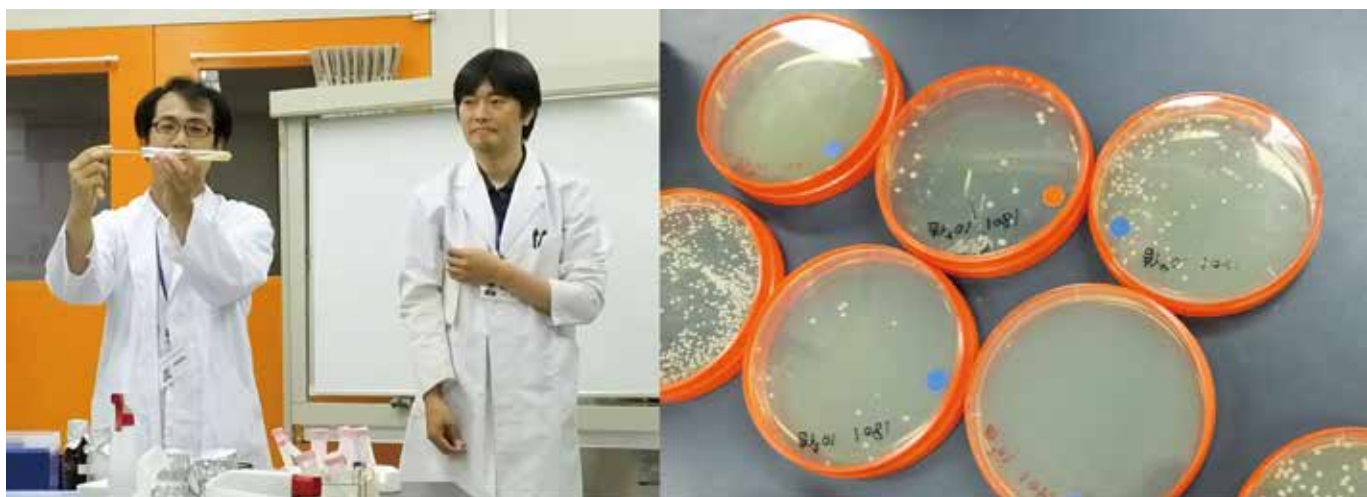


特集 清酒酵母のなぞを探る



アルコール発酵能を有し、酒類醸造の中心的な役割を果たす酵母。長い酒造りの歴史の中で、それぞれの酒類に適した酵母が選ばれてきました。清酒酵母には清酒造りに適した性質があります。これらの性質はどこから来るのでしょうか。少しずつ解析が進むゲノム情報から、清酒酵母のなぞに迫ります。

左上：酒類醸造講習で酵母の培養を説明、右上：酵母を培養したプレート、左中：発酵初期のもろみ表面、左下：発酵最盛期のもろみ表面、右下：生酛の配すりの様子（伝統的な清酒製造における酵母の育成工程のひとつ）



清酒酵母のなぞを探る

酒類醸造の要であるアルコール発酵を行う酵母。様々な性質をもった菌株があり、色々なお酒造りに活躍しています。近年の技術発達により、酵母の性質を決めるゲノム^(注)の解析が着々と進められています。今回は、醸造微生物研究部門の赤尾副部門長から、最近の清酒酵母に関する研究について聞きました。

✓ 清酒酵母、特技は清酒造り

ー酵母とはどのようなもので、酒類の醸造にどう関わっているのですか。

酵母とは単細胞の真核微生物の総称ですが、酒類醸造の分野では、多くの場合はアルコール発酵能を持つ*Saccharomyces cerevisiae*を指します。その中にもたくさんの種類があり、ヒトなどを含む真核生物のモデルとして使われるものは実験室酵母と呼ばれ、遺伝学や細胞生物学、分子生物学など様々な分野の研究で使用されています。

酒類醸造に使われるものは醸造用酵母と呼ばれ、その中でさらに、清酒酵母、ビール酵母、ワイン酵母などに分類されています。清酒、ビール、ワインなどお酒の種類ごとに発酵中の温度や糖分などの栄養環境が大きく異なるため、それぞれに適した菌株が自然と選抜されてきたのです。

ーお酒の種類ごとに最適な酵母菌株があるのですね。

他の種類のお酒の醸造に使用できないわけではありませんが、それぞれ得意な発酵環境があるということです。例えば、清酒は原料に対する水の使用量が少なく、かつ「並行複発酵」という方法を使用し、低温で仕込みます。このような独特な発酵環境に適応できるということも、清酒酵母には必要な性質です。

水稲が渡来した弥生時代にはお米のお酒が造られていたと推測されていますが、この頃は天然に存在する酵母がもろみに入り込んで増殖したものを、それと知らずに利用していました。1895年に初めて清酒酵母が分離され、ようやく発酵が酵母によって起きること、酵母の菌株によって発酵経過やできるお酒の性質が異なることが知られるようになりました。その後、各地のもろみから酵母が採取・選抜され、醸造特性の良い株は日本醸造協会から頒布されるようになりました。いくつもの菌株が頒布されてきましたが、特にきょうかい7号酵母（K7。以後きょうかい〇号酵

母をK〇と表記します。）は分離から70年以上、最も古いK6は90年近く経つ現在でも広く利用されています。さらに、K7や近縁のK9、K10を基に育種された派生株も多く得られており、これら（K7グループ）は今日の清酒酵母の主流となっています。

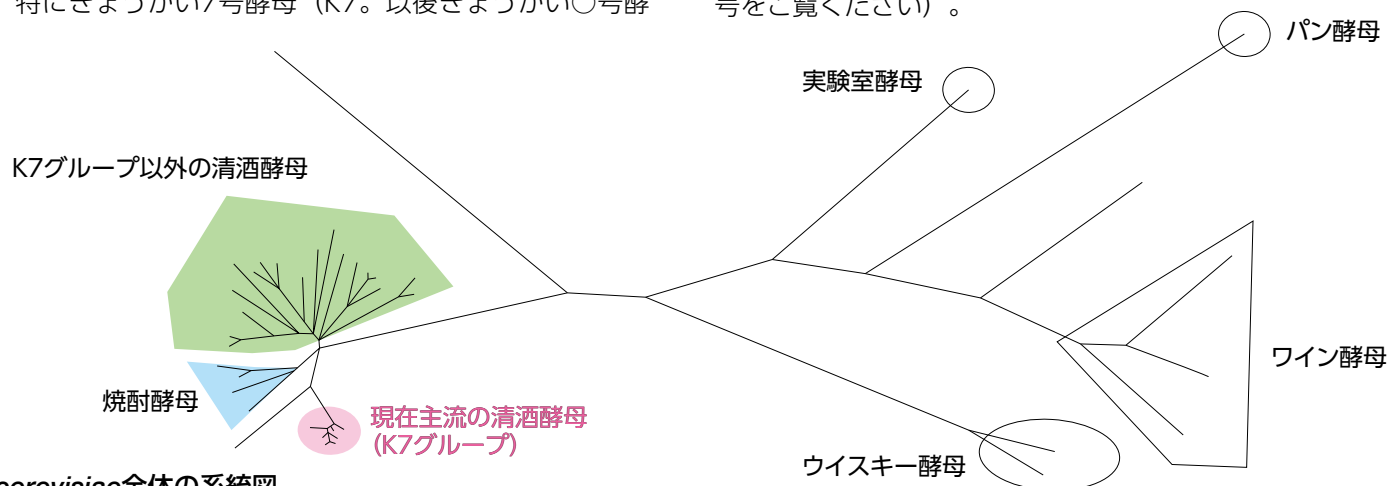
✓ 清酒酵母に求められるもの

ー現在主流の清酒酵母にはどのような特徴があるのでしょうか。

今回はK7グループに着目してみましょう。近年のゲノム解析により、清酒・焼酎酵母の遺伝的な系統関係が明らかになってきました（下図）。系統樹は、枝の先端がそれぞれの菌株の位置を示していて、2つの先端間の枝を介した長さが遺伝的距離（似ているかどうか）を表します。K7グループの塊は短い枝が密集していますね。つまり、互いにとても似ているのです。

一般的に、清酒酵母には発酵力が高いこと、製成酒の香味特性が優れていることが求められます。私たちはこれまでに多くの酵母を用いて仕込試験を行い、菌株の特性を比較してきました。すると、最終的なアルコール濃度はどの株も大体同じでしたが、K7グループは全体的に酸の生成量が少なく、吟醸香成分の生成量が多いことが分かりました。このあたりの香味特性が、昭和期以降の清酒に対するニーズに合ったのかもしれませんが。

また、実験室酵母との比較試験から、K7グループは清酒もろみにおいて高濃度のアルコールを生成できる代わりに、環境ストレス（高濃度アルコールを含みます）に弱いことが明らかになっています。ゲノムデータベースを調べると、K7グループは環境ストレスに対処するための司令塔の役割を果たすいくつかの重要な遺伝子に変異があり、その機能を失っていることが分かりました（詳細はNRIB19号をご覧ください）。



S. cerevisiae全体の系統図

※ エヌリブ 19号（清酒酵母の機能と特性）：<https://www.nrib.go.jp/sake/pdf/NRIBNo19.pdf>
エヌリブ 24号（美味しさを保つために）：<https://www.nrib.go.jp/sake/pdf/NRIBNo24.pdf>

—酵母がアルコールに弱いと、どのようなことが起こりますか。

もろみ中のアルコール濃度が高くなると、アルコールに弱い酵母は死滅してしまいます。酵母が死滅すると、細胞からアミノ酸や酵素などの内容物がもろみに漏出するため、製成酒の香味を害することになります。また、もろみ中の酵母の死滅率が高くなると、できた清酒が貯蔵後に老香（主成分はDMTS）を生じやすくなることも明らかになっています（詳しくはNRIB24号をご覧ください）。

酵母の死滅を防ぐために、多くの製造現場では慎重な発酵管理をしていますが、アルコール濃度が高くても死滅しにくいアルコール耐性酵母を使用するのも一手です。その代表が1975年にK7の自然突然変異体として分離されたK11です。

✓ アルコールに強くなった清酒酵母

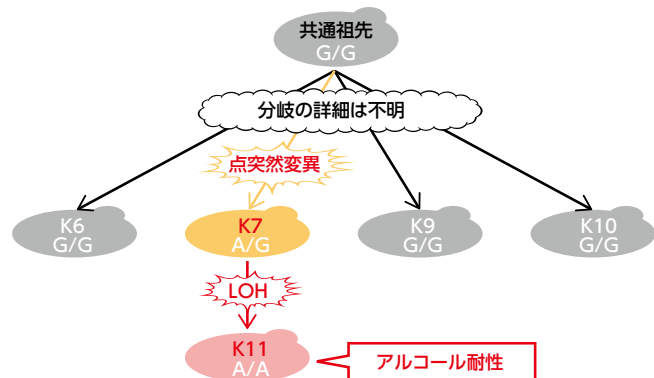
—K11はどのようにしてアルコール耐性を獲得したのでしょうか。

K7とK11でゲノムを比較したところ、細胞の増殖に関するある遺伝子（*CYR1*）の2066文字目（*CYR1*²⁰⁶⁶）にたった1つの変異があり、それがK11のアルコール耐性に寄与していることを見出しました。清酒酵母のゲノムサイズは約12 Mbase（1200万文字）ですが、そのうちのたった1文字でアルコール耐性が大きく変わってしまうとは、驚くべきことです。

もう少し詳しく説明しましょう。酵母はヒトなどと同じ二倍体（2組の染色体セットをもつこと）で、一つの性質に対して2セットの遺伝子を持っています。この2セットは同じ組み合わせ（ホモ接合）の時もあれば、違う組み合わせ（ヘテロ接合）の時もあり、違う場合にはより影響の強い方が性質として表れます。

K7とK11のゲノムデータベースを調べると、*CYR1*²⁰⁶⁶がK7ではA/G、K11ではA/Aという組み合わせになっていました。

（注）ゲノムとは、ある生物がもつ遺伝情報一揃いを指します。その中心となるのは、DNAです。生物のDNAは4種の塩基（A、T、G、C）が並んで形成されており、タンパク質の設計図となる領域や、タンパク質を作る量を制御する領域などがあります。これらの領域ごとに名前が付けられ、「遺伝子」と呼ばれます。



きょうかい酵母の系統分化と*CYR1*遺伝子の変化

共通祖先から分岐する中で、突然変異によりK7だけが*CYR1*²⁰⁶⁶をA/Gの組み合わせで持つことになった。

*CYR1*²⁰⁶⁶の場合、Gの影響が強く、両方がAになることで初めてアルコール耐性を獲得できるのです。このようにヘテロ接合がホモ接合に変化する現象を「ヘテロ接合性の消失（LOH）」といいます。有性生活環を失った醸造用酵母にとって、このLOHという現象は環境変化に適応するための、酵母の生き残り戦略の一つであると捉えることができます。

ところで、前述のとおりK6~K10やこれらの派生株は、お互いに近縁関係にあります。そこでK7以外の*CYR1*²⁰⁶⁶を調べてみたところ、K7以外はすべてG/Gの組み合わせになっていました。もともと、K6~K10は同じ菌株を祖先とし、比較的最近になって別々の菌株に進化したと考えられています。おそらく、K7も最初は*CYR1*²⁰⁶⁶がG/GであったのがA/Gに変化し、さらにLOHによってA/AのK11が生まれたのでしょうか。K7で見られるG/G→A/Gという変異は点突然変異といい、ゲノム上のある位置に着目すると、起きる確率は非常に低いものです。ごく低い確率で生じた1文字の変異をきっかけに、K11はアルコール耐性の獲得に至ったのです。

現段階では、この変異によるアルコール耐性獲得の仕組みについてはまだよく分かっていませんが、これが解明できれば、新しいアルコール耐性酵母の開発や、清酒以外の分野への応用などに役立つかも知れません。

✓ 今後の研究

—最後に、清酒酵母の研究について、今後の方向性や展望などを聞かせてください。

清酒酵母については、これまでにいろいろな菌株のゲノム配列を明らかにしてきました。現在は、これらを活用して研究を進めており、菌株の系統関係や進化のメカニズムなどが明らかになりつつあります。よく似た菌株同士をゲノムのわずかな違いから簡便かつ確実に判別する方法の開発も進んでいます。もちろん、先に紹介したアルコール耐性機構の解析も行っています。このほか、ある菌株のもつ特徴が、ゲノム上のどの遺伝子の働きによって現れているのかを効率的に調べる技術や、ゲノムのごく一部を調べるだけで菌株の特徴を予測する技術などの開発を目指して試行錯誤をしています。

こうして得られた成果のうち、お酒の製造現場で役立つような情報があれば、講習会等を通じて積極的に発信していくことで、現場での酵母の取扱技術のレベルアップを支援していきたいと思っています。

平成5年国税庁入庁。平成9年より国税庁醸造研究所（現・酒類総合研究所）勤務。醸造用酵母のゲノム解析、発酵力をはじめとする各種醸造特性指標に関する研究などを担当。

研究企画知財部門主任研究員、情報技術支援部門副部門長などを経て、平成28年7月より現職。広島大学大学院統合生命科学研究所客員教授。

醸造微生物研究部門副部門長

赤尾 健（あかお たけし）



業 務 報 告

1 研究成果の発表

第70回日本生物工学会大会（平成30年9月5日～7日、関西大学）において黒麹菌の学名など2題、平成30年度日本醸造学会大会（平成30年10月10日～11日、東京大学弥生講堂）において次世代酒米の醸造特性解析など5題、日本ブドウ・ワイン学会2018（平成30年11月17日～18日、京都大学）において赤ワインの初期低温醸しの結果など3題を発表しました。なお、平成30年度日本醸造学会大会で福田部門長と赤松主任研究員が技術賞、赤尾副部門長が奨励賞を、日本ブドウ・ワイン学会2018で清水主任研究員がポスター賞（写真）をそれぞれ受賞しました。



コース：平成30年10月29日～11月7日、本格焼酎・泡盛コース：平成30年11月27日～12月21日、ワイン短期コース：平成31年2月19日～22日）を開催しました。当講習を修了された皆様の今後益々のご活躍を期待しています。



ビール短期コース
酵母を発酵タンクへ添加する様子



本格焼酎・泡盛コース
蒸留準備の様子



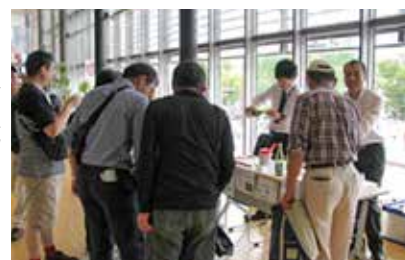
ワイン短期コース
講義の様子

2 EU向け日本ワイン輸出に関する証明業務を開始しました

日EU経済連携協定の発効を受け、新たにEU向けに輸出される日本ワインの証明書の発行業務、自己証明に関する業務を開始しました。なお、日本ワイン以外のワインをEU向けに輸出する場合は、これまで通り当研究所が発行する証明書及び分析報告書が必要となります。

4 イベントへの出展

東広島市西条で開催された「酒まつり」（平成30年10月6日～7日）や「西条醸華町まつり」（平成31年3月2日）に出展し、パネル展示や香り当てクイズなどを行いました。



3 研究所で酒類製造を学ぶ

関係業界団体との共催で、第112回酒類醸造講習（ビール短期

お 知 ら せ

1 全国新酒鑑評会を開催します

当研究所では、清酒の新酒を全国的に調査研究することにより、製造技術と酒質の現状及び動向を明らかにし、もって清酒の品質向上に資することを目的に、全国新酒鑑評会を行っています。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

<https://www.nrib.go.jp/kan/kaninfo.htm>

3 お酒造りに必要な微生物を守るために

当研究所では、地方公設試、酒造組合、酒類製造業者等の皆様が所有する麹菌や酵母などの酒類醸造微生物リソースが災害等によって亡失することを防ぐための受託保存（バックアップ）や、黄麹菌・黒麹菌の受託DNA解析を行っています。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

<https://www.nrib.go.jp/data/zyutakuhozon.htm>

<https://www.nrib.go.jp/bun/kouzizyubun.htm>

2 清酒・焼酎の専門用語の標準的英語表現リスト ご意見募集中

清酒・焼酎を英語で説明する際に参考にしていただけるよう、専門用語の標準的英語表現リスト(Sake Terms、Shochu Terms)を作成しています。今後の改訂に当たり、利用者の皆様のご意見を反映させたいと考えておりますので、ご意見・ご要望などございましたらお寄せください。詳細は、当研究所ホームページをご覧ください。

清酒 https://www.nrib.go.jp/sake/st_info.htm

焼酎 https://www.nrib.go.jp/sake/sht_info.htm

4 皆さまのご意見をお寄せください

今後の誌面作成等の参考とするため、広報誌エヌリブに関するアンケートを実施しておりますのでご協力のほどよろしくお願い申し上げます。詳細は当研究所ホームページをご覧ください。

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

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 <https://www.nrib.go.jp/>
〒739-0046 広島県東広島市鏡山 3-7-1
TEL: 082-420-0800(代表)

◆「エヌリブ」は当研究所ホームページからご覧になれます。

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

◆本誌に関する問合せは、広報・産業技術支援部門までお願いします。
なお、ご意見やご感想もお寄せください。

TEL: 082-420-0840

メール: info@nrib.go.jp

(山根、重田、藤井)