

お酒のはなし

酒類総合研究所
情報誌

2

特集 清酒2（科学と技術の融合）

清酒製造科学の出発 …… 1
醸す …… 2
搾る・仕上げる …… 8
清酒を楽しむ …… 10
《トピック》
特定名称の清酒 …… 1
山田錦 …… 2
麹菌の安全性 …… 4
泡あり酵母と泡なし酵母 …… 7
老香と熟成香 …… 10
清酒と料理の相性 …… 11
アルコールとJカーブ効果 …… 12

フルーティーな香り、きめ細やかな味わいの吟醸酒。ほどよい甘味と深いコクのある純米酒。これらのお酒は私たちの清酒のイメージを大きく変えるものでした。吟醸酒、純米吟醸酒の出荷割合は年々増加しています。「吟醸」とは文字通り「吟味して製造（醸造）すること」であり、酒造工程の全てに造り手のこだわりが詰まった、清酒製造技術の集大成ともいえるものです。吟醸造りで磨かれた技術は、清酒全体の品質の向上にもつながっています。杜氏（とうじ）や蔵人（くらびと・くらんど・くろうど）と呼ばれる職人たちの伝統的な技術と、科学者たちの研究成果である清酒に関する最先端科学の融合により、現在では吟醸酒に限らず高品質で味わい深い多種多様な清酒が造られています。

清酒2では、清酒の造りを科学と技術の融合の面も含めて、より詳しく、より深く紹介していきます。また、清酒1で紹介することのできなかった、醪（もろみ）が搾られて清酒となった後、商品となって出荷されるまでの工程や、清酒の種類、管理の仕方についても紹介します。

清酒の原材料や製法の違いからくる名称の違いなど、それぞれの特徴を知って、これまで以上に清酒を楽しく味わってみてください。

清酒製造科学の出発

清酒製造業は古い歴史を持つ我が国の主要な醸造産業の一つです。この清酒製造業が近代酒造業として成立したのは明治20年（1887年）頃であり、同じ頃、兵庫県の灘や京都府の伏見などで企業的な大量生産が始まりました。

しかし、当時の酒造りは経験と勘のみに頼っていたため、製造が安定せず、しばしば腐造（酒が腐ること）することもありました。当時は清酒製造に欠かせない微生物である麹菌や酵母が分離されるなど、学術研究の成果が出始めた時期でしたが、清酒製造の科学的な解明にはほど遠い状況でした。

さらに、明治32年（1899年）には酒税が地租を抜いて国家の最大の収入源となりましたが、腐造が起こった場合は酒税を還付しなければならず、酒税による収入は安定しませんでした。

清酒の腐造はなぜ起きてしまうのか、これを無くすことが喫緊の課題となり、酒造技術の改良と学術研究は国家財源の基盤を支えるための国家プロジェクトとして始動しました。

酒類総合研究所の前身である大蔵省醸造試験所も、このような時代背景のもと明治37年（1904年）に設立されました。

特定名称の清酒

特定名称とは、国税庁が告示した「清酒の製法品質表示基準」を満たす清酒の分類で、全部で8種類があります。この他にも、清酒には数多くの種類があり、それらの詳しい説明は当研究所発行の「日本酒ラベルの用語事典」をご覧ください。

特定名称	使用原料 ※1 ※2	精米歩合 ※3	麹米使用割合	香味等の要件
吟醸酒	米、米麹、醸造アルコール	60%以下	15%以上	吟醸造り、固有の香味、色沢が良好
大吟醸酒	米、米麹、醸造アルコール	50%以下	15%以上	吟醸造り、固有の香味、色沢が良好
純米酒	米、米麹	–	15%以上	香味、色沢が良好
純米吟醸酒	米、米麹	60%以下	15%以上	吟醸造り、固有の香味、色沢が特に良好
純米大吟醸酒	米、米麹	50%以下	15%以上	吟醸造り、固有の香味、色沢が特に良好
特別純米酒	米、米麹	60%以下または特別な製造方法	15%以上	香味、色沢が特に良好
本醸造酒	米、米麹、醸造アルコール	70%以下	15%以上	香味、色沢が良好
特別本醸造酒	米、米麹、醸造アルコール	60%以下または特別な製造方法	15%以上	香味、色沢が特に良好

※1 原料米は農産物検査法で3等以上に格付けされるかこれに相当する品質のものでなければならない。
※2 醸造アルコールの使用量は白米の重量の10%以下であること。
※3 精米歩合を表示すること。

特定名称とその要件

醸す 科学と技術の融合

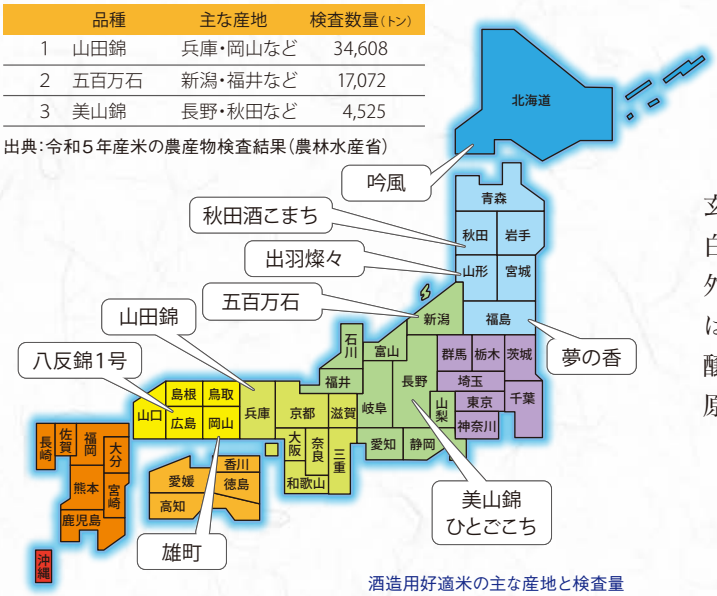


原料米

清酒は、米から造られるお酒です。日本国内では現在、約300種類の米が栽培され、国内産清酒はこれらの米で造られています。特に農産物規格で醸造用玄米に分類されている米は、酒造好適米とも呼ばれており、清酒の原料として優れた性質を持っています。酒造好適米のうち検査数量（令和5年）が最も多いのは「山田錦」ですが、この他にも日本各地で様々な酒造好適米が栽培されています。

	品種	主な産地	検査数量（トン）
1	山田錦	兵庫・岡山など	34,608
2	五百万石	新潟・福井など	17,072
3	美山錦	長野・秋田など	4,525

出典：令和5年産米の農産物検査結果（農林水産省）



酒造用好適米の主な産地と検査量

これらの酒造好適米は、米粒の中央部に心白（しんぱく）という白く不透明な部分を持つものもある大粒の米です。また、酒造好適米は、食用米と比べてタンパク質が少なく、低温で長期に及ぶ醪中でも溶けやすく、アルコール発酵が順調に進むために適した性質を持っています。

清酒造りでは、原料となる米は玄米ではなく精米した白米を使います。玄米の外側部分には、脂質やミネラル、タンパク質が多く含まれており、これらの成分量が多すぎると清酒の香味を悪くするため、精米して取り除く必要があるからです。

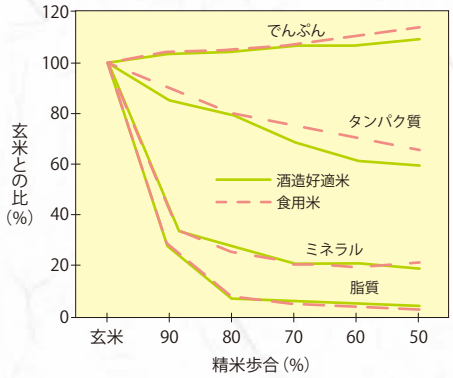


酒造好適米と食用米の比較

精米の程度を示す精米歩合は、次の式で求められます。

$$精米歩合 = \frac{白米重量}{玄米重量} \times 100(\%)$$

私たちがふだん食べる食用米の精米歩合は約90%で、玄米の外側を10%程度糠として取り除き、残った約90%の白米部分を食べています。特定名称の酒のうち「純米酒」以外は精米歩合によって種類が分類されており、「本醸造酒」は70%以下、「吟醸酒」「純米吟醸酒」は60%以下、「大吟醸酒」「純米大吟醸酒」は50%以下の精米歩合の白米を原料として使用することが要件の一つとされています。



精米による成分の変化



山田錦

兵庫県で交配、育種された酒造好適米。兵庫県農事試験場において交配が行われてから13年にわたる栽培試験を経て、昭和11年に「山田錦」が誕生しました。酒造りの作業性の良さばかりでなく、できる酒の味わいの良さで全国の杜氏から特に好まれている酒造好適米の一つです。背丈が130cmほどにもなる背の高い稲で、収穫のころには稲穂が弓なりに垂れます。全国で生産される酒造好適米の38%は山田錦であり、その約55%は兵庫県で生産されています（令和5年産米の農産物検査結果）。





原料処理

米をよく洗い、吸水させて蒸し、蒸米を作る工程を原料処理といいます。良い蒸米は清酒造りの基本であり、造り手が非常に神経を使う大切な工程です。蒸米の水分量は、出来上がりの清酒の品質をある程度決めてしまうほど大きく影響します。水分が過多だと醪で蒸米が溶けすぎ、過剰に味の成分ができてしまいます。さらに酵母のアルコール発酵と蒸米の溶け具合とのバランスが崩れ、きめ細やかな味わいを醸し出すことが困難になります。

適度な水分を持つ蒸米を作るためには、まず蒸す前の米の吸水量を厳密に管理する必要があります。米の品質を見極め、水温を測り、試し洗いを行い、僅か1%の吸水量にもこだわって米と水との接触時間(浸漬(しんせき)時間)を決めます。このように浸漬時間を限定して米の吸水量を管理することを「限定吸水」と呼んでいます。特に吟醸造りでは蔵人総出で米を洗い、水に漬け、水を切るなどの一連の作業を行い、目標の吸水量に合わせています。





洗米(酒造りでは「米をとぐ」ではなく「洗う」といいます。)



精米歩合が低い(精米歩合の値が小さい)お米は砕けやすいので、冷水を使い、砕けないように注意しながら手早く確実に洗います。砕けてしまうと吸水量の調節が難しくなります。

左:浸漬(しんせき)(お米を水に漬けて吸水させる。)
黒いトレーに米を浮かべ、米の吸水状況をみています。

水

清酒の約8割は水でできています。おいしい清酒を造るには、清酒の着色等の原因となる鉄分が極めて少ないなど、高品質の水が求められます。ここでは、高品質の水のうち、清酒の二大産地である灘と伏見の蔵元を支える水、「灘の宮水(みやみず)」と「伏見の御香水(ごこうすい)」について紹介します。

【灘の宮水】

江戸時代の後期、魚崎(神戸市)と西宮(西宮市)の両方に蔵を持つ山邑太左衛門(やまむらたざえもん)が、西宮の蔵の酒質の方が常に優れていることの原因を追究しました。杜氏や道具を変えてみましたが効果がなく、天保11年(1840年)西宮の水を魚崎に運んで仕込をしてみたところ良質の清酒ができました。六甲山系に降った雨水が伏流水となり、西宮神社近くの一帯で湧出する水こそが優れた酒となる秘けつだったのです。これ以降、灘の酒造家はこぞって西宮の水を使うようになり、「西宮の水」が略されて「宮水」と呼ばれるようになりました。宮水は硬水で、その硬水で造られる灘の酒は酸がきいてキレが良いことから「男酒」とも呼ばれています。



宮水発祥の地の石碑(西宮市)

【伏見の御香水】

伏見(京都市)は、かつて伏水とも書かれていたほど、良質で豊富な地下水に恵まれている土地です。それを象徴するのは近鉄京都線の桃山御陵駅近くにある「御香宮(ごこうのみや)」の御香水です。この神社の由緒は、平安時代貞観4年(862年)9月9日に、この神社の境内から「香」の良い水が涌き出たので清和天皇より『御香水』の名を賜ったということにあります。伏見にはこの御香水(岩井の水)以外にも六つの名水があり「伏見の七つ井」とも呼ばれています。伏見の御香水は灘の宮水よりも硬度が低く、伏見の酒はなめらかできめが細かいことから「女酒」とも呼ばれています。



御香水(京都市伏見区)

	魚崎	西宮	伏見の御香水	東村山浄水場(東京の水道水)
pH	6.9	7.1	6.4	7.5
カルシウム	29	51	8.4	–
マグネシウム	3.5	7.3	5.5	–
硬度	87	157	44	43
ナトリウム	11	25	11	3.1
カリウム	2.8	9.8	1.9	–
クロール	10	35	7.3	1.8
リン酸	0.3	4.4	–	0.0
鉄分	<0.005	<0.005	–	0.12

単位:pH以外はmg/ℓ

魚崎・西宮・伏見・東村山浄水場の水質の比較

WHO(世界保健機関)飲料水質ガイドラインでは
軟　水:硬度60mg/ℓ未満
中硬水:硬度60mg/ℓ以上120mg/ℓ未満
硬　水:硬度120mg/ℓ以上180mg/ℓ未満

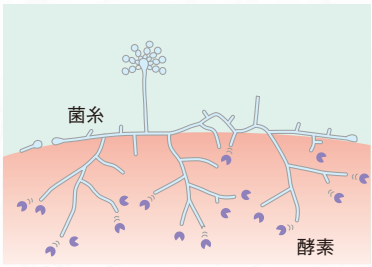
(出典:醸協:87,p.909(1992)、東京都水道局(2015))

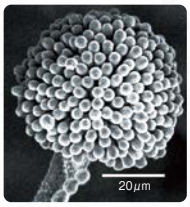
醸す 科学と技術の融合



麹(こうじ)菌

麹菌は、日本醸造学会から日本の国菌と認定されているカビの一種で、古くから清酒製造に使われてきました。また、清酒以外にも 焼酎、泡盛、味噌、醤油、食酢、漬物など、多くの伝統食品に使われています。

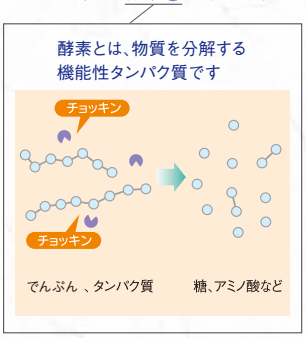




麹菌の胞子（分生子とも呼ばれる。撮影者：河内護之）

蒸米にまかれた胞子は発芽して菌糸を伸ばし成長します。菌糸の先端から酵素を出します。

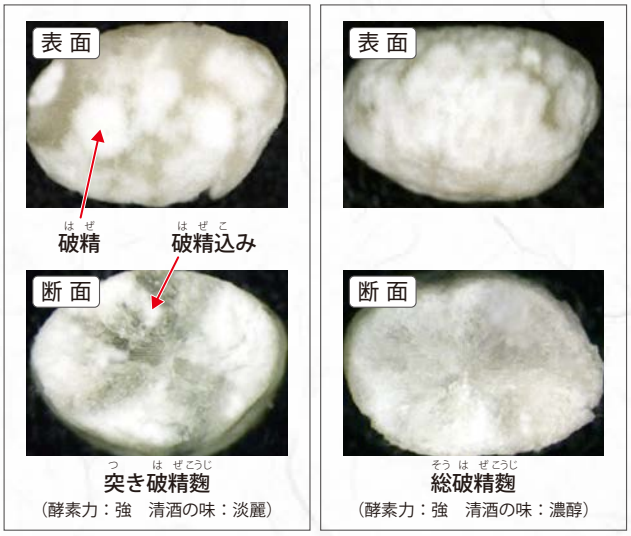
麹とは、米、麦、大豆などに麹菌を生やしたものをいい、清酒に使う米麹は米に麹菌を生やしたものです。また、麹菌には酵素を作って米を溶かし、でんぷんをブドウ糖に変えることで、酵母がブドウ糖を食べてアルコール発酵ができるようにする働きがあります。



製麹(せいきく)

厳選した米を良質の水で洗い、水分を吸わせて蒸したら麹を造る製麹に入ります。

麹を作る際に、良好とされる状貌(じょうぼう)が2種類あります。一つは「総破精麹(そうはぜこうじ)」と呼ばれる全体が破精(はぜ:麹菌が繁殖して白く見える部分)で覆われている麹、もう一つは「突き破精麹(つきはぜこうじ)」と呼ばれ、表面の破精は数か所でも破精込み(破精が蒸米内部まで入ること)のよい麹です。吟醸酒には主に突き破精麹が使われます。突き破精麹はでんぷんをブドウ糖に分解する酵素(グルコアミラーゼ)の力が特に強く、タンパク質を味物質であるアミノ酸に分解する酵素(プロテアーゼ)の力が弱い傾向があります。そのため、低温で長期にわたる醪の中で酵母のエネルギー源であるブドウ糖を十分に供給できる力を持ち、できた清酒の味は淡麗になります。



突き破精麹と総破精麹

麹菌の安全性

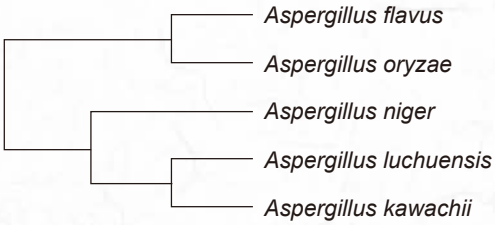
国菌とされる麹菌は色によって三種類に分類することができます。清酒造りで主に使われている「黄麹菌*Aspergillus oryzae*」と、焼酎や泡盛などで主に使われている「黒麹菌*Aspergillus luchuensis*」、その白色変異株の「白麹菌*Aspergillus kawachii*」の三種類です。それぞれの麹菌には変異株も多くあります。

清酒の原料である米麹には、黄麹菌が古くから使われてきました。昭和35年(1960年)に近縁種であるアスペルギルス・フラバス*Aspergillus flavus*の一部が、カビ毒のアフラトキシンを生産することがイギリスで報じられ、黄麹菌にもアフラトキシンの生産性があるのではないかと問題になりました。当研究所の前身である醸造試験所では直ちに研究を開始し、昭和46年(1971年)に黄麹菌とアスペルギルス・フラバスが異なる株(集団)であることと、黄麹菌はアフラトキシンを生産しないことを明らかにしました。これにより、黄麹菌を使った清酒の安全性が証明されました。その後、平成21年(2009年)に遺伝子レベルでも黄麹菌はアフラトキシンを生産しないことが証明されています。

一方、黒麹菌や白麹菌についても安全が確認されています。これらの近縁種であるニガー菌*Aspergillus niger*の一部が、カビ毒のオクラトキシンを生産することが平成6年(1994年)に報告されました。当研究所では平成21年(2009年)に黒麹菌、白麹菌、ニガー菌を遺伝子レベルで解析し、黒麹菌と白麹菌はニガー菌とは別の集団に属しており、オクラトキシンもアフラトキシンも生産しないことを証明しました(詳しくは広報誌NRIB(エヌリブ)第15号をご覧ください)。現在でも、麹菌に限らず酵母や清酒そのものに関してなど、酒類の安全性や健康への影響に関する研究が続けられています。



麹菌
(左から黄麹菌、白麹菌、黒麹菌)



コウジカビ属(*Aspergillus*)の系統樹



蒸米の水分が多いと破精込みのよい麹にはなりません。造り手は水分と温度を管理することで、目標とする清酒の品質に合わせて総破精麹と突き破精麹を造り分けていきます。麹造りはおよそ2日間かけて行います。

1日目は、蒸しあがった米を適度に冷まして麹室に入れ、床(とこ)と呼ばれる台の上に広げて種麹(麹菌の胞子)をまきます(「種麹を振る」といいます)。種麹を振った蒸米は、保温・保湿のために布に包まれて床の上で1日目を過ごし、その間に麹菌の胞子が発芽します。そのため麹造りの1日目を「床期間」と呼びます。

2日目になると、製麹中の麹は麹箱や麹蓋といった木箱に移されます。この作業を「盛り」といいます。盛りの量は、麹箱で15〜30kg、麹蓋で1.5〜2.5kgです。麹菌の菌糸が成長し、熱を発散するので、温度が上がりすぎないようにコントロールします。このように、麹箱や麹蓋で製造管理される2日目を「棚期間」と呼びます。

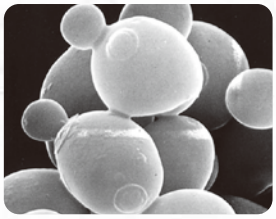


製麹作業(左から麹箱、麹蓋)

製麹中の麹の温度が40〜43℃になり、蒸米を麹室に入れてから43〜45時間ほど(突き破精麹の場合48時間を超えることもある)経ったら麹の完成です。良い麹は手で握った際にふんわりとして弾力があり、手のひらを開いた時に麹が手に付着しない(サバケが良い)のが特徴です。また、焼栗のようなさっぱりした甘味と香り(栗香)を感じることができます。

酵母

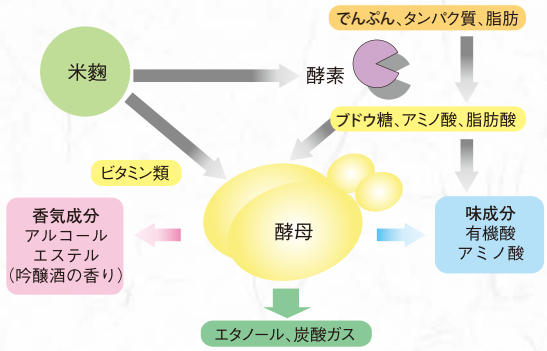
清酒のアルコールは酵母によって作られます。自然界には酵母がたくさん生息していて、果物の傷から果汁がしみ出ていればそこには野生酵母が繁殖しています。また、玄米や白米にも野生酵母が付着しています。酵母にはたくさんの種類があり、パンや醤油、味噌の製造にも用いられています。清酒造りに使われるのは主にサッカロマイセス・セレビシエ(*Saccharomyces cerevisiae*)という酵母で、サッカロマイセスはギリシア語の「糖」と「菌」からセレビシエはラテン語の「ビール」から名付けられています。



清酒酵母

酵母の増殖は、親細胞から娘細胞が芽をだして(出芽)、分裂することにより行われます。清酒造り中に酵母は2万倍に増殖し、醪1gに約2億個含まれるようになります。

酵母は、麹が米のでんぷんを分解して生成したブドウ糖からエタノールと炭酸ガスを作りますが、エタノール以外にも多くの香味成分を作ります。



清酒造りにおける麹菌と酵母の働き

酵母が作る香気成分や味成分は、酵母の種類によって異なりますので、使用する酵母によって清酒の香りや味が変わります。そのため古くから、良質の酒ができる蔵元の醪から酵母を純粋分離し発酵試験を行って選抜するということが行われてきました。こうして選ばれた酵母は明治39年(1906年)より公益財団法人日本醸造協会の前身である醸造協会から「きょうかい酵母」として頒布されています。

右の写真のアンプル1本(約10ml)には約200億個の酵母が詰められており、これ1本を酒母に使用して1トンのお米を発酵すると、1升びんで約1200本の純米酒を造ることができます。



きょうかい酵母(アンプル)

きょうかい酵母には販売され始めた順に番号がついていて、現在多く使われているのは6号、7号、9号、10号、11号、14号、1801号などの酵母です。これらの酵母は遺伝学的に近縁ですが、できた清酒の香りや味が異なるため、目標とする清酒の品質に応じて使い分けられています。吟醸酒の芳香が際立つようになったのは、「きょうかい7号酵母」(昭和21年(1946年)分離)が使われるようになってからだといわれています。7号酵母は強い発酵力と芳香が特徴であり、現在でも清酒造りに広く使われています。昭和50年(1975年)頃からは、「きょうかい9号酵母」が吟醸用酵母の主流として活躍し、そのすばらしい芳香とふくらみのある味わいで吟醸酒のスタイルを確立していきました。最近では、リンゴのようなカプロン酸エチルの芳香が際立つとともに酸の生成が少なくまろやかな味が特徴の「きょうかい1801号酵母」や、各都道府県で独自に育種された特徴のある酵母が、吟醸酒をはじめとした多くの清酒で使われています。

醸す 科学と技術の融合



酒母(もと)(酛)

麹ができあがったら、次に酒母という清酒の「もと」を造ります。酒母を仕込んだ直後には、きょうかい酵母のような優良な酵母だけでなく、野生酵母も存在しています。野生酵母は、米麹を造っている間に麹菌と共に増えています。しかし、これらの野生酵母にはシンナーや酢の香りのような好ましくないものを作る酵母(産膜酵母)や、アルコール発酵が途中で止まってしまうような酵母もいます。清酒造りでは低温で発酵し、アルコールをたくさん作り、味も香りもよい清酒ができる優良な酵母を使用しなければなりません。そこであらかじめ優良な酵母を増やした「酒母(酛)」を造り、醪の仕込みを行います。

酒母に求められることは何でしょうか。まず、優良な酵母がたくさんいること、もう一つは、適度な酸性であることです。梅干しや酢漬けが腐りにくいように、発酵を酸性で行うことにより醪を腐らせる細菌の増殖を抑えることができます。酸性の酒母を造るには、乳酸菌による乳酸発酵を利用する方法と醸造用の乳酸を使う方法があります。乳酸菌による乳酸発酵を利用する方法の代表が「生酛(きもと)」、醸造用の乳酸を使う方法の代表が「速醸酛(そくじょうもと)」です。

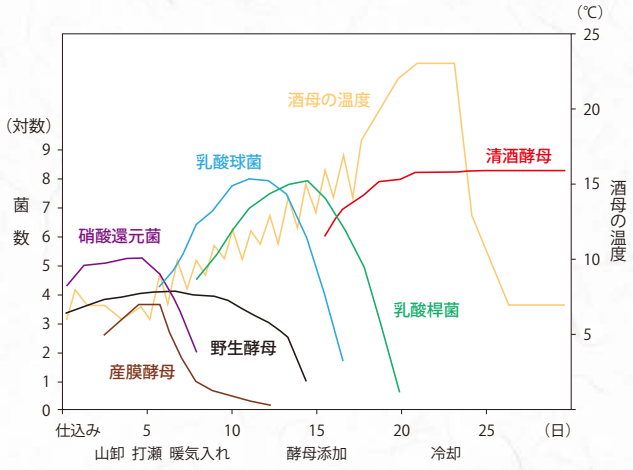
【生酛】

生酛は、江戸時代に確立された自然の微生物を巧妙に利用して優良な酵母を生育させる技術です。生酛では、まず蒸米と麹と水を半切りという桶に14～15kgずつ8℃程度で仕込みます。仕込みから数時間後、米粒が水を吸って膨らんできますので、それから数時間おきによくかき混ぜます。


山卸作業(下に見える桶が半切り、棒が櫂)

仕込の翌日、櫂(かい)という道具を使ってすりつぶします。この作業を「山卸(やまおろし)」といいます。冬の寒い部屋で一つの半切りを2～3人がかりで、1日3回行う大変な作業です。すり終わればタンクに移して3日ほど6～7℃の低温に保ちます。この期間を「打瀬(うたせ)」といい、仕込んだ酒母の中にいた硝酸還元菌という微生物により、仕込水に含まれる硝酸塩から亜硝酸が生成されます。この亜硝酸には野生酵母の増殖を抑制する作用があります。

仕込みから5～6日ほど経ったら、「暖気(だき)入れ」を行います。湯を入れた樽(暖気樽)を酒母に2～3時間入れては抜く作業を繰り返し、1日1℃程度温度を上げていきます。



生酛系酒母における微生物の遷移

生酛系酒母は、図のような菌の種類と数が変化していく自然の微生物の遷移を巧みに利用して、清酒酵母を純粋培養する高度な技術と言える。

温度が上がってくると徐々に乳酸菌が活動し乳酸を作り始めます。こうしてできた乳酸と亜硝酸の共同作業で産膜酵母や野生酵母は死んでしまいます。やがて乳酸が増えて酸性になると硝酸還元菌も死滅し亜硝酸は消えていきます。

さらに酸性が強くなると乳酸菌自体も弱ってきます。このころになると糖分やアミノ酸も増え、酸性に強い清酒酵母の増殖する条件が整ってきます。


暖気入れ・暖気操作
(暖気廻しという操作で、暖気樽を手に持って回している。)

そこであらかじめ培養した優良清酒酵母を添加します。昔は蔵付き酵母が自然に増殖したり、既に発酵している酒母の一部を添加したりしました。酒母造りの後半になれば、残っている乳酸菌も生成したアルコールにより死滅し、結果的に清酒酵母だけが純粋に培養されます。

【山廃酛 –生酛の改良型–】

ラベルに大きく「山廃(やまはい)」とか「山廃仕込み」という名前が書かれて販売されている商品があります。「山廃」というのは「山卸廃止酛」の略で、「生酛」で最も大変な作業であった「山卸」という作業を廃止したという意味です。物理的に潰して溶かすのではなく麹の酵素の力で蒸米を溶かそうという考え方です。生酛に比べると製造操作に要する時間・労力・器具・場所の節約になります。この方法は、明治42年(1909年)に当研究所の前身の醸造試験所で開発されました。清酒のできあがりや酵母の性質において、生酛と山廃酛の間には大きな違いはないといわれています。



【速醸酛】

生酛は、清酒を微生物が作ることなど全く分からなかった時代に先人たちが完成させた実に巧妙な技術ですが、一方で乳酸菌の仲間には清酒を腐らせる菌もいますので、うまくコントロールしないと悪い菌を増やしてしまうことにもなりかねません。昔は暖冬の年などに酒母が悪い菌に汚染され、発酵中の醪が腐るということがよくありました。ちょうど米や野菜の栽培で、苗が病気にかかっていたらうまく収穫できなくなるのと同じです。また、生酛を造るには4週間という長い期間と多くの手間がかかります。

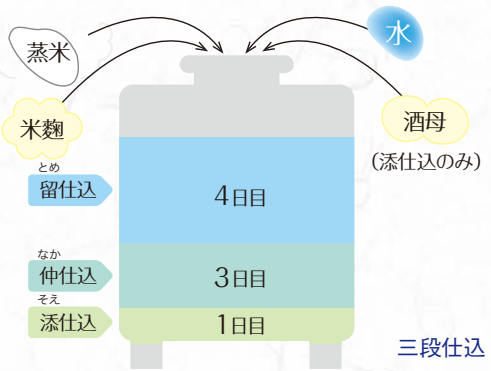
そこで、乳酸菌の代わりに高純度の乳酸(醸造用乳酸)を添加して酒母を造る技術が、山廃酛が開発されたのと同じ明治42年(1909年)に同じく醸造試験所で開発されました。生酛では乳酸菌が乳酸を作るまでに2週間ほど必要ですが、乳酸を使用すればこの期間が不要になります。この造り方は酒母が早くできあがるため、「速醸酛」と呼ばれています。現在では、清酒の大半がこの速醸酛で造られています。

醪

酒母に、水、米麹、蒸米を加える仕込を行い、本格的に清酒造りを始めたものを醪といいます。

仕込量は白米の重量で換算し、小さいものは数百キログラムの規模ですが、大きいものでは10トン以上になります。通常は仕込量の3倍以上の容量の発酵タンクを使いますので、仕込量が10トン以上の醪の仕込みには30kL以上の発酵タンクが使われていることになります。発酵タンクに仕込む蒸米と米麹の量は、蒸米77、米麹23(いずれも白米換算、kg)、水130(L)の比率が標準です。

醪は一度に全量を仕込むのではなく、3回に分け、4日間かけて仕込みます。3回に分けて量を徐々に増やしながら仕込むことから、「三段仕込み」といわれています。これは、酵母が過度に薄まってアルコール発酵が遅れたり雑菌が繁殖するのを防ぐためです。



三段仕込

1日目は「添仕込」、2日目は仕込を行わず、酵母の増殖を待つので「踊り」といいます。3日目は「仲仕込」、4日目は「留仕込」といいます。

清酒には低温発酵が適しています。温度が低いと酵母の活動がほどよく抑えられてアルコール発酵がじっくりと進み、きめの細かいおいしい清酒ができるからです。

醪の発酵温度は10〜18℃が一般的です。仕込みから1週間ほどで発酵が盛んになり 、3週間前後で落ち着いてアルコール分は18〜20%ほどになります。

泡あり酵母と泡なし酵母

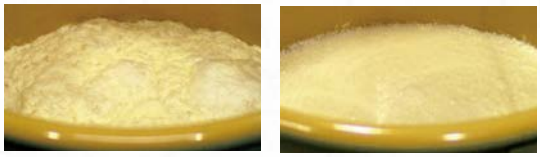
清酒酵母は普通、醪を仕込んでから4日目から10日目くらいまで、醪の表面を覆うようにこんもりとした泡の層を形成します。これが清酒酵母の特徴でしたが、泡の層を作らない泡なし酵母が大正5年(1916年)に醸造試験所と広島税務監督局で別々に報告されました。

泡が無くなると 、蔵人が泡の付いたタンク壁を掃除する「泡掃除」という作業から解放されます。発酵旺盛で泡が吹きこぼれてしまう心配もありません。さらに、泡が上がらない分、同じタンクにたくさんの醪を仕込めるようになります。このような多くのメリットがありましたが、当時の生産体制では泡なし酵母は省みられることがありませんでした。

その後、昭和38年(1963年)になると、清酒の製造が需要に追い付かない時代が訪れ、泡なし酵母は増産に役立つことから一躍脚光を浴びるようになります。

試験所職員は研究を重ね、ついに「きょうかい7号酵母」から泡なしの変異株の取得に成功しました。昭和46年(1971年)にこの変異株は「きょうかい701号酵母」と名付けられ、頒布が開始されました。現在では数多くの清酒が泡なし酵母で醸造されており、それまで「さがす」だけであった実用酵母の育種方法に、「つくる」という方法論が加えられる画期的な成果となりました。

その後、現在の酒類総合研究所となってからも酵母の作る泡に関する研究が続けられ、酵母が高泡を形成するために必要な遺伝子である*AWA1*遺伝子を特定しました。この発見によって、*AWA1*遺伝子の存在や発現の有無を検出することで、泡なし酵母を効率的に育種できるようになりました。


泡あり酵母　泡なし酵母

搾る・仕上げる



上槽(搾り・圧搾)

上槽とは、熟成した醪を清酒(液体分)と酒粕(固体分)に分ける工程です。酒粕の主な成分は溶け残った米や麹と酵母等です。上槽では、温度を低く保ち、過度の加圧を避け、清酒と空気の接触をできる限り避ける工夫をしています。清酒に限らず、お酒は空気中の酸素との接触で品質が劣化するからです。この作業には、酒袋と呼ばれる木綿などで作られた筒状の袋に醪を入れて吊るし、自然に滴る清酒を採る「袋つり」や、槽(ふね)や自動醪圧搾機と呼ばれる圧搾装置を使う方法があります。


槽(ふね)

槽を使う場合、醪を入れた酒袋を槽の中に並べて積み重ねていきます。酒袋を重ねると、醪自身の重さで醪が搾られ、垂口(たれくち:搾られた液体分が圧搾装置から出てくるところ)から清酒が出てきます。初めに出てくる清酒は濁っていますが、次第に酒袋の布目に米の溶け残りなどが詰まって、透明な清酒が滴るようになります。特に最初に垂口から出てくる清酒を「荒走り(あらばしり)」といいます。自重で自然に搾られる清酒が少なくなってきたら、酒袋の上から加圧して醪を搾ります。槽の上部にはプレス機が付いていて、段階的に圧力を上げながら少しずつ醪を搾っていきます。搾り始めてからの時間や圧搾圧力の違いにより、同じ醪からできた清酒でも少しずつ違った香味が得られます。


槽の中に、酒袋に入れた醪を並べて搾る。


自動醪圧搾機

自動醪圧搾機を使った上槽では、左の機械のような横に並ぶ圧搾布のついたプレートの間に醪を流し込み、プレートに付いているゴム袋に高圧の空気を送り込んで横から加圧して搾ります。

滓引き(おりびき)・ろ過

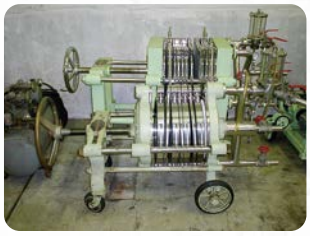
上槽直後の清酒は、右上の図のように白く濁っています。濁りの成分は酵母や米・米麹の細かい粒子で、「滓(おり)」とよばれています。滓引きとは、上槽後の清酒から滓を取り除く工程です。上槽後の滓の中でも酵母は生きているため、温度によっては再発酵を始めたり、場合によっては自己消化(死滅)したりします。また、麹や酵母由来の酵素により成分が変化しますので、清酒を長期間滓と接触させたままにすると清酒中のアミノ酸や糖分等が増加し、品質劣化の原因となります。通常、上槽後の清酒は低温で貯蔵・保管しておき、滓が沈んで来たらこれを取り除く滓引きをします。


上槽直後の清酒(荒走り)

低温で置いておくと、白い濁りがびんの底に沈んで「滓」となる。

最初の滓引きは一般的に上槽から5～10日で行います。滓の量は上槽の方法によっても異なり、自動醪圧搾機で搾った清酒は滓が少ないためこの作業を省略することもあります。その場合には、ろ過機を使って滓引きろ過を行います。

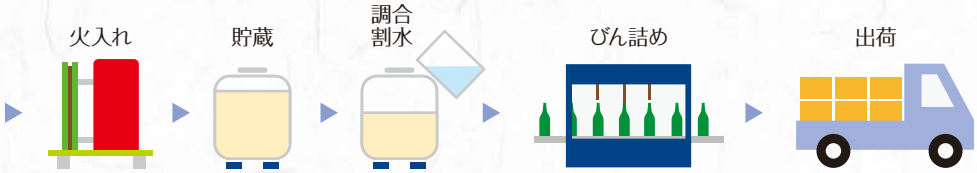
ろ過とは、搾った清酒に混じっている細かい懸濁物(滓や微生物等)を目の細かいフィルターなどでこして分離する工程です。ろ過には、滓引きのためのろ過、香味調整のための活性炭ろ過、びん詰め直前の仕上げろ過などがあります。


フィルタープレス型ろ過機

香味調整のための活性炭ろ過では、清酒の中に醸造用活性炭を加えます。活性炭の表面にはたくさんの極微小な穴があり、色や味、臭いの成分を吸着します。この性質を利用し、清酒の着色成分や雑味成分を取り除くことで、熱や光の影響による清酒の着色や過熟を防ぐことができます。搾りたての清酒はうっすらと黄色がかった色をしていますが、活性炭ろ過をすることで無色透明に近い清澄な清酒となります。目的とする清酒の品質により、活性炭の使用の有無や使用量を調節します。

火入れ(殺菌・加熱処理)

火入れとは、清酒を加熱して殺菌と品質の安定化を図る工程です。搾りたての清酒は新酒ならではの美味しさもありますが、麹や酵母由来の酵素が働いています。そのまま長期間放っておくと次第に甘味が増し、「ムレ香」と呼ばれる少々不快な臭いが発生するなど、その品質はとても不安定です。この酵素は、滓引きやろ過では取り除くことができません。また、殺菌されていませんので、清酒の品質を劣化させるアルコールに強い乳酸菌(火落菌(ひおちきん)といいます)が繁殖する可能性があります。そこで清酒を60～70℃程度まで加熱し、火落菌などを殺菌するとともに、



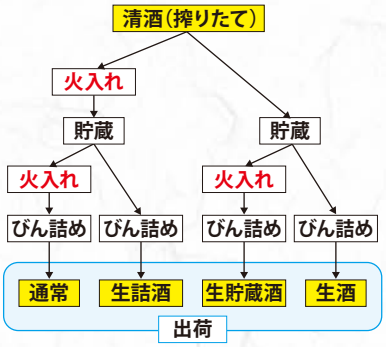
酵素の働きを止めて品質の安定化を図るため加熱処理(火入れ)を行います。

清酒では、一般的に火入れを2回行います。1回目は貯蔵前、2回目はびん詰め直前又は直後です。火入れには、ホースを通してタンクからタンク又はタンクからびんへ移動する間に火入れ機(熱交換機)を通して加熱する方法と、清酒をびんに詰めてからお燗のように清酒の温度を上げる方法(びん火入れ)があります。


火入れ機(プレート式熱交換機)

清酒の火入れ作業には通常火入れ機(熱交換機)を使います。一方、びん火入れは細かい温度管理ができるため、特に吟醸酒で多く行われます。これにより吟醸香の成分が揮散しにくく、吟醸酒の特徴的な香味が失われにくくなります。

一方、火入れを行わない清酒もあります。火入れを1度も行わずに貯蔵・びん詰め・出荷される清酒が「生酒」です。通常、生酒は低温貯蔵や特殊なろ過を行うことで品質の変化を防いでいます。加熱を行わないためにフレッシュな味わいを楽しむことができます。また、貯蔵前のみ火入れをし、びん詰めの際に火入れをしない清酒は、生のままびん詰めするので「生詰酒」とも呼ばれます。反対に、貯蔵前に火入れせず、びん詰めの時だけ火入れした清酒は、生のまま貯蔵されているので「生貯蔵酒」と呼ばれます。



火入れの回数と清酒の区分

貯蔵

火入れ後の清酒は主に貯蔵タンクに入れて貯蔵します。貯蔵タンクの中では静かに熟成が進み、やがて搾ったばかりの新酒とは違った旨味やまろやかさが増していきます。安定した熟成を行うためには、貯蔵タンクの温度変化が少ないことが重要です。

調合・割水

調合とは、複数のタンクで造られた清酒を混ぜ合わせる工程です。清酒造りには麹菌や酵母の働きを利用するため、同じ配合で仕込んでも米の原料処理や麹・醪の温度経過によって清酒の成分に差が出ることがあります。一年を通じて安定した品質の製品を出荷するために、調合が必要となるのです。調合の作業は、ろ過の後やびん詰めの前など、主に清酒をタンクから移動する際に合わせて行います。

割水とは、清酒に水を加えることにより清酒のアルコール度数を調整する工程です。上槽後の清酒のアルコール度数は通常18～20%程度と少し高いので、アルコール度数を15～16%程度になるように水を加えて飲みやすく調整します。割水には、仕込み水に使ったものと同じ高品質の水を使います。

割水を行わない清酒もあります。これが「原酒」です。一般に原酒はしっかりした味わいが特徴ですが、アルコール度数が高いため飲み過ぎには注意が必要です。

びん詰め・出荷

びん詰めは清酒の製品化の最終工程です。異物混入や微生物混入を防止するため、衛生環境の維持などに特に注意が払われています。そのため、麹菌や酵母などを取り扱う製造場とびん詰めの作業場を明確に仕切ったり、異なる場所(建物)に設置したりする清酒製造場もあります。

びん詰めには専用の機械などを使用し、既定の内容量を充填して栓をします。生酒や生詰酒を除き、びん詰めの際には火入れを行います。前項の「火入れ」で紹介したびん火入れ以外にも、加熱した熱い清酒をびんに詰め、栓をしてから冷却する熱酒びん詰めと呼ばれる方法があります。この方法では、びん容器と中身の清酒が高温で殺菌されると同時に、清酒の蒸気でびんから空気が追い出されて内部の酸素が減少します。そのため空気中の雑菌による汚染と清酒の酸化による劣化を防ぐことができます。


びん火入れ


充填機

清酒をびんに詰めた後、ラベルを貼れば、商品としての清酒の完成です。ラベルの貼られた清酒は紙製や段ボール製の箱、専用のプラスチック箱に入れて出荷されます。

清酒を楽しむ



熟成期間と香味の変化

【ひやおろし（冷卸し）・搾りたて】

通常、清酒はタンクやびんで貯蔵され、半年から1年程度かけて熟成され、通年で出荷されます。一般に温度が高いほど熟成が早く進むため、夏を越えた秋にはほどよく熟成して口当たりのいいまろやかな味わいの清酒になります。この時期に出荷される清酒に「ひやおろし」があります。法的な定義はありませんが、一般的にひやおろしは貯蔵の前に火入れし、秋のびん詰め前には火入れをしない（「冷や」の）ままで貯蔵タンクから出し（「卸し」）て出荷する生詰酒を指しています。

一方で、熟成させずに出荷する清酒もあります。毎年冬から翌年の春にかけて、清酒製造場や店頭で多くみられる「搾りたて」の清酒です。この搾りたては、一般的にその酒造年度（酒造業界の1年は7月1日から翌年6月30日まで）に造った清酒（「新酒」）で、火入れをしていない生酒であり、貯蔵による熟成のほとんどないフレッシュな清酒です。

【長期熟成酒（古酒・長期貯蔵酒・秘蔵酒）】

貯蔵技術があまり発達していなかった頃は、清酒の香味をある程度の品質で1年以上保持するのは大変難しいことでした。一方で、最近では貯蔵技術の発達や貯蔵方法の工夫により、意図的に長い期間貯蔵して新酒の時には無かった味わいを生み出そうとした清酒が造られています。これが長期熟成酒と呼ばれるものです。

清酒を長い期間貯蔵していると、火入れをした清酒であっても少しずつ着色し、山吹色、琥珀色といった色調へと変わります。これは、貯蔵中に清酒の中の糖分とアミノ酸が反応し、メラノイジンという着色物質が作られていくからです。また、香りはカラメルやハチミツ、木の実やスパイスなどを感じさせる複雑な香りに変わっていきます。これも糖分とアミノ酸の反応や、アミノ酸の分解などで作られていくと考えられています。味は口当たりがなめらかになっていきますが、苦味成分の増加で貯蔵前とは異なり、味の複雑さやコクが生まれ、ボリューム感が広がるようになります。



清酒の貯蔵による香味の変化

純米酒のように味のしっかりした清酒は、色が濃く、香味も複雑で力強いタイプの長期貯蔵酒となります。また、吟醸酒のように味が繊細で香りのある清酒は低温で貯蔵されることが多く、色の淡い香味の穏やかな淡麗タイプの長期貯蔵酒になります。

古酒は新酒の対語で、前の酒造年度以前に造られたお酒を呼びます。長期貯蔵酒のうち、特に貯蔵期間の長いものは、○年貯蔵酒や大古酒（だいこしゅ・おおごしゅ）とも呼ばれ、5年以上貯蔵した清酒には秘蔵酒という名称が付けられることがあります。

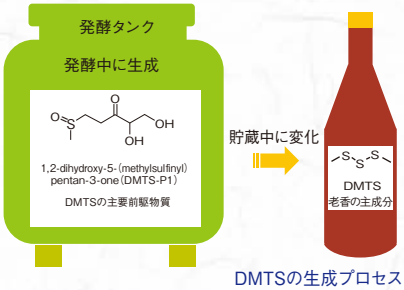
老香と熟成香

従来、清酒の貯蔵・流通過程で生じる香りは「老香（ひねか）」と呼ばれていました。老香にも色々な香りがありますが、そのうち数か月～2年程度の比較的短い貯蔵・流通の間に生じるたくあんのような臭いが強いと品質が劣化したと感じられます。一方、数年・数十年の単位で長期熟成させた清酒（長期熟成酒）のカラメルのような香りは「熟成香」と呼ばれ、長期熟成酒の特徴香（よい香り）として認識されています。しかし、これまで劣化臭も熟成香もあまり区別されていませんでした。

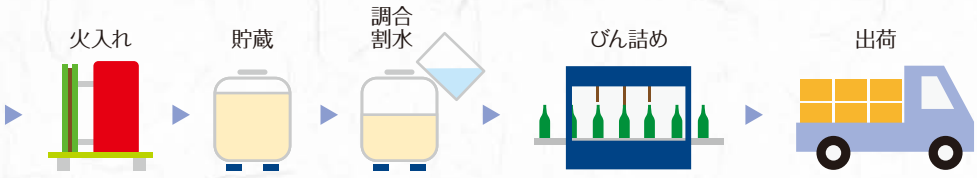
そこで、当研究所では劣化臭を老香と定義し直し、老香と熟成香に関する研究を開始しました。その結果、老香のたくあんのような臭いはジメチルトリスルフィド（DMTS）という物質が主成分であること、また熟成香のカラメルのような香りは既に貯蔵清酒の主要香気成分であるとわかっていたソトロンが大きく関わっていることを明らかにしました。

次に、老香成分DMTSができる原因を研究し、酵母がDMTSのもととなる物質（前駆物質、DMTS-P1）を作ることや、様々な醸造条件がDMTSのできやすさに影響することを明らかにしました（詳しくはNRIB（エヌリブ）第24号をご覧ください）。

清酒の品質を長く保つことができるよう、現在もDMTSを低減させるための研究に取り組んでいます。



DMTSの生成プロセス



清酒の保管

清酒のおいしさを保持するためには、正しく保管することが重要です。ここでは、家庭での清酒の保管方法について紹介します。

清酒は光、高温、酸素により劣化します。特に直射日光にさらされることと、高い温度や急激な温度変化は、清酒が大変苦手とするところです。そのため、暗くて涼しい場所へ保管することが基本です。また、未開栓の清酒でも、防虫剤や石鹸などの香りが強いものの近くに置くと香りが移ることがありますので注意が必要です。

生酒など「要冷蔵」と書かれた製品は必ず冷蔵庫で保存してください。清酒の生酒はお酒の中の酵素がまだ働いていますので、生ビールと比べて品質が早く大きく変化します。「要冷蔵」以外の清酒は、紙巻きや箱入りのものはそのまま、暗く涼しい場所に保管します。

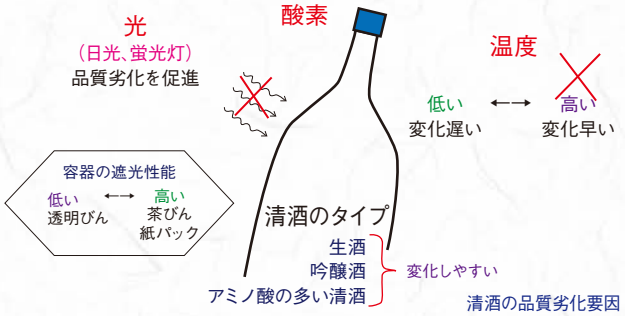
1回栓を開けてしまった清酒はどうすればいいでしょうか。1回栓を開けた清酒は、光と温度に注意して保存することはもちろんですが、びん内に入った酸素などの影響も受けてしまいます。そのため、できるだけ早めに消費したほうが良いでしょう 。

【清酒の劣化のメカニズム –光と温度の影響–】

清酒の保管で注意しておきたいことは、清酒、ビール、ワインなどの醸造酒は焼酎やウイスキーなどの蒸留酒よりも品質変化しやすいということです。

なぜ醸造酒の方が変化しやすいのでしょうか。それは、醸造酒には糖分やアミノ酸など多くの成分が含まれているからです。これらの成分は蒸留しても気体にならないため、蒸留酒には含まれません。糖分やアミノ酸などは清酒の味わいの特徴となる成分ですが着色や様々な香りと味の変化を引き起こす原因にもなります。

光が品質劣化の要因になるなんて不思議だと思われるかもしれませんが、光の中の紫外線には人間にも日焼けをもたらすなど強力な作用があり、清酒中に含まれる成分の化学反応を引き起こします。その結果、着色や香りの劣化、



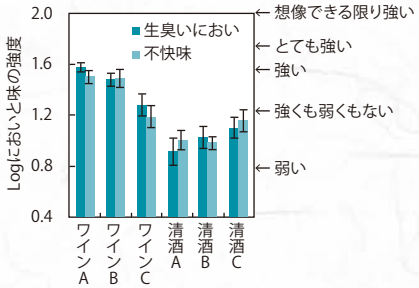
清酒の品質劣化要因

清酒と料理の相性

清酒だけ飲んでもおいしいのはもちろんですが、料理を食べながら清酒を飲むことでおいしさが格別に引き立つことがあります。経験的には、湯豆腐などのさっぱりした和食には清酒がよく合います。また、清酒の甘辛や濃淡などの味わいは地域によって様々ですが、郷土料理と一緒に頂くとおいしさが引き立つことが知られています。フランスでは料理とワインの関係がマリアージュ(結婚)に例えられ、一般的に“鳥肉、魚料理と白ワイン”、“赤身の肉料理と赤ワイン”は相性が良い組合せとされています。

お酒と料理の相性やその科学的な原因については、様々な情報があります。日本の大手洋酒メーカーの研究によれば、①おでんの大根などは清酒との相性は良いが、赤ワイン・白ワインとの相性は良くない、一方、カマンベールチーズとそれぞれの相性はその逆、②「相性が良い」場合、お酒と料理の両方から見て「うま味が増す」「後味がすっきりする」などの効果があるのに対し、「相性が悪い」場合は、料理の「生臭い香りが増加」「嫌な味が残る」などの影響がある、③ワインに含まれる鉄が魚介類に含まれるドコサヘキサエン酸(DHA)などの多価不飽和脂肪酸の酸化を触媒し、生臭みの原因になる成分を生じる、との報告があります。

当研究所でもお酒と料理の相性について取り組んでいます。その結果、ワインに含まれる亜硫酸も、するめ中のDHAから生臭み成分と苦味を生じさせる原因であることがわかりました。するめと白ワインと合わせると生臭みが強く感じられますが、清酒と合わせると生臭いにおいや不快な味はほとんど感じられません。これは、清酒には亜硫酸も鉄もほとんど含んでいないためと考えられ、魚介類、特に和風の魚料理には清酒が合うことが科学的に裏付けられました(詳しくはNRIB(エヌリブ)第21号をご覧ください)。



“するめ”を噛みながらお酒を口に含んだ時に感じた生臭いにおいと不快味の強度
(ラベルドマグニチュードスケール, 平均値 ± 標準誤差(n = 18))
“するめ”との組み合わせで感じる生臭いにおいと苦味・えぐ味等の不快味が清酒では白ワインよりも弱くなります

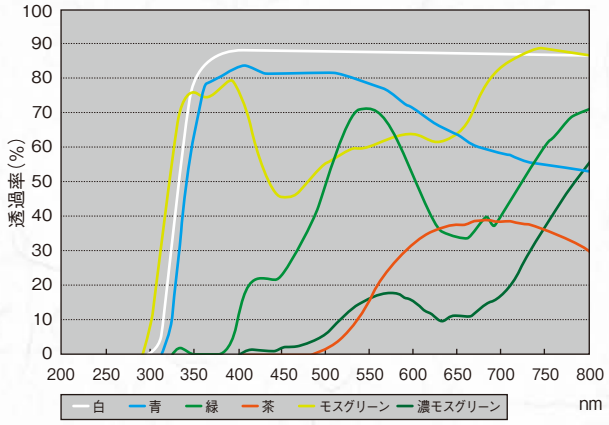
清酒を楽しむ

苦味の増加などを引き起こします。光によって生じる臭いを日光臭（又は、けもの臭）といいます。日光だけでなく、蛍光灯の光でもゆっくりと劣化が進むので注意が必要です。

当研究所では、清酒を入れるびんの色と光による影響との関係についても研究を行いました。光には波長によって様々な種類があり、ヒトの可視光は約380nmの紫色～780nmの赤色の波長の光で、清酒中の成分の化学反応を引き起こす紫外線は約400nm以下の波長の光です。

下の図は、ガラスびんの色と光を通過する性質を調べたグラフです。茶色のびんは紫外線を含む450nm以下の光を通しませんが、透明（白）びん、青色びん、モスグリーンびんは紫外線を通します。なお、缶や紙パックの製品は紫外線をほとんど通さないため、光の影響をほとんど受けません。清酒やビールのびんに茶色が多いのは、紫外線を通過させないためなのです。

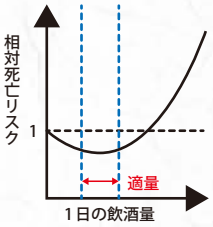
一方、温度の影響ですが、糖分とアミノ酸が多く含まれる清酒では高温でメイラード反応という褐変（着色）反応が起こり始め、着色して甘く焦げた香りが生じます。これ以外の反応も温度が高いほど早く進むため、早く劣化してしまいます。



着色びんの透過光スペクトル

清酒は、酒造り現場の造り手たちが培ってきた確かな技術によって造られ、高い品質を保ったまま消費者の手元に届きます。そして、それらの技術の背景は当研究所も含めた研究機関によって解明されてきました。長年の科学と技術の結晶体であることを思い浮かべながら清酒の香味を楽しむと、ひと味違った一杯になるかもしれません。

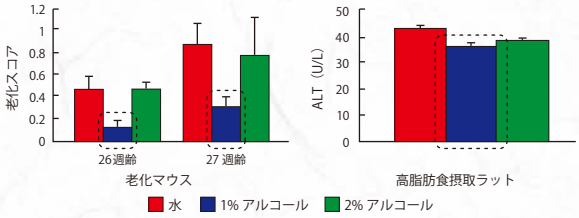
アルコールとJカーブ効果



Jカーブ効果

古くから「酒は百薬の長」と言われ、適量飲酒が健康維持に役立つとされてきました。一方で、多量のアルコール摂取は肝障害やがん、脳疾患など様々な疾病の危険因子となります。飲酒と健康については様々な調査が行われており、「適量のお酒を飲んでいる人の方が、お酒を全く飲まない人や大量に飲む人に比べて死亡率が最も低い」という発表もされているため、飲酒量と死亡率の関係を示したグラフの形から「Jカーブ効果」として提唱されるようになります。しかしながら、このJカーブ効果は生理学的な実験は行われておらず、科学的に明確な根拠に乏しい理論となっていました。

そこで、当研究所では少量のアルコールを動物に摂取させて健康への影響を調べるという実験を行い、Jカーブ効果を検証しました。低濃度（1%）のアルコールを摂取したマウスやラットは下図に示すとおり老化しにくく、肝障害にもなりにくいことが分かりました。このことから、少量のアルコール摂取は健康に良いということがわかりました。一方で、Jカーブの形が示す通り過度のアルコール摂取は様々な疾病の危険因子となることも示唆しています。「お酒は健康に良い」ではなく、「"適量"のお酒は健康に良い」と覚えてください。また、この結果はアルコールに弱い方に無理に飲酒をすすめるものではありませんので、ご注意ください。



アルコール摂取量と老化スコア（左図）、ALT（右図）の関係

1%アルコールを摂取した老化の起こりやすい老化マウスと肝障害の起こりやすい高脂肪食摂取ラットで、どれだけ老化が進んだかを示す老化スコアの値と肝機能の低下（肝障害）の指標となる酵素ALTの値がそれぞれ低くなっているのがわかります。

本研究は当研究所、広島大学、ビール酒造組合との共同研究として実施されました。

発行
独立行政法人
酒類総合研究所
National Research Institute of Brewing
ホームページ
〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-7-1
☎ 082-420-0800（代） FAX 082-420-0802
e-mail：kouhou_info@nrib.go.jp
本誌に関する問い合わせは、広報・産業技術支援部門まで

平成28年2月 初版
令和7年11月 第6版・2刷