牲にして休むことなく頑張っている…そんなマイクロの世界のことを考えていると、清酒が大変ありがたい飲み物に思えてきませんか？

このようなアルコール発酵力とストレス応答の関係に関する新たな知見は、清酒醸造におけるアルコール生産制御による酒質の多様化や清酒酵母の特性を生かした高発酵性酵母の育種に役立つことを始め、様々な発酵産業における新技術として貢献できると期待しています。

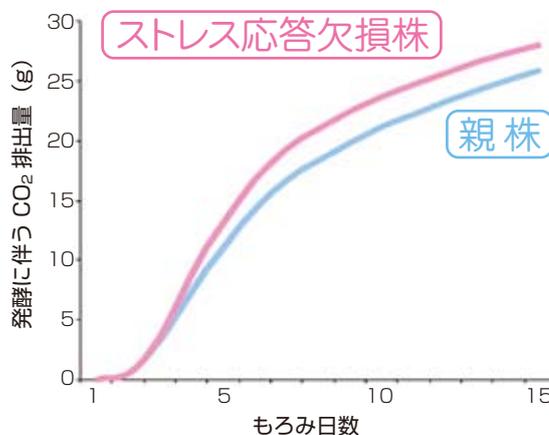
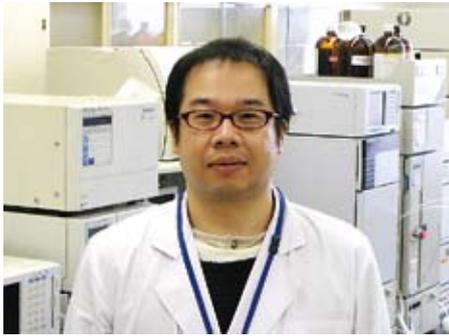


図2 ストレス耐性を弱めた実験室酵母のアルコール発酵力の向上

元々発酵力が低い実験室酵母の親株（ブルー）と、それに清酒酵母と同様なストレス応答遺伝子の不活性化を導入した株（ピンク）について、清酒小仕込試験におけるアルコール発酵力を調べました。ストレスに弱い酵母に変えることでアルコール発酵力が高くなることが分かりました。

## 清酒酵母が持つ機能性パワー!!

醸造技術応用研究部門 研究員 金井 宗良 (かない むねよし)



清酒醸造という日本独自の伝統・文化の中で、長い年月を経て育まれてきた清酒酵母の能力の高さ・多様性を、日本そして世界中に発信したいです。

## 清酒酵母の奥深さと魅力

清酒酵母は、産業的に使用されている他の酵母に比べ、アルコールを高生産することや低温で増殖が良好なこと、そして清酒の香り成分となるエステル等を高生成すること等清酒醸造に優れた特性を有する酵母であることが知られています。しかし、清酒酵母が本来もつ特性の中で現在分かっているのはほんの一部で、未知のパワーがまだ沢山隠されています。

実は、清酒酵母には人間にとって重要な機能性物質（栄養に富み健康の保持・増進に役立つ物質）を多く含んでいるという魅力的な特性があるのです。そこで、清酒酵母が高蓄積している機能性物質とそれらが高

蓄積するメカニズムについて調べ、清酒酵母が持つ奥深さと魅力を明らかにすることを目的として研究を始めました。

## S-アデノシルメチオニンと葉酸

清酒酵母に高蓄積している様々な機能性物質の中から、現在私達が注目して解析しているS-アデノシルメチオニン（以下、SAMといいます）と葉酸について簡単にご紹介します。SAMは必須アミノ酸であるメチオニンとATPから生体内で合成される物質で、主に肝臓や脳に多く含まれ、核酸・リン脂質・ホルモン等の合成に利用されています。一般的に肝機能・関節・うつ等への有効性が示唆されています。葉酸は水溶性ビタミン（B9）に分類され、メチオニン等のアミノ酸や核酸の合成及び代謝等に必須の物質で、厚生労働省では妊娠を計画している女性に対し、一日0.4mg以上の葉酸の摂取を推奨しています。このように、人間の栄養素として欠かせないこれらの物質は、近年様々な疾病に対する予防・治療効果が明らかとなり、国内外で健康食品等として注目されています。

では、なぜこれらの機能性物質が清酒酵母に高蓄積しているのでしょうか？まず、SAMが高蓄積するような酵母破壊株（酵母の中で1つの遺伝子のみが欠損している株）を取得し、蓄積するメカニズムを解析し

たところ、SAMの蓄積は特にメチオニン・糖の代謝やリン酸量の増減と密接に関係していることが分かりました。さらに、酵母がSAMを蓄積する条件を調べたところ、まさに清酒醸造環境条件に近い静置培養、低pH、高エタノール条件下で高蓄積することも分かりました。

一方葉酸は、色々な酵母の中でも特に清酒酵母に高蓄積していることが分かりました（図1）。また、細胞増殖時の清酒酵母に含まれる葉酸量を調べた結果、葉酸は酵母数が急激に増えるとともに増加し、さらに酵母数が一定となっても増え続けるという、興味深い現象を見つけました。

## 産業利用化を目指して

今後は、清酒酵母中の様々な機能性物質の蓄積メカニズムを解明し、清酒酵母がもつ特性の全容を把握したいと考えています。さらにこれらの研究を進展させ、新たな有用醸造酵母の育種を行うことで、清酒酵母の特性を活かした産業界への貢献を目指しています。例えば、SAMが高蓄積するメカニズムの解析結果からヒントを得て、遺伝子操作によらない方法で育種したSAMが高蓄積する清酒酵母株（図2）について、解析をしています。また、今後は清酒酵母中の葉酸が高蓄積する条件についても検討を行っていく予定です。

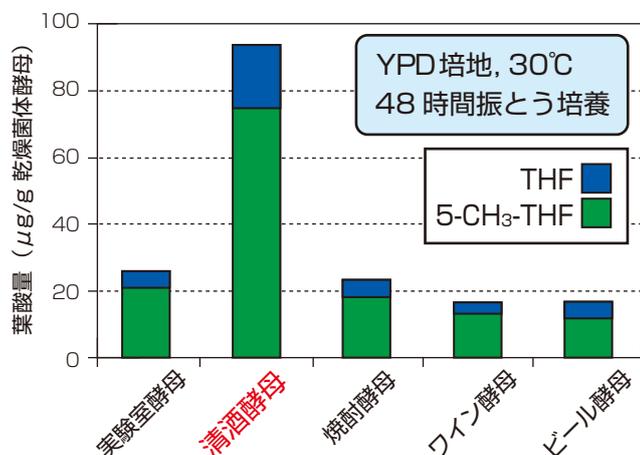


図1 様々な酵母における葉酸量

様々な酵母における葉酸量（THF（テトラヒドロ葉酸：青）と、5-CH<sub>3</sub>-THF（5-メチルテトラヒドロ葉酸：緑）の合計量）を測定した結果、清酒酵母が最も葉酸を高蓄積していることが分かりました。

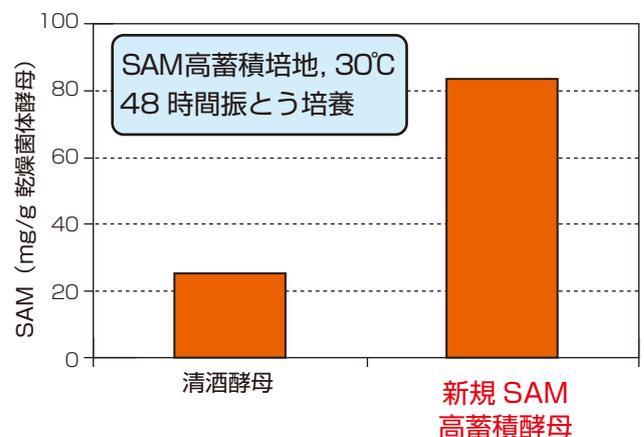


図2 新規SAM高蓄積酵母の育種

清酒酵母を用いて、遺伝子操作によらない産業利用可能な新規SAM高蓄積酵母の育種に成功しました。

## 1 研究発表

### (1)日本醸造学会大会

平成22年9月14、15日に北とびあ(東京都北区)において平成22年度日本醸造学会大会が開催され、当所から3題の研究発表を行いました。

同大会では日本醸造学会から、醸造技術基盤研究部門 山田修副部門長の「麹菌 *Aspergillus oryzae* がアフラトキシンを作らない分子生物学的解析」に奨励賞が授与されました。また、(財)日本醸造協会から、関東信越国税局鑑定官室長 岩田博氏(前:品質・安全性研究部門長)の「清酒中のカビ臭汚染経路の解明とその防止」に伊藤保平賞が、醸造技術応用研究部門 藤井力主任研究員及び研究企画知財部門 家藤治幸部門長の「糸状菌を用いた黒糖焼酎蒸留粕の脱色排水処理に関する研究」に技術賞が授与されました。

### (2)日本生物工学会大会

平成22年10月27～29日に宮崎シーガイア ワールドコンベンションセンターサミット(宮崎市)において第62回日本生物工学会大会が開催され、当所から一般講演10題の研究発表を行いました。また、醸造技術基盤研究部門 下飯仁部門長がシンポジウム「ゲノムから見た清酒酵母の進化と醸造特性の解析」で、品質・安全性研究部門 磯谷敦子主任研究員が同「清酒の熟成に関与する香り成分」で講演しました。

## 2 広島中央サイエンスパーク施設公開

平成22年10月22日に当所を含む広島中央サイエンスパーク内の13の研究等施設が一斉に公開を行い、当所には約300名の方が来場してくださいました。

当日は、清酒をはじめいろいろな酒類の製造工程や製造にかかわる微生物の最新情報などの当所の取り組みについて、実物やパネル展示物等により説明したところ、来所された皆様に熱心に見学していただきました。



## 3 第10回 糸状菌分子生物学コンファレンス

平成22年11月18、19日に広島大学東広島キャンパス・サタケメモリアルホールにおいて、糸状菌分子生物学研究会が主催し、糸状菌遺伝子研究会が後援した糸状菌分子生物学コンファレンスが開かれました。第10回という区切りにあたり、全国の企業や大学から糸状菌研究者約250名が東広島に集まり、特別講演1題、シンポジウム5題、口頭発表20題、ポスター発表85題が行われました。また、今回のコンファレンス実行委員会事務局は、当所の山田副部門長、水谷研究員、高橋(徹)研究員、徳岡研究員の4人が務めました。

## お知らせ

### 講習開催のお知らせ(予定)

(1) 酒類醸造講習-清酒上級コース-(広島)  
第105回 平成23年5月26日(木)～平成23年6月28日(火)

(2) 清酒製造技術講習(東京)  
第41回 平成23年5月16日(月)～平成23年6月24日(金)  
第42回 平成23年8月22日(月)～平成23年9月30日(金)

これらの講習は当所と日本酒造組合中央会が共催して行っています。詳細につきましては、今後ホームページでご案内しますのでご参照ください。  
<http://www.nrib.go.jp/kou/kouinfo.htm#hiroshima>

### 酒造技術・技能チェックシート

清酒製造業では近年杜氏集団の高齢化と後継者難により、経営者や社員による酒造りが進んでいます。当所は、教育・訓練の観点から現場の技術・技能を分析し、従業者の技術・技能を評価できるような「酒造技術・技能チェックシート」を作成しました。詳細につきましては、是非ホームページをご覧ください。

<http://www.nrib.go.jp/data/saketec.htm>

### 酒類総合研究所標準分析法について

国税庁所定分析法は、酒類をはじめとする間接国税課税物件の分析法を国税庁が訓令として定めたものですが、平成19年の改正時に酒税関連法規と関連性の低い分析項目が削除されました。削除された項目は酒類の製造・品質の管理に重要なため、当所が平成22年11月に「酒類総合研究所標準分析法」としてまとめました。当分析法が、酒類業界で幅広く活用され役に立つことを期待しています。是非、ホームページ <http://www.nrib.go.jp/data/nribanalysis.htm>よりダウンロードしてご利用ください。

### 第3期中期目標・計画のスタート

当所は平成13年4月に独立行政法人 酒類総合研究所となりました。以後、5年毎の二期を終え、平成23年4月より第三期がスタートします。第三期も引き続き、財務大臣から示された中期目標の内容に沿って、行政ニーズにしっかりと対応した研究及び業務を行い、広く国民の皆様へ貢献することを目指しております。今後とも皆様のご支援、ご協力をいただきますようお願いいたします。



みんなで止めよう温暖化

チーム・マイナス6%

### 技術相談窓口案内

酒類に関する質問にお答えします。

TEL: 082-420-0800 (広島事務所)

TEL: 03-3910-6237 (東京事務所)

### 発行 独立行政法人酒類総合研究所

National Research Institute of Brewing (NRIB)

ホームページ <http://www.nrib.go.jp/>

〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-7-1

TEL: 082-420-0800 (代表)

〒114-0023 東京都北区滝野川2-6-30

TEL: 03-3910-6237

◎本紙に関する問い合わせは、下記まで

企画編集 TEL: 03-3910-6237

(宇都宮、坂本、阿部)

◆「エヌリブ」はホームページでもご覧になれます。

<http://www.nrib.go.jp/sake/sakeinfo.htm#kouhou>