

身近で活躍する有用微生物 食品と有用微生物－和食文化と微生物3

焼酎と微生物

たか みね かず のり
高 峯 和 則
Kazunori TAKAMINE

I. 焼酎の歴史

焼酎は 500 年以上前から飲まれていた。その理由として、鹿児島県北部に位置する伊佐市郡山八幡神社の改築時（1954 年）に発見された木片に「永禄二歳八月十一日 作次郎 鶴田助太郎 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」と書かれていた落書きである。1559 年の神社改修にあたった大工が依頼主である座主が大変ケチで一度も焼酎を飲ませてくれなかった恨みつらみを日付入り、署名入りで書いたものであり、その当時には「焼酎」の文字が使用されていたことなどが明らかになった（写真 1¹⁾。また、1546 年、ポルトガルの貿易商人ジョルジュ・アルバレスは滞在した鹿児島県南部の指宿市山川地方の詳細な報告書をフランシスコ・ザビエルに「日本の諸事に関する報告」を書き送っている。このなかに「米からつくるオラーカ（焼酎）」があったことが記されている。

このように、今から 500 年以上前には南薩摩から北薩摩まで焼酎が広く飲まれていたのである。ちなみにこの頃、まだサツマイモは日本に伝来していない。山川の漁師である利右衛門によって日本本土にもたらされたのが 1705 年のことなので、芋焼酎の歴史は 250 年から 300 年程度である。

II. 焼酎の定義

もともと「焼酎」とは日本の蒸留酒の総称であった。明治時代に外国から高純度のアルコールをつくることのできる連続式蒸留機が導入され、これを 36 度未満に水で希釈したものを「焼酎甲類」としたため、伝統的な焼酎が「焼酎乙類」とよばれるようになった。平成 18 年の酒税法改正により、焼酎甲類は連続式蒸留焼酎、焼酎乙類は単式蒸留焼酎（焼酎乙類）と呼称することになった。焼酎乙類は「本格焼酎」ともよばれてきたが、平成 14 年 11 月 1 日から本格焼酎とは、焼酎乙類のうち、原料は穀類、芋類、



永禄二歳八月十一日 作次郎
その時座主大キナこすてをち
やりて一度も焼酎ヲ不被下候
何ともめいわくな事哉
鶴田助太郎

写真 1 焼酎の飲用について日本国内に残存する最も古い文献

鹿児島大学農学部附属焼酎・発酵学教育研究センター 教授
☎890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-21-24

Education and Research Center for Fermentation Studies,
Faculty of Agriculture, Kagoshima University
(1-21-24 Korimoto, Kagoshima-shi, Kagoshima)

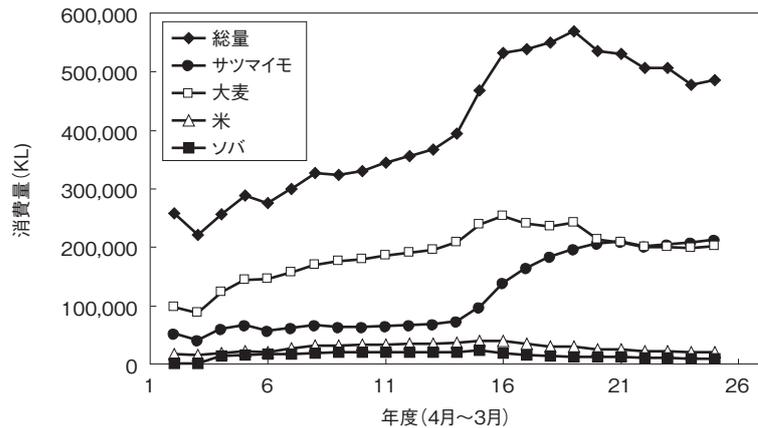


図1 本格焼酎の消費量の推移

清酒粕、砂糖（政令で定めるものに限る＝黒糖であり、米麴を併用）のほか財務省令で定めた国税庁長官の指定する49品目の原料に限定され、これに麴を用い、単式蒸留機で蒸留したアルコール45度以下のもので、添加物をまったく加えないものだけが「本格焼酎」とよべるようになった。現在、流通している単式蒸留焼酎のほとんどが本格焼酎である。

Ⅲ. 本格焼酎の消費動向

明治時代「衣服悉くにほふ」と酷評された個性的な酒質は、軽快で飲みやすくなり焼酎のイメージも大きく変わり、かつて南九州の地酒にすぎなかった焼酎は日本を代表する蒸留酒となった。本格焼酎の消費動向は、日本酒造組合中央会の調査によると図1に示すとおり確実な伸びを示している。この伸びを牽引しているのは2001年頃までは麦焼酎を代表とするソフトな風味で口当たりの良い穀類焼酎が主流であったが、近年は芋焼酎である。独特な風味を持つが故に好き嫌いが明確であり、製造数量は横ばいの状況が続いた。そのため、芋焼酎業界では産官共同で消費者嗜好に合った軽快で華やかな芋焼酎の開発に取り組む^{2~5)}一方で、従来の芋焼酎の品質の安定・向上にもさまざまな努力を重ねてきた。近年、本格焼酎は、「二日酔いしにくい」、「血液さらさら効果」などの情報が発信されるようになり、芋焼酎が持つ独特な「臭い」が個性的で魅力的な「香り」として評価されるようになった。2002年頃から芋焼酎が本格焼酎市場を牽引し始め、空前の市場拡大を遂げるようになった。本格焼酎の約85%が芋焼酎と麦焼酎で占めている。

Ⅳ. 焼酎製造の概要

図2に示す原料処理工程、製麴工程、一次仕込み工程、二次仕込み工程、蒸留工程、製成工程、精製工程、熟成工程などからなる。米や大麦を原料にして製造した麴と水と酵母を加え一次仕込みを行い5～6日間発酵させる。これに主原料と水を加えて二次仕込みを行い、10日間程度発酵させ蒸留する。発酵は澱粉質原料を麴の液化・糖化酵素で糖化する作用と酵母によるアルコール発酵が同時進行する並行複発酵である。二次仕込みに使う主原料は、サツマイモや黒糖、米、大麦などがあり、原料特性に応じた仕込み配合や発酵管理が求められる。主原料がサツマイモであれば芋焼酎、黒糖であれば黒糖焼酎のもろみとなる。泡盛の製造は原料が米麴のみを用いる1段仕込みであり、全麴仕込みと呼ばれる独特な製法である。

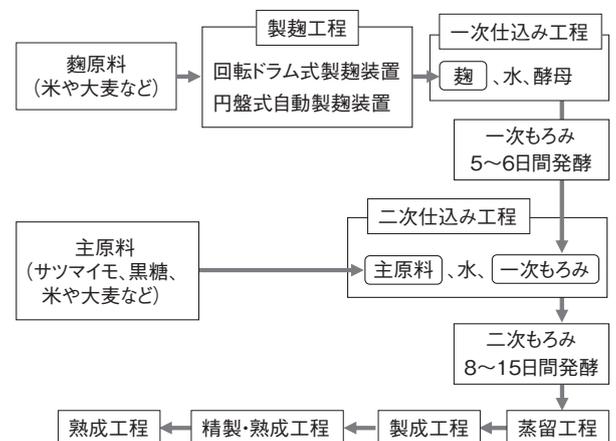


図2 焼酎製造概略図

V. 焼酎製造に使われる微生物

焼酎製造に用いられる微生物は麹菌と酵母である。いずれも真核微生物の中の菌類である。

1. 麹菌

麹菌は分生子の色で黄麹菌、黒麹菌、白麹菌と呼ばれている。黄麹菌は (*Aspergillus oryzae*) であり清酒、味噌、醤油などの醸造に用いられる。黒麹菌 (*A. luchuensis*) と白麹菌 (*A. luchuensis mut. kawachii*) は焼酎の製造に使われる (写真2)。明治時代までの芋焼酎造りは黄麹菌が使われていた。しかし、温暖な鹿児島ではもろみの低温管理が困難であり、腐造も少なくなかった。1910年、鹿児島税務監督局技師として赴任した河内源一郎はクエン酸を生産して上述の問題を解決する黒麹菌による芋焼酎製造の指導を行い、1919年には鹿児島県下全域に普及した⁶⁾。クエン酸がもろみのpHを下げるため雑菌の増殖が抑えられ、耐酸性に優れた酵母が優先的に増殖することができる。黒麹菌の使用により安全な製造が可能となりアルコール取得量が2~3割の増収につながった。芋焼酎の酒質は、従来の「多少は癖があっ

ても複雑な味を持っていて如何にも美味しく感じられた」ものから「風味高く、癖がなく、甘味少なくて辛くて、幾分単調な味」に変わり、“ハイカラ焼酎”と呼ばれた^{6,7)}。麹菌が芋焼酎の風味を劇的に変化させたのである。1918年には河内によって黒麹菌のアルビノ変異体である白麹菌が分離された。この麹菌で造った焼酎は香味ともソフトであることから、1945年以降にはほとんどのメーカーが白麹菌を用いるようになった。そして、黒麹製はいったん姿を潜めたが、個性的な芋焼酎への需要が高まり1980年代後半には鹿児島県内の酒造メーカーで復活し、最近では鹿児島県内のほとんどの企業で黒麹製の芋焼酎が出荷の半分を占めるようになった。主に、銘柄の前後に“黒”がついた商品がそれに該当する。また、最近では黄麹菌による芋焼酎も商品化されている。

2. 麹

昔から「一麹、二もと(酒母)、三造り」という言葉がある。これは清酒製造における麹造りの重要性を表したものであるが、焼酎製造においても麹の出来が酒質を大きく左右させるため、その意味するところは同じである。麹菌を米や大麦に固体培養したものが麹(写真3)であり、培養のことを製麹と



写真2 種麹菌

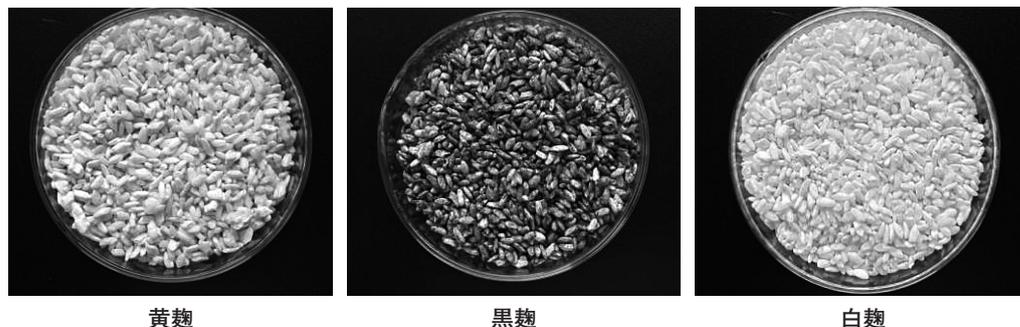


写真3 米麹

(写真2, 3は巻末のカラーページに掲載しています。)

呼ぶ。焼酎製造における麴の役割として、1) 澱粉や蛋白質、脂質などを分解する酵素の生産、2) 雑菌の生育を抑制させながら安全に発酵させるためのクエン酸の生産、3) 焼酎の風味の形成などが挙げられる。特にクエン酸の生産は、清酒麴や味噌麴、醤油麴などに使われる黄麴菌と異なる焼酎麴(白麴菌と黒麴菌)特有の性質である。

製麴は、蒸煮した米または大麦を40℃付近まで放冷し、種麴をまぜて種付けを行う。種付け後約28時間までは38～40℃で制御し、その後(製麴後半)品温を35℃前後に制御することで、焼酎製造において重要なクエン酸を生産する。種付けから約43時間で出麴となる。図3に種付けして20時間経過後に麴の温度を30、35および40℃に制御したときの酸度(図3-A)、 α -アミラーゼ(図3-B)、グルコアミラーゼ(図3-C)および酸性プロテアーゼ(図3-D)生産の経時変化を示す。図3-Aに示すように酸度(クエン酸量)は、制御温度が40℃と比べて35℃では3倍以上高く、温度を下げることでクエン酸生産に効果的であることが分かる⁸⁾。デンプン分解系酵素の生産のためには図3-BおよびCに示すように、製麴後半においても40℃前後が望ましい。しかし、

焼酎製造において麴の酵素力価は余裕があるといわれており、製麴後半はクエン酸生産を優先して温度管理(35℃前後)を行うことが重要である。表1に示すように、黄麴菌はクエン酸をほとんど生産しない⁹⁾。白麴菌と黒麴菌はクエン酸を生産し、製麴後半に温度を35℃に下げることによってクエン酸の生産を促進することは明らかであるが、その機構は未だ解明されていない。クエン酸の重要性として、本格焼酎の製造は主に南九州や沖縄といった温暖な地域で行われるため、もろみが生酸菌などの雑菌に汚染される危険性が高く、汚染すると焼酎の品質やアルコール取得量の低下を引き起こす。しかし、麴に含まれるクエン酸が一次もろみのpHを3.0～3.5に低

表1 β -グルコシダーゼ活性に及ぼす各種麴菌および製麴温度の影響

	酸度	β -グルコシダーゼ活性
白麴	4.4	146
黒麴	3.7	395
黄麴	0.1	30
白麴(35℃) ^{*1}	4.0	132
白麴(40℃) ^{*1}	2.3	82

*1: 製麴後半の温度

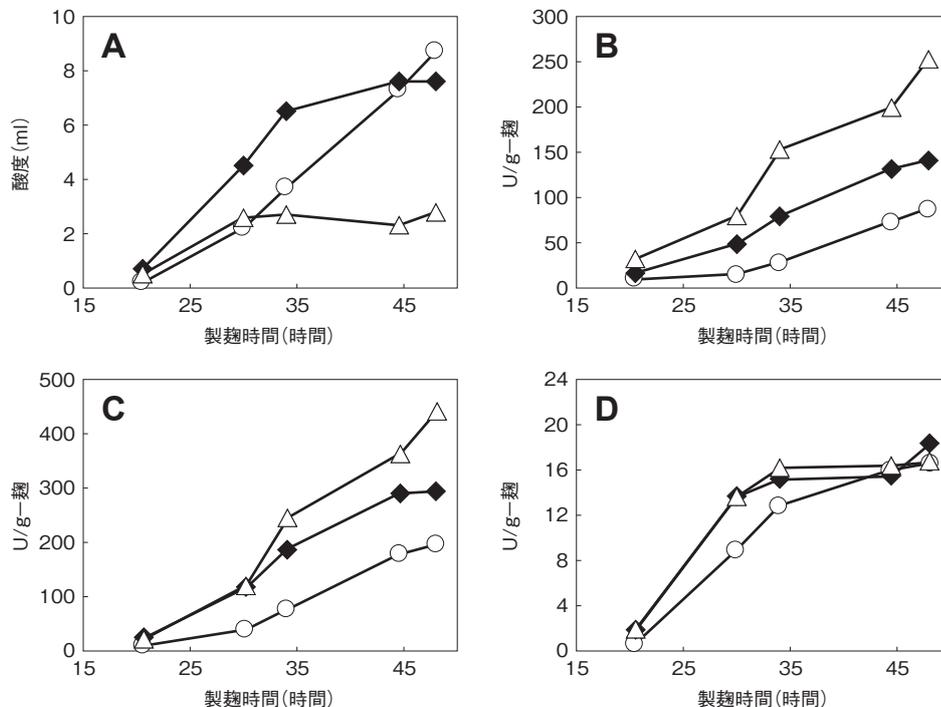


図3 焼酎白麴のクエン酸および各種酵素生産に及ぼす製麴条件の影響

A: 酸度 B: α -アミラーゼ C: グルコアミラーゼ D: 酸性プロテアーゼ
○: 30℃、◆: 35℃、△: 40℃

下させるため、雑菌の増殖が抑制できる。そして耐酸性に優れた焼酎酵母が優先的に増殖し、もろみが腐造することなく発酵が行われる。クエン酸は不揮発性の有機酸であり蒸留しても焼酎には含まれないため、焼酎は酸っぱくならない。

麹菌は澱粉や蛋白質、脂質などを分解する酵素の他に、芋焼酎の風味形成に不可欠な β -グルコシダーゼを生産する。この酵素は、サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体を発酵中に加水分解し、柑橘の香り成分であるゲラニオール、ネロール、リナロール、 α -テルピネオール、シトロネロールなどのモノテルペンアルコール (MTA) の生成に寄与している¹⁰⁾。MTAは芋焼酎特有の成分で“癒し”効果のある香りといわれている。ちなみに、鹿児島では昔から芋焼酎を真夏でもお湯割で飲む習慣があり、お湯で温められ

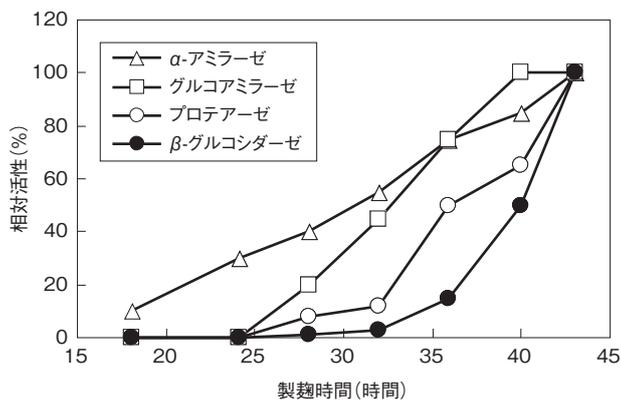


図4 各種酵素生産の経時変化

た芋焼酎の独特の風味が、疲れを癒し“ホッ”とさせるアロマセラピーの効果を発揮させる。晩酌のことを鹿児島弁でダイヤメ (またはダレヤメ) という。一日の締めくくりにダレ (疲れ) をヤメる (止める、癒す) ことに由来している。芋焼酎製造におけるMTAの生成機構を図5に示す。サツマイモに含まれるゲラニル配糖体とネリル配糖体は、発酵中に麹由来の β -グルコシダーゼにより加水分解を受け、ゲラニオールとネロールが遊離される。そして、その一部は酵母によりシトロネロールに、また、常圧蒸留工程で熱と酸によってリナロールと α -テルピネオールに変換される。 β -グルコシダーゼは表1と図4⁹⁾に示すとおり製麹後半の温度を35℃前後で管理することで生成が促進し、製麹後半で急増する。しかし、製麹後半を40℃で管理すると表1に示すとおり、この酵素活性は60%程度に低下する。また、黒麹菌の β -グルコシダーゼ活性は白麹菌の約3倍高い¹⁰⁾。黒麹製の芋焼酎はMTAの濃度が白麹製と比べて約1.5倍高いため、黒麹製の焼酎がより个性的であるといわれる要因といわれている。このように、麹菌の種類や製麹条件は β -グルコシダーゼ活性に影響を与えるため、麹菌の選択や製麹温度管理は焼酎の風味形成に寄与することとなる。しかし、麹由来の風味についてはまだ不明な点が多く今後の研究の進展が期待される。

MTAの前駆体であるモノテルペン配糖体は、焼酎原料として一般的に用いられるサツマイモの品種

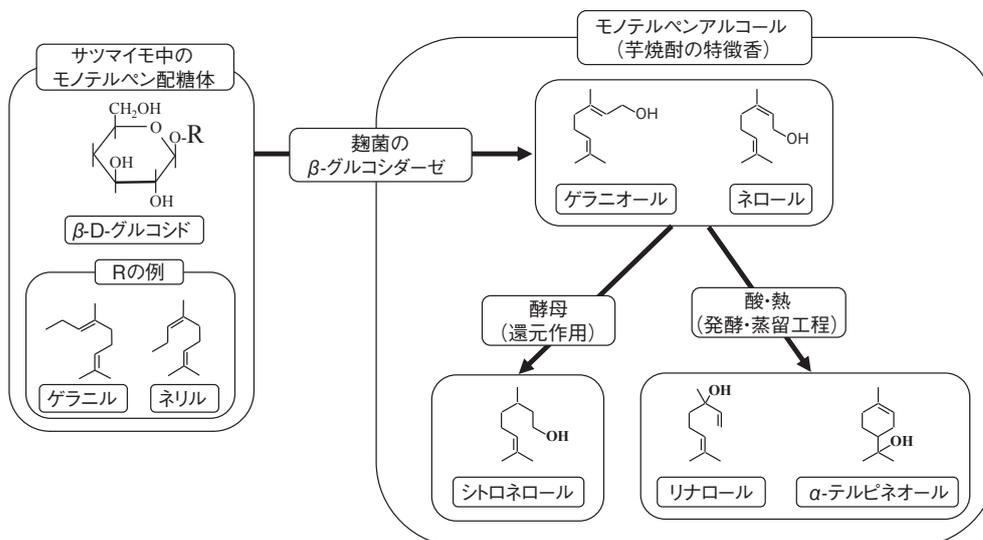


図5 芋焼酎に含まれるモノテルペンアルコールの生成機構

「コガネセンガン」では図6に示すように、ゲラニル配糖体(37%)、リナリル配糖体(66%)および α -テルピニル配糖体(60%)は表皮部に最も多い割合で分布する。また、リナリル配糖体は中心部には検出されず、 α -テルピニル配糖体は中心部には1.7%と非常に低い割合である¹¹⁾。サツマイモの形成層を境に表皮部と中心部に分けて芋焼酎を製造すると、表皮部を原料にした芋焼酎は中心部を使った芋焼酎と比べリナロールが1.9倍、ゲラニオールが2.6倍、リナロールが2.9倍濃度含まれ、華やかでフルーティーと評価された(未発表)。このようにサツマイモ表皮部は芋焼酎の香気形成に欠かすことのできない重要な部位であるといえる。

3. 酵母

焼酎用酵母には、宮崎酵母、熊本酵母、泡盛1号、

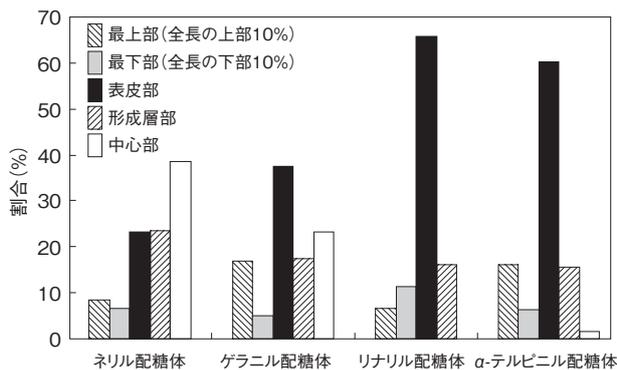


図6 サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布

焼酎用協会2号、3号および4号の他に、鹿児島県では1952年に分離された耐酸性・耐熱性に優れた鹿児島酵母(Ko)と1960年代後半にKoから分離された耐酸性・耐熱性が更に高い鹿児島2号(K2酵母)、1995年に分離された鹿児島4号酵母(C4酵母)、鹿児島5号酵母(H5酵母)および鹿児島6号酵母(Ka4-3酵母)がある^{12,13)}。いずれも、*Saccharomyces cerevisiae*に属す(写真4)。現在、K2酵母は鹿児島県内の約8割の酒造場で使われており、C4酵母およびH5酵母も目的に応じて使われている。C4酵母とH5酵母を使って芋焼酎を製造すると、表2に示すようにアルコール取得量がC4酵母はK2酵母と遜色なく、H5酵母は3%向上することがわかっている。また、麦焼酎と黒糖焼酎を製造するとH5酵母はK2酵母と比べてアルコール取得量が約5%向上す

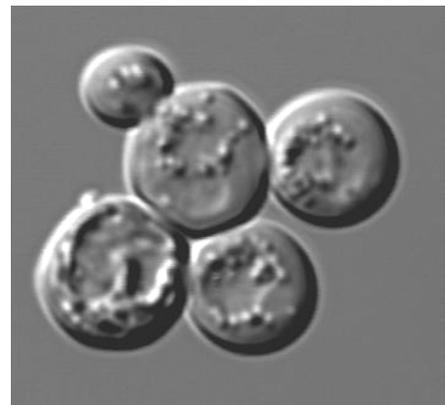


写真4 焼酎酵母

表2 酵母の影響

	K2酵母	C4酵母	H5酵母
アルコール取得量(L/1000kg)			
平均値	184.8	184.3	190.5
標準偏差	1.41	3.17	1.45
焼酎のガスクロ分析結果(mg/L)			
n-プロピルアルコール	112	166	94
酢酸エチル	8.4	8.7	7.7
イソブチルアルコール	141	163	180
イソアミルアルコール	233	300	217
活性アミルアルコール	85	113	96
乳酸エチル	4.1	6.9	7.1
フルフラール	1.7	2.6	3.0
酢酸イソアミル	0.1	0.5	0.1
β -フェネチルアルコール	61	117	83
酢酸 β -フェネチル	1.2	2.1	1.8
リノール酸エチル	0.1	0.1	0.1
官能評価			
	さわやか、おなん、口当たり良、酸臭	華やか、軽い、味香りソフト、香り薄い	甘い、こくあり、味香りに特徴あり、少し異なる香り

ることから、黒糖焼酎では約半数の製造場が H5 酵母を利用している¹⁴⁾。C4 酵母を使った芋焼酎は、高級アルコールとそのエステル生成量が高く、「華やか」、「味香りソフト」と評価され、H5 酵母は K2 酵母と比べて「甘い」、「こくがある」、「香味に特徴があり従来とは少し異なる香り」となる。Ka4-3 酵母は黒糖焼酎製造用として初めて分離された酵母で、高温経過を経ても果糖を資化する能力が高い¹³⁾。更に、芋焼酎の独特な風味を和らげる目的で、カナバニン耐性酵母の育種を行い、イソアミルアルコールおよび酢酸イソアミルアルコールが従来の酵母と比べて、それぞれ 1.6 倍および 2.3 倍高濃度に生産する酵母(香り酵母)も鹿児島県では保有している²⁾。この酵母で製造した芋焼酎は独特な風味がマスキングされ、芋焼酎らしさに欠けるとの指摘はあるが、従来の芋焼酎の香気に抵抗をもつ消費者には好評である。また、芋焼酎の特徴香であるローズオキサイドはグリーン系の香気特性を持ち芋焼酎の華やかさに寄与しており、その閾値はアルコール溶液では 0.35 µg/L、芋焼酎では 10 µg/L 程度である。ローズオキサイドは発酵中のもろみの酸および蒸留熱によりシトロネロールから生成する。シトロネロールはゲラニオールが酵母の還元作用により生成し、その作用は酵母の種類により異なり清酒用協会 7 号酵母は K2 酵母と比べ 3 倍以上の変換効率を有することが認められている¹⁵⁾。

酵母はアルコールの生産と同時に、カルボニル化合物、ジカルボニル化合物、高級アルコールとそのエステル、脂肪酸およびそのエステルや硫黄化合物などの香味成分を生成する。香味成分の生成量は発酵条件にもよるが酵母の種類によって異なる。芋焼酎ではこの香味成分がそのまま商品に移行することから、酵母が生成する香味成分は芋焼酎の風味に大きく寄与することになり、酵母の選択は重要な因子となる。今後は各種酵母の香味成分生成特性を明らかにすることで、芋焼酎の風味に寄与する成分を増加した焼酎ができることが期待できる。

一方で、消費者は香りや味のみで焼酎を購入しているのではなく、一定品質以上の商品であれば、〇〇産原料 100% 使用、無農薬・有機農法作物使用、甕壺仕込みなど、原料や製造法に特徴を付加させ、ストーリー性のある商品を購入する傾向が強い。そこで、著者らは NHK 大河ドラマ「篤姫」の主演篤

姫が幼少の頃過ごしたといわれる場所の土壌から焼酎酵母を分離し「篤姫酵母」と名付け、それを用いた芋焼酎の製造に成功した⁵⁾。また、国際宇宙ステーションに 16 日間滞在させた篤姫酵母と焼酎麹菌を使った芋焼酎も商品化されている¹⁶⁾。いずれの芋焼酎とも鹿児島大学ブランド焼酎として販売されている。その他、ナデシコやヒマワリ、イチゴの花などから分離した花酵母で造った清酒などが販売されている¹⁷⁾。

VI. おわりに

本格焼酎製造は、明治時代から大正時代にかけて試行錯誤を繰り返して「二次仕込み法」に到達した。この技術は温暖な地域でももろみが腐造することなく安全に製造できる技術として普及した。そして、酒質は安定し、芋焼酎の消費は昭和 50 年代に南九州以外にも広まった。その後、減圧式蒸留法や濾過・精製技術を導入したソフトで軽快な酒質の麦焼酎や米焼酎などの穀類焼酎が消費を拡大した。一方、ほとんどの芋焼酎は常圧蒸留法をかたくなに守り、濾過は不溶化した油性成分を取り除く程度に軽く行い、市場の動向に迎合することなく独自の酒質を守ってきた。近年、原料特性が明確で濃厚な酒質を持つ芋焼酎や黒糖焼酎が再認識され全国に広がり、穀類焼酎も常圧蒸留法による焼酎が増えてきている。これからも本格焼酎は、伝統的な製造技術を継承しつつ市場ニーズに対応した技術の改良や、微生物の育種改良による新技術を導入し、酒質の多様化を目指すことになるのであろう。

文 献

- 1) 伊佐市役所, 「郡山八幡神社」, <http://www.city.isa.kagoshima.jp/culture/shiteibunka.html>
- 2) 高峯和則, 亀沢浩幸, 水元弘二ほか. 新規焼酎用酵母及び当該酵母を用いる焼酎の製造法. 特許第 3051715 号. 2000.
- 3) 高峯和則, 瀬戸口真治, 亀沢浩幸ほか. 鹿児島工試酵母の分類学的研究. 鹿児島県工業技術センター研究報告. 1991; 5: 1-7.
- 4) 高峯和則, 安藤義則, 亀沢浩幸ほか. 繊維分解酵素を用いた本格いも焼酎の製造に関する研究. 鹿児島県工業技術センター研究報告. 2001; 15: 11-15.
- 5) 高峯和則, 大山修一, 吉崎由美子ほか. 土壌からの焼酎酵母の分離と分離酵母の実用化. 日本醸造学会誌. 2010;

- 105 : 546-555.
- 6) 河内源一郎：黒麴，醸造雑誌. 1919 ; 14 : 87-88.
 - 7) 神戸健輔. 鹿児島県における甘藷焼酎製造法：醸協誌. 1942 ; 37 : 671-679.
 - 8) 岩野君夫, 三上重明, 福田清治ほか. 焼酎白麴の各種酵素生産に及ぼす製麴条件の影響. 日本醸造協会誌. 1987 ; 82 : 200-204.
 - 9) 太田剛雄, 下條寛和, 橋本憲治ほか. 白麴の β -グルコシダーゼ活性と甘藷焼酎後期への寄与：日本醸造協会誌. 1991 ; 86 : 536-539.
 - 10) 太田剛雄. 甘藷焼酎の香気：日本醸造学会誌. 1991 ; 86 : 250-254.
 - 11) 高峯和則, 吉崎由美子, 山本優ほか. サツマイモに含まれるモノテルペン配糖体の分布. 日本醸造学会誌. 2012 ; 107 : 782-787.
 - 12) 高峯和則, 瀬戸口真治, 亀沢浩幸ほか. 焼酎酵母の分離に関する研究. 鹿児島県工業技術センター研究報告. 1994 ; 8 : 1-6.
 - 13) 安藤義則, 高峯和則, 亀沢浩幸. <http://www.kagoshima-it.go.jp/public/happyo/happyo2003/12-3.pdf>
 - 14) 高峯和則, 木田健次, 亀沢浩幸ほか. H5酵母の麦焼酎と黒糖焼酎製造への応用. 日本生物工学会九州支部大会. 1997 ; 3.
 - 15) 高峯和則, 吉崎由美子, 島田翔吾ほか. 芋焼酎に検出されたローズオキシサイドの生成機構. 日本醸造学会誌. 2011 ; 106 : 50-57.
 - 16) 高峯和則. 宇宙を旅した「篤姫酵母」による鹿児島大学ブランド芋焼酎「進取の気風」の開発. 日本生物工学会誌. 2013 ; 91 : 536-537.
 - 17) 東京農大花酵母研究会, 「花酵母とは」, <http://www.hana-koubo.jp/>