

日本酒づくりとサイエンス

酒ミュージアム(白鹿記念酒造博物館) 学芸員 宮丸 晶

1. はじめに

兵庫県の西宮市から神戸市にかけて瀬戸内海沿いに広がり、日本一の酒どころとして知られる地域を「灘五郷」と呼びます。その中でも東部の「西宮郷」に位置する博物館が酒ミュージアム(白鹿記念酒造博物館)です。清酒「白鹿」醸造元の辰馬本家酒造株式会社によって昭和57(1982)年に設立されました。明治の木造蔵を利用した「酒蔵館」では酒造りの工程を学ぶことができるほか、「記念館」では四季折々の企画展をはじめとする美術工芸品や歴史史料の展示を開催しています。

本稿では昔から日本人の食文化を豊かにしてきた日本酒について、灘の酒造りを例に科学の視点を交えてご紹介します。



図1. 酒ミュージアム 酒蔵館外観

2. 日本酒ができるまで

① 原料処理(精米・洗米・浸漬・蒸米)

日本酒の原料は米です。酒造りでは様々な工程を経て米に含まれるでんぷんをアルコールに変えていきます。酒造りで使用する米は酒米(酒造好適米)と一般米に分けられ、代表的な酒米に「山田錦」があります。兵庫県生まれの品種で、一般米に比べて粒が大きく、心白があるのが特徴です。心白とは酒米の中心にある白く曇った部分(図2)のことです。心白の部分は周りよりもでんぷんの粒の密度が低く、隣り合う粒の間に様々な大きさの隙間があります。そのため、心白の部分に入射した光がその隙間で乱反射して私たちの目に届き、白っぽく見えます。なぜ心白の存在が酒造りにおいて重要なのかは、後ほどご紹介します。



図2. 山田錦の玄米
白く曇った心白がある

ここからは工程順にご説明しましょう。まずは、米を削る工程(精米)です。米の外側部分には脂肪やたんぱく質が含まれており、それらから派生する物質は酒に雑味をもたらし、香り成分(エステル等)の生成を阻害する原因になります。そのため、玄米をそのまま使うのではなく、外側を削った米を使うことで品質の良い酒を造ることができます。例えば大吟醸酒と呼ばれる日本酒は、玄米の外側を50%以上削った米

を原料に使っています。

続く洗米行程では、削った米についた糠を洗い落とし、浸漬工程では米を水に漬けて吸水させます。米の品種や精米歩合(外側を削った後に残った米の割合)、水温などの様々な要因で吸水の割合が変化するので、浸漬時間を注意深くコントロールしなければなりません。

米が適度に水を吸ったところで、蒸米工程に移ります。蒸すことで米に含まれるでんぷんが α 化され、糊状になります。蒸し具合がとても重要で、程よく硬さが残り、かつ次の工程で麹菌が米の内部へ菌糸を伸ばしやすい「外硬内軟」の蒸米を作るため、吸水率と蒸す時間を工夫しています。

昔は甑こしきという道具の中に吸水させた米を入れ、お湯を沸かした釜の上に乗せることで蒸していました。現在は米をベルトコンベアに乗せ、蒸気の中を移動させながら蒸すという連続蒸米機が主に用いられています。この工程では米の蒸し具合を確認するため、蒸したての米を少量取って板に押し付けて練ることで「ひねりもち」を作ります。この作業で用いられる木製の道具「ぶんじ」(図3)は、今も昔も変わらず酒造りの現場で活躍しています。



図3. ぶんじを使ってひねりもちを作る

② 製麹せいこう

蒸し上がった米は32℃前後まで冷やされ、麴室こうむるまたは製麴機へ運ばれます。ここで活躍するのが、黄麴菌(*Aspergillus oryzae*:アスペルギルス・オリゼー)です。カビの一種で、平成18(2006)年に日本醸造学会によって日本の「国菌」として認定されました。種麴(麴菌の孢子)を蒸米に振り掛けて2日間かけて増殖させ、米麴(図4)を作ります。麴菌は米の内部へ菌糸をのばし、放出する酵素の力で米のでんぷんをブドウ糖に分解(=糖化)(図5)します。でんぷんの粒の間に隙間が多いほど菌糸が入り込みやすいため、①でご紹介したように心白のある米を原料に使うことで強い糖化力を持つ米麴を作ることができます。



図4. 米麴



図5. 麹菌による糖化

ちなみに、私たちが食事をする際に米をしばらく噛むと甘くなるのは、この糖化反応と同じ原理です。米のでんぷんを糖に分解する消化酵素アミラーゼは人間の唾液に

も含まれます。はるか昔、麴菌が使われるようになる前まで日本酒の歴史を遡ると、原料の米を口で噛んで造る「口噛み酒」という実に原始的な酒に行きつきます。

③ 酏(酒母)造り

米麴ができれば、次は酏を仕込みます。蒸米、米麴、水を混ぜ合わせてすりつぶし、酒造りに欠かせない清酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*: サッカロマイセス・セレビシエ)を培養する工程です。酵母は、ブドウ糖をアルコールと二酸化炭素に変換(=発酵)(図6)するという働きがあります。酏造りにおいて重要なのは、酏を酸性に保つことです。清酒酵母は酸に強く、他の微生物や雑菌が生きられない酸性条件下でも活動することができます。そのため、酏を酸性に保つことで雑菌による汚染を防止し、清酒酵母を育てることができるのです。

酏は、主に「生酏」「山麴酏」「速醸酏」の3つに分けられます。生酏と山麴酏は酒蔵の中に生息する天然の乳酸菌を取り込み、その乳酸菌が作り出す乳酸を用いて作られる酏です。生酏の特徴的な製法として図7のように半切桶の中に原料を入れ、櫂という長い棒ですりつぶす山卸しがあります。山卸しを廃止して作業を省力化したものが山麴酏で、嘉儀金一郎郎によって明治42(1909)年に開発されました。

一方、明治43(1910)年に江田鎌治郎によって考案された速醸酏は、天然の乳酸菌による乳酸の生成に頼らず、醸造用乳酸を添加して作られる酏です。仕込みの最初から酸性にすることで酵母の育成日数を短くできるうえ、安定した品質の酏が得られます。現在は、ほとんどの酏がこの製法で作られています。



図6. 酵母による発酵



図7. 酏造りの様子(酒蔵館展示)

伝統的な酒造りでは、乳酸によって他の微生物や雑菌が淘汰された後、酒蔵に住みついている酵母(蔵つき酵母)が増殖するのを待つという方法が用いられていましたが、自然の力に頼るため酒質が安定しづらいという特徴がありました。科学技術の進歩とともに酵母に関する研究が進み、様々な優良酵母が発見・分離されることで、酏造りにおいても安定して酵母が供給できるようになりました。例えば日本醸造協会が培養して全国の酒蔵に頒布している「きょうかい酵母」は、きょうかい1号、2号…というように番号がつけられ、それぞれに特徴があります。また、発酵の際に発生する二酸化炭素の泡が醪の液面にできず、醪がタンクからあふれる心配がないなど様々なメリットのある「泡なし酵母」も開発され、きょうかい601号、701号…というよ

うに番号の後ろに「01」をつけて頒布されています。ちなみにきょうかい1号は、明治39(1906)年に灘五郷のうち神戸市に位置する「魚崎郷」にある櫻正宗(櫻正宗株式会社)の酒蔵で造られた酏から分離された酵母です。

④ 醪仕込みもちみ

酏ができれば米麴と蒸米、水を加えて醪を仕込み、酵母による発酵を促していきます。しかし一度に大量の原料を加えると酸性度が下がり、雑菌が繁殖する恐れがあります。そのため、段階に分けて仕込みを行います。一般的には、初日に原料を加える「初添」、翌日は酵母の増殖を待つため仕込みをしない「踊り」、その翌日に再度原料を加える「仲添」、さらにその翌日に原料を加える「留添」に分かれます。この場合は三段階に分けて仕込みが行われることから、三段仕込みと呼ばれます。その後酵母による発酵が進み、20日～1か月程度で酏が完成します。

醪仕込みでは、一つのタンクの中で糖化と発酵の2つの反応が同時に起こります。これがまさに日本酒独自の製法であり、並行複発酵と呼ばれます(図8)。他の酒類を例に挙げると、ワインの原料であるブドウには元々ブドウ糖が含まれています。この場合は糖化のプロセスがないことから、単発酵と呼ばれます(図9)。ビールは日本酒と同じく糖化と発酵を経て作られますが、日本酒のように一つのタンクの中で同時に反応させるのではなく、それぞれ別の工程で順番に反応させていくことから単行複発酵と呼ばれます。ちなみに、清酒酵母・ワイン酵母・ビール酵母というように、それぞれの酒を造るのに適した酵母が用いられています。



図8. 日本酒の製法(並行複発酵)

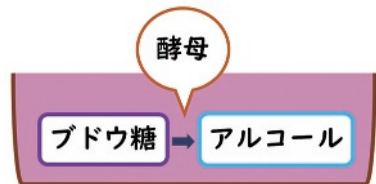


図9. ワインの製法(単発酵)

また、醪仕込みの工程において発酵の状況を知るための重要な指標の一つに、醪のポーム度があります。ポーム度とは比重を表し、ここでは醪と水の密度の比を計測します。具体的には、蒸米のでんぷんが麹菌の働きで糖化されると、糖は水よりも比重が大きいため醪のポーム度は上がり、発酵が進んで糖が酵母によってアルコールに分解されると下がります。このように、ポーム度の増減は醪の中で起こっている糖化と発酵のバランスを知るための判断材料として役立ちます。ちなみに日本酒のラベルに記載されていることがある日本酒度というのは、ポーム度に-10を掛けた値です。マイナスの値が大きいほど糖の含有量が多いということになるので甘口、というように味わいの参考になります。

⑤ 上槽じょうそう(搾り)・火入れ・貯蔵

醪ができれば、自動圧搾機で酒と酒粕さかぶくろに分離します。昔は醪を酒袋かふねに詰め、槽と呼ばれる大きな道具に入れ、石の重さを加えてしぼっていました。しぼったばかりの酒にはタンパク質や酵母などが残存しているため、タンクの中で静置して沈殿させてから濾過します。生酒や生貯蔵酒と呼ばれる酒はそのまま貯蔵し、その他の酒は火入れ(加熱殺菌)をしてから貯蔵します。火入れと言っても沸騰させるわけではなく、60℃～65℃程度まで加熱します。腐造の原因となる火落菌などを殺菌し、残存酵母を失活させることで酒を安定して熟成・貯蔵することができます。

このように、日本酒は麴による糖化と酵母による発酵という2つの反応を組み合わせさせて造られます。昔は微生物の存在を知らずに酒造りが行われていましたが、1674年にレーウエンフックによって顕微鏡が、1866年にパスツールによって低温殺菌法が発明されると、明治時代以降に日本にも伝わり、酒造りのプロセスが科学的に解明されていきました。また、木製の酒造道具を使って全て人の手で行われていた作業も時代の流れとともに機械化が進みましたが、酏や醪のボーメ度を測定して加水量や温度の調整を行うなど、現代の酒造りにおいても杜氏の経験的知識が活かされています。

3. 灘の酒造りを支える水

ここまで基本的な酒造りの工程を見てきましたが、灘の酒造りを語るうえで欠かせない「宮水」についてご紹介します。宮水は、六甲山に降り注いだ雨が3本の伏流水となって西宮市内まで流れ、地下で交わることでできます。かつて海だった場所を流れる「法安寺伏流」「札場筋伏流」の2本は、ミネラル分や鉄分を含みます。一方、「戎伏流」は砂が多い地層を流れるため空気を多く含み、鉄分を酸化鉄として除去することができます。これらの伏流水が交わることで、酵母の増殖を促すリンやカルシウムをはじめとするミネラル分が豊富、かつ酒質に悪影響を及ぼす鉄分が少ないという酒造りに最適な水質を実現しています。3本の伏流水が交わるという条件から非常に限られた場所でしか採れないため宮水は灘の他の酒蔵からも多くの需要があり、水樽に詰めて大八車(図10)で港まで運ばれたのち、船で出荷されていました。



図10. 大八車(酒蔵館展示)

4. 吟醸香を構成する化合物

日本酒の味わいを構成する要素の一つに、香りがあります。吟醸香とも評される日本酒の独特な香りは、有機酸(酸性の有機化合物)、エステル、アルコールなどの様々な種類の分子で構成されています。

有機酸に着目すると、清酒中に最も多いのがコハク酸で、次いでリンゴ酸やクエン酸などが挙げられます。有機酸の中でも揮発性のあるものは香りの構成要素になります。清酒中にどの程度有機酸が含まれているのかを示した値を酸度といい、味わいに関わるため日本酒度と並んでラベルに記載されていることがあります。

エステルは、酸とアルコールの反応で生じる化合物です。独特な芳香を有するものが多く、微量であっても日本酒の香り成分として重要な役割を果たします。例えば、カプロン酸とエタノールの反応で作られるカプロン酸エチルは、リンゴやパイナップルのような香りがします。また、バナナやメロンのような香りのする酢酸イソアミルも吟醸香の構成成分です。他の酵母に比べてカプロン酸エチルと酢酸イソアミルの生産性が高いという特徴を有する高エステル生成酵母(きょうかい1801号)なども開発されており、香り高い大吟醸酒を造るためにこの酵母を使用する酒蔵が多いようです。有機酸の酸味や糖の甘み、エステルやアルコールが生み出す香りなどの様々な要素が織りなす独特な味わいを感じながら日本酒を飲んでみていただければと思います。

5. おわりに

酒蔵では今年も酒造りが始まっています。10月24日(木)には新酒の完成を告げる緑色の酒林が酒ミュージアム記念館の軒下に吊り下げられ、年が明けると各酒蔵の敷地内でお酒の試飲や販売を行う「蔵開き」も開催されます。これからの季節、活気にあふれる酒蔵のまち西宮にお越しいただき、是非当館にも足を運んでいただければ幸いです。

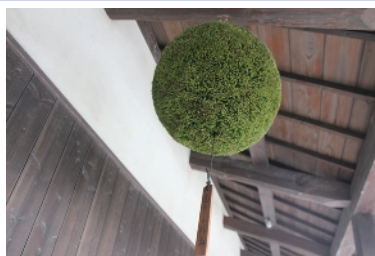


図11. 酒蔵館の酒林
(2023年11月2日撮影)

【参考図書】

- ・『光琳テクノブックス(1) 麴カビと麴の話』、小泉武夫著、1984。
- ・『改訂 灘の酒 用語集』、灘酒研究会発行、1997。
- ・『日本酒学講義』、新潟大学日本酒学センター編、ミネルヴァ書房、2022。

著者紹介 宮丸 晶(みやまる あき)



酒ミュージアム(白鹿記念酒造博物館)学芸員・広報担当。同館公式Instagramの中の人。大阪市立大学(現大阪公立大学)理学部化学科を卒業後、大阪市立科学館学芸スタッフを経て、2023年7月より現職。