

焼酎学へのいざない

二神 泰基^{1*}・玉置 尚徳¹・後藤 正利²・高峯 和則¹

蒸留酒である焼酎は、醸造酒である清酒とともに日本を代表する酒として國酒とされている。焼酎の文化は、主に九州や沖縄などの温暖な地域で発展してきた。その歴史を紐解くと、雑菌汚染を防ぎ、安定した製造を可能にするための工夫がなされてきたことが分かる。

本稿では、主に伝統的な手法により製造される焼酎に焦点を当て、まずその歴史を紹介し、次に、種類、製造法、使用されている微生物について解説する。

焼酎はどこからきたのか

焼酎は蒸留酒であるため、その起源は蒸留機の開発・伝来と密接に関わっていると考えられている¹⁾。その調査研究によって、中国の雲南一帯を発祥とする蒸留機が13世紀初めに近隣地域へと広まり、15世紀後半から16世紀前半に日本にもたらされたことによって焼酎製造が始まったとされる。その伝来経路として、主に二つが考えられている。まず一つは、14世紀頃に、シャム（現在のタイ王国）との交易により琉球王国に「ラオロン」という蒸留酒の製造法が伝わって泡盛が造られるようになり、それが南九州に伝わったという説である。もう一つは、15世紀頃に朝鮮の蒸留酒である高麗酒が対馬にもたらされていたという記録があることから、朝鮮を経て伝わったという説である。その他、倭寇の活動で中国から直接もたらされた可能性も指摘されている。

最古の焼酎の記録 焼酎の存在を示す最古の記録が、ポルトガルの貿易商人ジョルジュ・アルヴァレスがフランススコ・ザビエルに送った「日本報告」に見られる。それによると、1546年の鹿児島県にオラーカ（米からつくられた蒸留酒）が存在したことが示唆されている。また、日本最古の「焼酎」の文字が、鹿児島県の伊佐市にある郡山八幡神社に隠されていた木片に落書きとして残っている。それは「其時座主は大キナこすてをちやりて一度も焼酎ヲ不被下候 何共めいわくな事哉 永禄二歳 八月十一日 作次郎 鶴田助太郎」という文章で、永禄2年（1559年）の神社改修の際に、施主がけちで焼酎を飲ませてくれなかったという大工の恨み言であった。これらの記録から、500年以上前には焼酎が飲まれていたと考えられている。

焼酎の種類

焼酎は、主原料の種類や産地に基づいて区別される。たとえば、鹿児島県や宮崎県などの南九州におけるサツマイモ（主に黄金千貫）を用いた芋焼酎、奄美群島の黒糖焼酎、熊本球磨地方の米焼酎、宮崎県の蕎麦焼酎などがあげられる。また、長崎県壱岐は米麴を用いた麦焼酎、大分県は大麦麴を用いた麦焼酎の産地として知られている。現在、世界貿易機関のTRIPS協定（知的所有権の貿易関連の側面に関する協定）に基づく産地表示の保護指定として、球磨、壱岐、薩摩の表示が認められている。

酒税法から見た分類 焼酎は、酒税法により連続式蒸留焼酎（焼酎甲類）と単式蒸留焼酎（焼酎乙類）の二つに分けられる²⁾。前者は、連続式蒸留機を用いて製造した焼酎でアルコール分36度未満のものであり、後者は、その他の蒸留機（単式蒸留機）を用いて製造した焼酎でアルコール分45度以下のものである。連続式蒸留機は、明治時代末期に焼酎造りに導入された技術であり、純度の高いエタノールを得ることができる。したがって、原料由来の香味がほとんどないライトなものとなる。一方、単式蒸留焼酎は、原料由来の揮発成分を多く含み、それぞれの原料に特徴的な香りをもつ。

本格焼酎とは 酒税法において単式蒸留焼酎は乙類とされ、甲類である連続式蒸留焼酎よりも劣っているという誤解を受けやすく、伝統的な手法を用いる単式蒸留焼酎の製造者にとって不条理であった。そこで、「酒税の保全及び酒類業組合等に関する法律施行規則」という大蔵省令が1971年に一部改正された際に、焼酎乙類に対して本格焼酎の名称を使用することが認められ、さらに2002年にその定義が厳格化された。現在、単式蒸留焼酎のなかで特定の原料（米、麦などの穀類、芋類、清酒粕、黒糖、および国税庁長官により定められた49品目）で造られたものを本格焼酎と称することができる。

なお、連続式蒸留焼酎と単式蒸留焼酎をブレンドした製品も存在しており、いずれかの混合割合が純アルコール量で5%以上の場合に、「焼酎甲類乙類混和」と表示される。本格焼酎については、連続式蒸留焼酎を少しでも

* 著者紹介 鹿児島大学農学部附属焼酎・発酵学教育研究センター（准教授） E-mail: futagami@chem.agri.kagoshima-u.ac.jp
¹鹿児島大学農学部附属焼酎・発酵学教育研究センター、²佐賀大学農学部生命機能科学科応用微生物学分野

含む場合は、本格焼酎の名称を使用することはできない。

黒糖焼酎とラムの違い 黒糖のような含糖質物を用いて、原料を糖化する必要のない単発酵により蒸留酒を製造すると、通常はラム酒となりスピリッツ類に分類される。しかし、鹿児島県の奄美群島において黒糖と米麴を併用して製造したものに限り、本格焼酎に分類される。これは、1953年に奄美群島が米国から日本に返還された際に、以前から黒糖焼酎を製造していた実績が認められ、当時は焼酎の原料として黒糖が許可されておらず、雑酒として取り扱われたことで単式蒸留焼酎よりも高い酒税がかかっていたことが配慮されたことによる。

焼酎の製造法

連続式蒸留焼酎の製造法 連続式蒸留焼酎は、糖蜜、あるいはタピオカやトウモロコシなどの糖質原料を麹菌により糖化したものを原料として、酵母によるエタノール発酵を行い、それを連続式蒸留機により蒸留して製造される。

本格焼酎の製造法 現在、本格焼酎のほとんどは、二次仕込み法により製造されている(図1)³⁾。二次仕込み法は、まず米や大麦を原料とする麹造りから始まる。蒸した米や大麦に麹菌の分生子を植菌し、麹菌を生育させる。麹造りのことは、製麹と称す。麹の主な役目は、原料に含まれるデンプンを酵母が資化できるグルコースに変える酵素を供給することである。

次に、麹と酵母をまぜ、酵母を大量培養して一次もろみとする。さらに、米、大麦、サツマイモなどの主原料を加えて二次もろみとする。もろみ中では、麹菌の酵素による原料の糖化と酵母によるエタノール発酵が同時に

行われる並行複発酵が進行する。もろみ中のエタノール濃度は、米や大麦を原料とする場合で、約18度、芋を原料とする場合で約14度に達する。麹は、それに含まれる栄養で酵母の増殖を促進して正常な発酵を導き、さらにそれが香味の由来ともなる。

最後に二次もろみは蒸留されて、原酒となる。蒸留方法には「常圧蒸留」と「減圧蒸留」の二種類がある。常圧蒸留は、濃厚な香味になる傾向がある。それに対して、減圧蒸留では、蒸留タンク内の気圧を下げ低温での蒸留を進行させるため、加熱による化学反応が抑制され、かつ、高沸点化合物の揮発が少なくなることによって軽快な香味となる。また、イオン交換樹脂による精製を行えば、さらに淡麗な酒質になる。ただし過度な精製は、本格焼酎の独特の原料由来の香味が失われてしまう。一般的に、原酒はブレンドにより香味を整えられた後、割り水によってアルコール度数が調整されて販売される。焼酎は新酒として飲まれる他、甕や樽に貯蔵させた熟成酒としても飲用される。

本格焼酎と泡盛の違い 沖縄の蒸留酒である泡盛は、酒税法において、本格焼酎と同様に単式蒸留焼酎に分類される。しかし、泡盛の製造法には、黒麹菌を用いて製造した米麹、および水を原料として1度だけの仕込みで製造するという、本格焼酎の二次仕込み法とは異なる特徴がある。1983年に、この泡盛の独特な製法が認められ、その定義が明確化されるとともに泡盛という表示が設定された。なお、上述した本格焼酎の製造では、米の種類として主にジャポニカ米が使用されるのに対して、泡盛では、主にタイ米(インディカ種)が用いられる。また、TRIPS協定に基づく産地表示の保護指定として、琉球泡盛の表示が認められている。

焼酎製造に使用される麹菌

焼酎の製造に用いられる麹菌として、明治40年代までは清酒、味噌、醤油などの製造に用いられる黄麹菌(*Aspergillus oryzae*)が使われていた。しかし、泡盛の製造に用いられていた黒麹菌(*Aspergillus luchuensis*)が、クエン酸を大量に産生することでもろみ中の雑菌の増殖を防ぎ、エタノール生産性・酒質ともに良好になることが分かり、明治時代の末期から黄麹菌の代わりに黒麹菌を使用することが推奨された。さらに、1918年に河内源一郎氏によって黒麹菌の白色変異株である白麹菌(*Aspergillus luchuensis mut. kawachii*)が取得され、昭和20年代から白麹菌の使用が始まった。一時は、ほとんどの焼酎が白麹菌で製造されるようになったが、現在は黒麹菌の利用が復活している。また、黄麹菌を使った

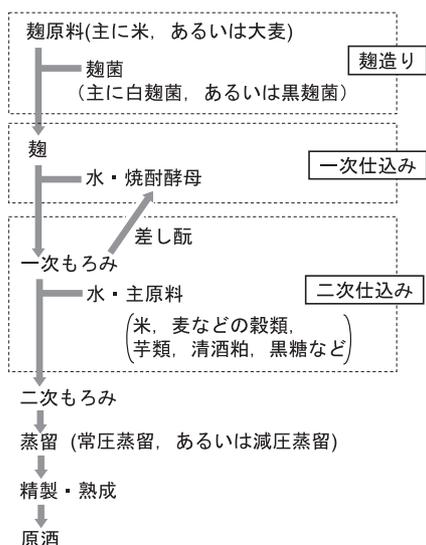


図1. 格焼酎の製造工程

焼酎も市場に出ており、麴の違いも商品の多様化をもたらしている。麴菌は、種麴メーカーから販売されている。

白麴菌と黒麴菌の特徴 白麴菌と黒麴菌が生産するクエン酸は、一次もろみのpHを約3まで下げて雑菌増殖による腐造を防ぎ、安定した焼酎製造を可能にした。さらに、クエン酸によるpHの低下は、蒸留時の化学反応に影響し、焼酎の香味成分の産生に寄与する。常圧蒸留の麦焼酎に多く含まれるフルフラールは、キシロース、アラビノースなどの五炭糖が過熱され、脱水反応が起こることにより生じる⁴⁾。この反応は低pHで促進される。また芋焼酎ではβ-ダマセノンの生産で低いpHが必要とされる^{5,6)}。フルフラールは「甘臭」「煙臭」、β-ダマセノンは「芋焼酎の甘い香り」で表現される。

黒麴菌の分類 黒麴菌の学名には変遷が見られたが、乾環博士により、1901年に泡盛の麴から初めて分離された際に命名された*Aspergillus luchuensis*が採用されている。現在、黒麴菌はさらに*Aspergillus luchuensis* var. *saitoi*と*Aspergillus luchuensis* var. *awamori*の2タイプに大別される。前者は、糖化力が強いがクエン酸生産能が低く、後者は、糖化力は低いがクエン酸生産能が高い株が多いとされている。泡盛製造の場合、黒麴菌は、これらの異なる性質をもつ2株がバランスよく混合されて、複菌の状態^{ふくきん}で用いられるのが一般的である。

注意点として、過去に黒麴菌と黒カビである*Aspergillus niger*を同一とする意見があったため、黒麴菌として*A. niger*の学名が使用されている文献が存在する。しかし、黒麴菌と*A. niger*が分子系統的に明確に異なることが証明されており^{7,8)}、日本醸造協会では*A. niger*は黒麴菌とは異なる菌種であり、麴菌には含めないと定義している⁹⁾。

麴造りの特徴 黄麴菌を用いた麴造りでは、発酵熱により上昇する温度をおよそ38°C程度に保ったまま麴の完成(出麴)を迎える。一方、白麴菌あるいは黒麴菌を用いた焼酎用の麴造りは、同様に38°C程度まで上昇した温度を途中(仕舞仕事)で、35°C近くまで低下させるという温度管理を行う(図2)。高温は高いアミラーゼ活性を引き出すために重要であり、麴温度を低下させることでクエン酸の生産が促される^{10,11)}。すなわち、温度を上げてから下げるという管理によって、麴菌の糖化力とクエン酸生産をバランスよく制御している。

麴菌のデンプン分解酵素 麴菌の役目は、原料に含まれるデンプンを分解して酵母がエタノール発酵のために資化できるグルコースを供給することである。黄麴菌の多くはデンプン分子内部のα-1,4-グルコシド結合に作用するエンド型酵素のα-アミラーゼをコードする遺伝

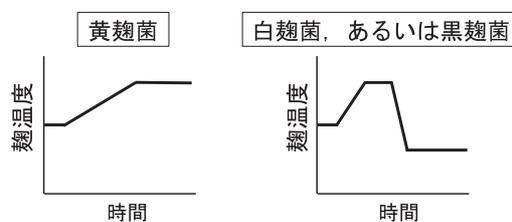


図2. 焼酎用の麴の温度管理

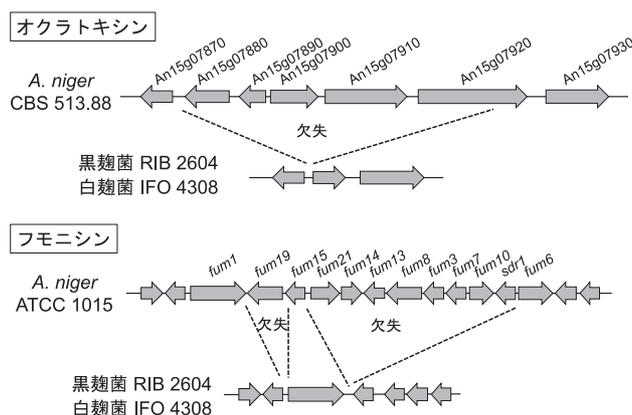


図3. 白麴菌と黒麴菌がカビ毒を生産しない遺伝的背景

子を2あるいは3コピーもち、それが強力な糖化力をサポートしていると考えられている。これに対して白麴菌と黒麴菌は、黄麴菌のα-アミラーゼと同じタイプのα-アミラーゼに加えて、耐酸性のα-アミラーゼを生産する特徴がある¹²⁾。この耐酸性α-アミラーゼにより、白麴菌自身が生産するクエン酸により周囲環境のpHが低下した状態でも効率よくデンプンを分解できる。

白麴菌と黒麴菌のゲノム 現在、白麴菌はIFO (NBRC) 4308株、黒麴菌RIB2604株のゲノム情報を利用できる。白麴菌のゲノムサイズは約36.6 Mbpで、11,488の推定CDSが同定されている¹¹⁾。また、黒麴菌のゲノムサイズは約34.7 Mbpで、11,691のCDSが同定されている¹³⁾。

黒カビ*A. niger*の中にはカビ毒であるオクラトキシン、あるいはフモニシンの生産が認められる株も存在するが、白麴菌と黒麴菌はこれらのカビ毒を生産しないことが確認されている¹⁴⁾。ゲノム配列を比較することにより、その遺伝的背景が調べられており、白麴菌と黒麴菌はオクラトキシンとフモニシンの生合成遺伝子クラスターを一部欠損していることが分かっている(図3)。

焼酎製造に使用される酵母

焼酎製造に使用される酵母は、焼酎酵母と称され、清酒、ワイン、ウイスキー、エールビール用の酵母と同様

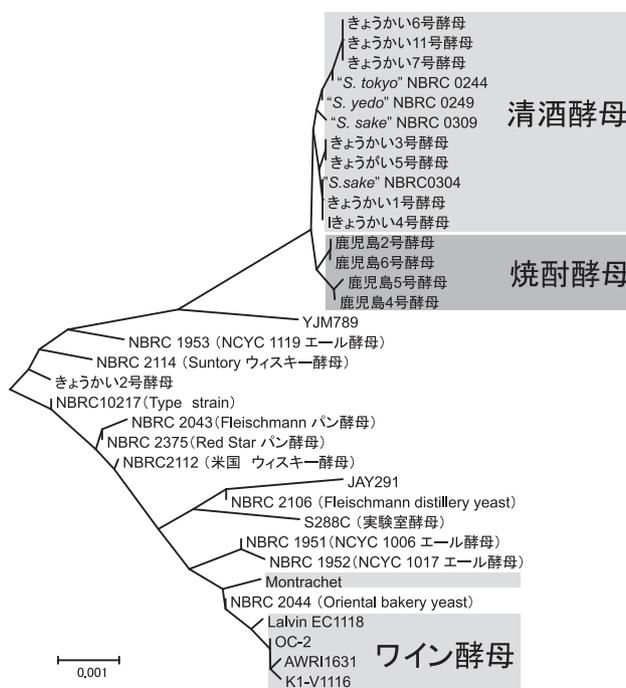


図4. 複数遺伝子を用いた*S. cerevisiae*の系統樹

に*Saccharomyces cerevisiae*に分類される。焼酎酵母は、白麹菌あるいは黒麹菌が生産するクエン酸による低pHのもろみと、焼酎が温暖な地域で製造されるがために高くなる発酵温度（約35°C）に耐える性質が特徴である。また、米、大麦、サツマイモなどといった異なる主原料に適した焼酎酵母がスクリーニングされている。

現在使用されている焼酎酵母には、鹿児島酵母、宮崎酵母、熊本酵母などの各県において分離された酵母の菌株と日本醸造協会が頒布している焼酎酵母が存在する。たとえば、鹿児島県で分離された鹿児島酵母と称される焼酎酵母では、鹿児島2号酵母を用いると「口当たりが良くさわやか」、鹿児島4号酵母では「軽くて華やか」、鹿児島5号酵母では「甘く濃い」ものができる¹⁵⁾。このように、酵母は焼酎の酒質に影響を及ぼすことが知られており、現在でも新しい酒質の探索や製品への物語性の付与を目的として新しい焼酎酵母のスクリーニングが行われている。

また、多くの焼酎製造場では酵母を含む発酵のスターターを準備するために、麹と水と酵母からなる一次もろみを数日ごとに植え継ぐ「差し酛」という操作を行っている(図1)¹⁶⁾。焼酎の発酵は、甕壺のような開放された系で行われるため、外から微生物が混入する余地があり、混入した野生酵母が焼酎酵母と置き換わることで、次第にアルコール度数が上昇したり、揮発酸度が低下していくことが知られている。なお、このように製造現場に生

息する微生物が食品中に混入することは、一般的には食品衛生の観点から問題であるが、野生酵母の混入は、製造所ごとに個性のある焼酎の香味をもたらす良い影響として捉えられている。

焼酎酵母の分類 *S. cerevisiae*のゲノムワイドな系統解析の結果から、清酒酵母やワイン酵母は、それぞれ独自のクラスターを形成することが報告されている。また、AFLP解析、ゲノムや複数遺伝子の一塩基多型を用いた分子系統解析において、焼酎酵母は清酒酵母に近縁であることが示されている(図4)¹⁷⁻¹⁹⁾。なお、焼酎酵母の中で、現在、鹿児島2号酵母と麦焼酎用に選抜されたBAW-6株のゲノム情報が公開されている^{20,21)}。

おわりに

本稿では、二次仕込み法を伝統的な焼酎の製造法として紹介したが、これは大正元年頃からの仕込み法である。それ以前は「どんぶり仕込み」という麹と蒸米と水を同時に仕込む方法により製造されていた。二次仕込み法は、腐造のリスクを下げるために清酒の三段仕込みを参考にして開発された方法であり、酵母を育てる一次仕込みと、主原料の発酵を行う二次仕込みに分けることで、安定した焼酎の製造を可能にした(図1)。また、焼酎の製造に使用される麹菌も、当初は清酒と同じ黄麹菌が使用されていたが、明治時代末期から黒麹菌、昭和20年代から白麹菌が使用されるようになった。黒麹菌と白麹菌が生

産するクエン酸は雑菌の増殖を防ぐため、さらに安定した焼酎造りができるようになった。この100年の間で見ると、伝統的なものとして紹介した焼酎の製造技術も刻々と変化してきたと言える。

これから焼酎はどうなっていくのであろうか。安定した製造技術はすでに確立しており、その伝統的製法を守った焼酎はこれからも重要な存在であり続けるだろう。また一方で、さらに良い酒質を目指した新しい技術の開発も重要である。近年では、麹菌と焼酎酵母のゲノムが解読されており、その解析技術も発展し、これまで科学的に解明されていない現象にアプローチする基盤も整いつつある。焼酎の基礎研究が進み、焼酎産業の発展はもちろん、バイオテクノロジー産業に広く貢献する科学的知見が得られることも期待される。

文 献

- 1) 鮫島吉廣:鹿兒島の本格焼酎, p. 42, 春苑堂出版(2000).
- 2) 酒税法: http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=328AC0000000006 (2018/9/28).
- 3) 西谷尚道ら 編:本格焼酎製造技術, 日本醸造協会(1991).
- 4) 高下秀春: 醸造協会誌, **107**, 381 (2012).
- 5) 神渡 巧ら: 醸造協会誌, **101**, 437 (2006).
- 6) Yoshizaki, Y. *et al.*: *J. Inst. Brew.*, **117**, 217 (2011).
- 7) Yamada, O. *et al.*: *J. Biosci. Bioeng.*, **112**, 233 (2011).
- 8) Hong, S. B. *et al.*: *PLoS One*, **8**, e63769 (2013).
- 9) 日本醸造学会: <http://www.jozo.or.jp/koujikinnituite2.pdf> (2018/9/28).
- 10) Omori, T. *et al.*: *J. Ferment. Bioeng.*, **78**, 27 (1994).
- 11) 後藤正利ら: 醸造協会誌, **109**, 219 (2014).
- 12) Suganuma, T. *et al.*: *J. Biosci. Bioeng.*, **104**, 353 (2007).
- 13) Yamada, O. *et al.*: *DNA Res.*, **23**, 507 (2016).
- 14) 橋本ルイコら: *Mycotoxins*, **63**, 179 (2013).
- 15) 高峯和則ら: 鹿兒島県工業技術センター, **8**, 1 (1994).
- 16) 安藤義則ら: 鹿兒島県工業技術センター, **23**, 5 (2009).
- 17) Azumi, M. and Goto-Yamamoto, N.: *Yeast*, **18**, 1145 (2001).
- 18) 赤尾 健: 化学と生物, **52**, 223 (2014).
- 19) Futagami, T. *et al.*: *Yeast*, **34**, 407 (2017).
- 20) Mori, K. *et al.*: *Genome Announc.*, **5**, e01126 (2017).
- 21) Kajiwara, Y. *et al.*: *Genome Announc.*, **6**, e00228 (2018).