



## 特集 「微生物がつくる酒類の香り」

酒類の香りは、原料由来のもの、発酵中に作られるもの、貯蔵中につくられるものがあります。今回の特集では、薫製様の香りとして知られる4-ビニルグアイヤコールなどのフェノール系の物質による香りに注目した研究を紹介します。発酵のできる香りには、いろいろありますが、香りを作る微生物は、いくつかの酵母や細菌などが知られています。微生物と香りの奥深い関係を感じてみてください。

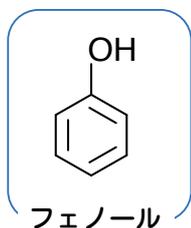
酒類中に含まれるフェノール系の香りは、下の表に示す成分などが知られており、それぞれに少しずつ異なる香りがします。また、同じ香りでも含んでいる酒類によって好ましさの評価が変わる場合もあります。

酒類中のフェノール化合物の香り

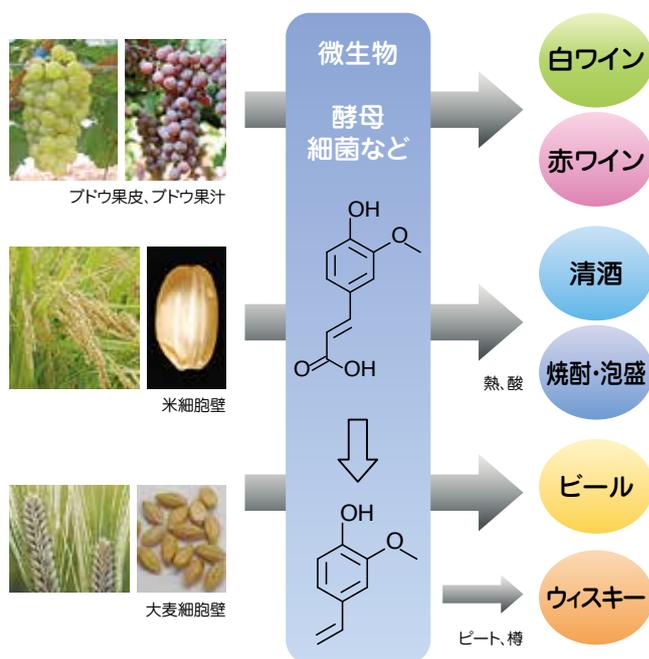
フェノール化合物	香りの表現
4-Vinylphenol (4-ビニルフェノール)	Phenolic, Medicinal (フェノール、薬箱)
4-Vinylguaiacol (4-ビニルグアイヤコール)	Clove-like クローブ(丁字)様臭
4-Ethylphenol (4-エチルフェノール)	Medicinal, Horsy (薬箱、馬小屋臭)
4-Ethylguaiacol (4-エチルグアイヤコール)	Spicy, Clove-like (スパイシー、クローブ様臭)
4-ethylcatechol (4-エチルカテコール)	Phenolic, Medicinal (フェノール、薬箱)

出典：International Journal of Food Microbiology, 206, 24-38 (2015)

フェノールとは右に示す成分(化合物)です。これを基本骨格として、化学的に修飾された化合物が、今回紹介する香りになります。



酒類中のフェノール系化合物は、主に原料由来の成分を微生物が変換して作られています。その他、樽やビートなどに由来するもの、熟成によってできるものなどさまざまです。それぞれの酒類と原料の関係を下図に示しました。原料中に、フェノール系の香りのもとが存在しています。詳しくは、次頁をご覧ください。



今回の特集では、「酒類中のフェノール系の香り」について、酵母による生成の仕組みを研究している醸造技術応用研究部門の向井伸彦副部門長に伺いました。

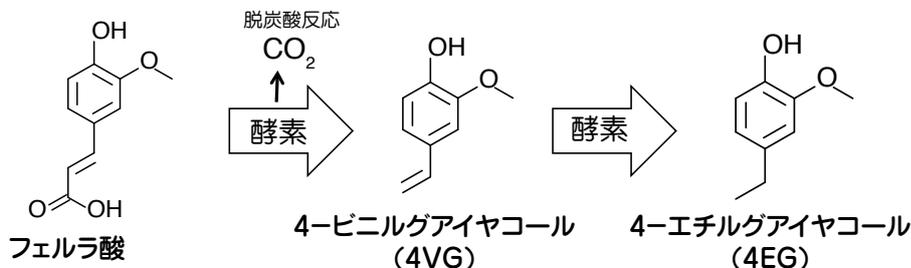


図1 フェノール系化合物の変化

—酒類中に存在するフェノール系の香りについて、こういったものがあるか教えてくださいいただけますか？

お酒の香りに関わるフェノール系の化合物としては煙様やスパイス様などの香りと表現される4-ビニルフェノール(4VP)や4-ビニルグアイヤコール(4VG)、薬品様や革製品様などの香りと表現される4-エチルフェノール(4EP)や4-エチルグアイヤコール(4EG)などが知られています。これらの化合物は構造は似ていますが、香りの質は少しずつ異なります。

—これらフェノール系の香りは、お酒の中では、どのような評価なのですか？

フェノール系の香りは評価が複雑です。お酒の中に含まれる、ある香気成分が好ましくないものとしてネガティブに評価される場合がある一方で、同じ香気成分が別の種類のお酒では、そのお酒の特徴を表すものとしてポジティブに評価されることもあります。

一般的なビールでは、4VGの香りは好ましくないという評価がある一方で、ドイツで愛飲されているパイツェンという、小麦麦芽を50%以上使用しているビールでは、4VGの香りが特徴香としてプラスに評価されます。また、ベルギーの伝統的な製造法で醸造されるランビックビールでは4EPが特徴香の1つとされますが、一般的なビールでは4EPは好ましい評価にはなりません。

ワインでは、白ワインで4-ビニルフェノール類(4VP及び4VG)が多く含まれると良い評価にはなりません。赤ワインでは、4-エチルフェノール類(4EP及び4EG)が多く含まれると良い評価にはなりません。

清酒や焼酎では、4VGが多いと良い評価にはなりません。一方、沖縄にて製造される蒸留酒の泡盛では、4VGの香り自体は欠点とされますが、泡盛の貯蔵中に4VGが変化して生じるバニリンによるバニラ様の甘い香りは、古酒(コース)の特徴香の1つとなっています。

—これらの香りはどこからできてくるのでしょうか？

基本的には原料由来であり、原料に含まれる成分を微生物が変換して造られてくるものと考えられています。

また、樽で熟成する場合は、樽から溶出してくる成分もこれらの香りに関係するといわれています。

—具体的には原料のどのような成分が変換されて、4VGなどのフェノール系の香りになるのですか？

原料は穀類や果実ですが、植物ですので、細かく見ると、細胞の周りに細胞壁を持ち

ます。その細胞壁には、フェルラ酸などのフェノール系化合物が結合して存在しています。果実中には、結合せず単独で存在しているものもあるようです。

図1のように、フェルラ酸は酵素による脱炭酸反応により4VGになり、さらに還元酵素により、4EGになります。

—原料と微生物の関係をもう少し詳しく教えてくださいいただけますか？

ビールでは、麦芽に含まれるデンプンをビール酵母が直接栄養にすることはできません。そこで、麦芽に含まれる酵素を利用して麦芽を糖化させ麦汁を作りますが、デンプンは主にマルトース、マルトトリオース、グルコースといった糖類に分解され、これら糖類をビール酵母が栄養にすることでアルコールが作られます。その際、麦芽の細胞壁に結合していたフェルラ酸(無臭)が酵素の働きで麦汁中に遊離してきます。パイツェンビールでは、パイツェンビール酵母とよばれるやや特殊なビール酵母が用いられますが、パイツェンビール酵母はフェルラ酸から4VGに変換する能力が高いようです。また、ランビックビールでは、培養酵母を用いずビール醸造所の蔵付き酵母など様々な微生物が発酵に関与します。ランビックビールの特徴香である4-エチルフェノール類は、蔵付き酵母の一種であるブレタノミセス属酵母が関与するといわれています。

ワインでは、ブドウ果汁に含まれるp-クマル酸(無臭)、フェルラ酸(無臭)が酵母によって変換されるといわれています。白ワインでは、ワイン酵母であるサッカロマイセス・セレビスエが、赤ワインでは、



2015年6月IWSC審査にて (IWSC本部、英国)

醸造技術応用研究部門 副部門長

向井 伸彦 (むかい のぶひこ)

醸造には好ましくないとされるプレタノミセス属酵母が、4-ビニルフェノール類や4-エチルフェノール類の生成に関与することがわかっています。

清酒や焼酎では、清酒酵母や焼酎酵母の4VG生成に関わる遺伝子が壊れていて、4VGを生成することができません。しかしながら、米麴から持ち込まれる細菌などが4-ビニルフェノール類の生成に関わっていることがわかってきました。

#### 一フェノール系の香りの生成は複雑ですね。

原料、微生物、微生物の酵素、さらには熟成の関係をパズルのように解いていくと、どうしてこのお酒に、この香りができるのか、仕組みがわかってきますね。

#### 一こういった香りを抑えるためには、どのような取組みが行われているのですか。

1つは、このようなネガティブな香りを生成する微生物を排除する方法です。酒類醸造にとって必ずしも好ましくない微生物に汚染されないように心掛けます。原料や醸造所内を清潔に保ちます。

もう1つは、このような香りを作らない微生物を利用することです。白ワイン醸造では、4-ビニフェノール類を作らないワイン酵母が選抜、利用されている例があります。

#### 一オフフレーバーを生成しない酵母の開発は可能なのですか？

酵母の機能は、その遺伝子に由来しますので、アルコール発酵には影響を与えず、オフフレーバー生成の原因となる遺伝子が抑えられた酵母の育種は可能です。ただし、酵母の遺伝子は約6,000個あると言われており、そのうちのどの遺伝子が、その機能を担っているかを調べるのは大変です。これまでの研究の積み重ねで、少しずつ明らかとなってきます。

現在、日本醸造協会から清酒酵母が頒布されていますが、それらの酵母は、4VGを生産できないことは、遺伝的に調べられています。

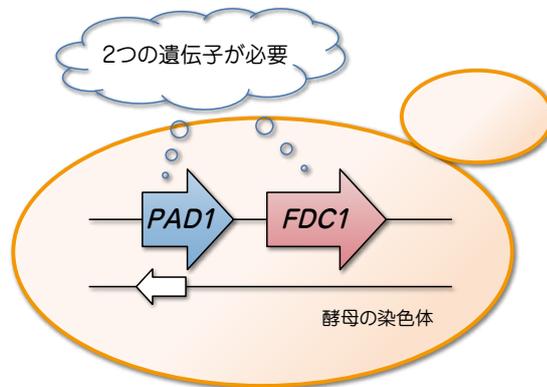


図2 酵母の2つの遺伝子が4VGの生成に関与している

#### 一世界で行われている研究について詳しく教えていただけますか。

酒類に限らず、食品のオフフレーバーの研究は、世界中で行われています。今回のフェノール系の香りについても、この数年で明らかになったことがいくつかあります。最近まで、お酒を作る酵母がどう関与しているのかは、明らかではありませんでした。ある種の酵母によってフェルラ酸が脱炭酸されると4VGが生成されます。生物の持つ遺伝情報は遺伝子の配列によって決まりますが、この反応に関わる酵母の遺伝子として2種類の遺伝子関わっていることが知られています。1つ目は*PADI* 遺伝子（フェニルアクリル酸脱炭酸酵素遺伝子）です。2つ目は*FDCI* 遺伝子（フェルラ酸脱炭酸酵素遺伝子）です。それぞれ4VGの生成に重要な遺伝子だといわれていました。これら2つの遺伝子は、酵母の染色体上で2個並んで存在していますが、両遺伝子がどのように脱炭酸反応に関わっているかの詳細はわかりませんでした。

#### 一当研究所ではこういった研究が行われているのですか。

従来知られていた酵母の*PADI*、*FDCI*の両遺伝子がフェルラ酸脱炭酸反応にどのように関わっているのか、当研究所で調べたところ、酵母のフェルラ酸脱炭酸反応には両遺伝子が必須であることがわかりました。つまり、両遺伝子がそろって機能している場合に、脱炭酸反応が可能であることがわかりました（図2）。

また、醸造用酵母のフェルラ酸脱炭酸能を調べたところ、それぞれの酵母で能力が

異なっていることがわかりました。ビール酵母では、エールタイプのビールの製造に用いられる上面発酵ビール酵母、ピルスナータイプのビールの製造に用いられる下面発酵酵母では脱炭酸能を持たず、パイツェンビール酵母は脱炭酸能を持つことがわかりました。ワイン酵母では、多くの株で脱炭酸能を持ちましたが、中には脱炭酸能を持たない酵母もありました。清酒酵母や焼酎酵母では、脱炭酸能を持たないことがわかりました。

醸造用酵母での能力の違いの原因を調べるため、*PADI*、*FDCI* 両遺伝子の配列を調べたところ、フェルラ酸脱炭酸能を持たない上面発酵ビール酵母、下面発酵ビール酵母、清酒酵母及び焼酎酵母では、*FDCI* 遺伝子配列内に変異が生じたことにより、正常に機能していないことがわかりました。また、遺伝子配列の変異箇所は、醸造用酵母の間で、ある程度のパターンがあることもわかりました。

醸造用酵母はそれぞれの酒類を製造するのにふさわしい酵母として長い時間をかけて選抜されてきました。醸造用酵母のフェルラ酸の脱炭酸能の有無と遺伝子変異パターンから、人間が選抜してきた歴史を知ることができます。

#### 一今後の研究について一言いただけますか。

最近醸造用酵母以外の微生物が4VGの生成に関与することも明らかになりつつあります。今後も酒類中でのフェノール系の香りの生成機構の解明や、各酒類の香りの特徴を生かしたお酒造りのための研究に取り組んでいきたいと考えています。

## 1 海外における日本酒教育のインストラクター養成に協力

国際的なワイン等の教育機関であるWine and Spirit Education Trust (WSET、本部：ロンドン) で開設している「日本酒コース」のインストラクターを養成するプログラムに協力しました。

平成28年1月21日、22日の2日間にわたり、プログラムの受講者とWSET 関係者総勢19名が当研究所を来訪し、講義等を受講しました。今後、WSETを通じて日本酒の素晴らしさを広く発信していただけることを期待しています。



## 2 学会賞

平成27年度日本醸造協会技術賞に「黒麹菌の分子生物学的解析による分類と安全性に関する研究」(山田修)、平成27年度日本醸造協会伊藤保平賞に「清酒酵母判別のためのプライマー設計に関する研究」(福田央・周延・三上重明)が選ばれ、平成27年度日本醸造学会大会(平成27年10月6日から7日)にて、表彰されました。



## 3 セミナー等

- (1) 酒類醸造セミナー(短期製麹コース)  
当研究所と日本酒造組合中央会の共催で、第109回酒類醸造セミナー(短期製麹コース)を、平成27年8月31日から9月4日まで行いました。
- (2) 清酒官能評価セミナー  
清酒に関する官能評価の専門家を養成する清酒官能評価セミナーを、平成27年11月24日から11月27日まで行いました。
- (3) 酒類醸造セミナー(本格焼酎コース)  
当研究所と日本酒造組合中央会の共催で、第109回酒類醸造セミナー(本格焼酎コース)を、平成27年11月24日から12月18日まで行いました。
- (4) 酒類醸造セミナー(ワインコース)  
当研究所と日本ワイナリー協会の共催で、第109回酒類醸造セミナー(ワインコース)を、平成28年2月24日から3月10日まで行いました。

## 4 ワイン展への協力

東京・上野の国立科学博物館にて、平成27年10月31日から平成28年2月21日まで開催された特別展「ワイン展ーぶどうから生まれた奇跡ー」に、当研究所から展示品の提供や、職員を派遣してのセミナー開催などの協力を行いました。

## お知らせ

### 1 平成27酒造年度全国新酒鑑評会について

「全国新酒鑑評会」は、当研究所と日本酒造組合中央会の共催で、吟醸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、清酒の品質向上に資することを目的として行っています。平成27酒造年度の鑑評会は、104回目に当たります。詳細につきましては、当研究所ホームページをご覧ください。

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

### 2 海外に日本酒を紹介するリーフレット

海外の消費者に日本酒をわかりやすく紹介するために、A5サイズのリーフレットを作成しています。現在、英語、韓国語、中国語(繁体字)、中国語(簡体字)の4言語を用意しています。海外の方への日本酒の説明に是非ご活用ください。詳細につきましては、当研究所ホームページをご覧ください。

[http://www.nrib.go.jp/sake/sake\\_leaflet.htm](http://www.nrib.go.jp/sake/sake_leaflet.htm)

### 3 酒総研メールマガジンについて

当研究所では、プレスリリースやイベント情報など、当研究所の最新情報やお酒に関するお役立ち情報をメールマガジンで配信しています。登録方法はパソコン又はスマートフォンから、[ssn@m.nrib.go.jp](mailto:ssn@m.nrib.go.jp)あて空メールを送信してください。「仮登録のお知らせ」を受信後、メールの内容に沿って「本登録」を行ってください(右のQRコードからも仮登録いただけます。)。詳細につきましては、当研究所ホームページをご覧ください。



[http://www.nrib.go.jp/gui/nrib\\_mmz.htm](http://www.nrib.go.jp/gui/nrib_mmz.htm)

### 技術相談窓口案内

酒類に関する質問にお答えします。  
TEL：082-420-0800(代表)

共同研究、試験醸造などの技術的連携・支援のご相談  
【連携窓口(E-mail)：[renkei@nrib.go.jp](mailto:renkei@nrib.go.jp)】

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 <http://www.nrib.go.jp/>

〒739-0046 広島県東広島市鏡山 3-7-1

TEL：082-420-0800(代表)

◎本誌に関する問い合わせは、下記までお願いします。

なお、ご意見やご感想もお寄せください。

企画編集 TEL：082-420-0840

メールアドレス：[joukou@nrib.go.jp](mailto:joukou@nrib.go.jp)

(武藤、赤尾、正木、鎌田)

◆「エヌリブ」は当研究所ホームページからご覧になれます。

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

平成28年3月31日 第29号 年2回発行  
2016.3.31 No.29

