

ビールをはじめとする酒類の香り研究について

誌名	日本醸造協会誌 = Journal of the Brewing Society of Japan
ISSN	09147314
著者名	蛸井, 潔
発行元	日本醸造協会
巻/号	110巻7号
掲載ページ	p. 479-488
発行年月	2015年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ビールをはじめとする酒類の香り研究について - 近年の成果とトレンド -

分析機器の発展とともに、ビールの香り、ホップの香り、酸化劣化臭、それらがヒトに与える影響などについての研究が盛んに行われ、今では多くの知見が得られている。本内容は、過去に行われたそれら研究について振り返り、酒類が醸し出す香りについて論じたものである。

蛸井 潔

1. はじめに

世界には醸造酒（ワイン、ビール、清酒等）から蒸留酒（ウイスキー、ブランデー、焼酎等）までさまざまな酒類があるが、それぞれ主に使われる原料の違いや、醸造、蒸留、熟成方法等の違いにより、その香味は千差万別である。特に「香り」はもともとの原料に由来する香りに加え、発酵において酵母や乳酸菌等の代謝により生成する香り成分、さらには熟成方法の違いや製品になってからの保存条件等の要因が複雑に絡み合って形成される。そのような香りは、時にはその酒類特有の香りとして経時的な変化まで含めて楽しまれ、一方、オフフレーバーを伴う劣化による変化では、嗜好的価値を損なう場合もある。そのため、酒類の香りに関しては、現在に至るまで様々な研究が行われてきており¹⁾、それらは分析・同定、香りの生成メカニズム解明などの分析化学・生化学的な研究から、香りが人に及ぼす影響に着目した感性科学的な分野まで多岐に及んでいる。

ビールを例にとってみると²⁾、その主原料は大麦芽である。大麦を麦芽にするためには、一度水に浸漬して水分の高い状態で発芽させ、種々の酵素の生成や貯蔵成分の分解を行なった後、酵素活性を残しつつ高温で乾燥する「焙燥」という工程を経るが、発芽の過程での成分変化や焙燥でのメイラード反応等により、元の大麦芽にはなかった香り（前駆体を含む）が生

成される。ホップはビールに特有の苦味の元となる樹脂成分や精油成分を豊富に含み、ホップ精油にはテルペン類をはじめ、エステル類、アルデヒド類、ケトン類、含硫化合物など、多様な香り成分が含まれ、ビールに特有のホップ香を付与している。また、酵母によるアルコール発酵の過程では、アルコール類、脂肪酸類、エステル類が生成されるが、麦芽やホップに由来する香り成分の一部も酵母の代謝により変換されることが知られている。

このような過程を経て生成されるビールの香り成分は数が多いだけでなく、由来や生成経路も複雑であり、その生成経路の解明には過去、多くの研究者が取り組み、様々な知見が得られている。

本報では主に近年のビールの「香り」に関する研究成果をいくつかピックアップするとともに、酒類の香り研究が酒類の分野内はもとより、時には分野を越えて影響し合ってきたような研究のクロスオーバーの例についても紹介してみたい。

2. ビールの老化メカニズムに関する研究

2.1 ビールの老化メカニズムの解明と実工程への応用

ビールの香りは他の酒類と比べると変化しやすく、日本国内では賞味期限は9か月に設定されている³⁾。長期間の保存に伴い「老化臭」と呼ばれる好ましくない香りが生成するが、一口に老化臭といっても特徴の異なる様々な臭いがあり、厚紙を濡らしたようなカー

ドボード臭や甘くウィスキー的なニュアンスの臭いなども含まれる。それらは官能検査用語をまとめたアロマホイール上ではさらに細かく分けて表現されるが、それらに関与する成分も数多く提唱されている^{2,4)}。

このようなビールの老化臭は保存中の酸化により生成すると考えられていたが、サッポロビール社ではビールの保存に伴う変化を電子スピン共鳴スペクトル (ESR) や化学発光などの手法で追跡、解析した結果、酸化に伴い生成するフリーラジカル (活性酸素) がビールの老化の進行に対して大きな役割を持っていることを明らかにし、第1図に示すビールの香味劣化メカニズムの全体像を提案した⁵⁾。

フリーラジカルがいったん生成するとその反応は連鎖的に進むため、反応全体を抑制するためにはビール製品中の酸素含量を可能な限り低減することが望ましい。しかし、酸素含量をゼロにすることは物理的に不可能である。そこで、ビールそのものにフリーラジカル反応への耐性を付与することが対策として考えられた。そのために、ビールの発酵前の麦汁を製造する仕込工程に着目し、仕込工程における空気の巻き込みを最小限とし酸化反応を抑制すると、ビール中のポリフェノールなどの抗酸化物質が多く残存し、ビールのラジカル反応への耐性が向上するということが明らかと

なった。

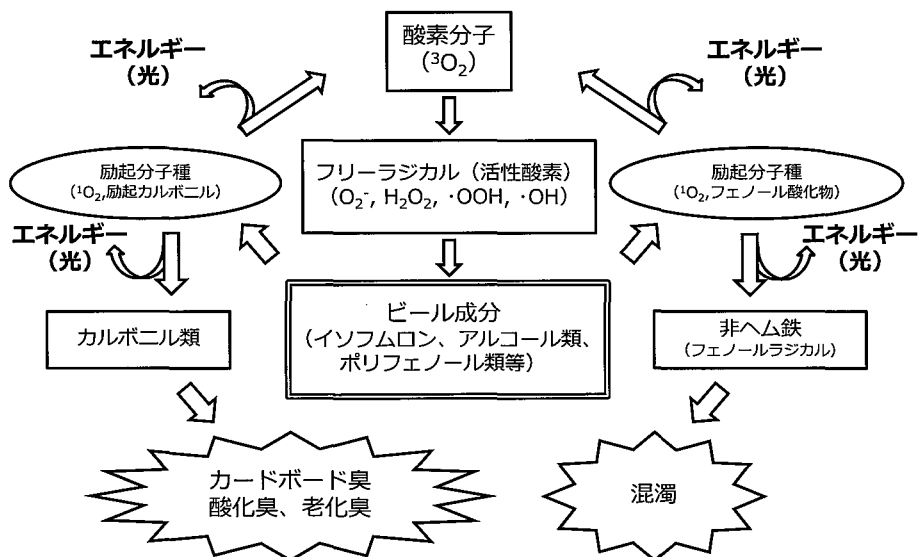
一連のフリーラジカル研究に日本人研究者の果たした功績は大きく、この研究テーマにおいてはサッポロビール社とサントリー社でアメリカ醸造化学会 (American Society of Brewing Chemists) のエリック・ニーン記念賞 (年間優秀論文賞) を計3回受賞している⁶⁻⁸⁾。その業績の中で、サントリー社はESRを用いてビールの内在性抗酸化力を評価する方法を開発したが、これは現在も国際的に活用されている。また、サッポロビール社では、これらの知見に基づき、仕込での酸化を抑制できる「抗酸化製造法」を全工場に展開しビールの香味耐久性を向上させることに成功し、その基礎研究から全社的な応用展開までの一貫した成果により日本農芸化学会の2000年度農芸化学技術賞を受賞している⁵⁾。

もちろん、ビールの香味耐久性は共通のテーマであり、各社ともビールの新鮮さを保つための種々の対策を行なっている。

2.2 脂質酸化メカニズムの解明

前節で述べた通り、ビールの老化臭には特徴の異なる様々な臭いがあるが、このうちカードボード臭については原料である麦芽に由来する脂質の酸化で生成する *trans*-2-ノネナール (T2N) の関与が示唆されてき

保存に伴うビールの品質劣化機構



第1図 保存に伴うビールの香味劣化のメカニズム⁵⁾

た⁹⁾。

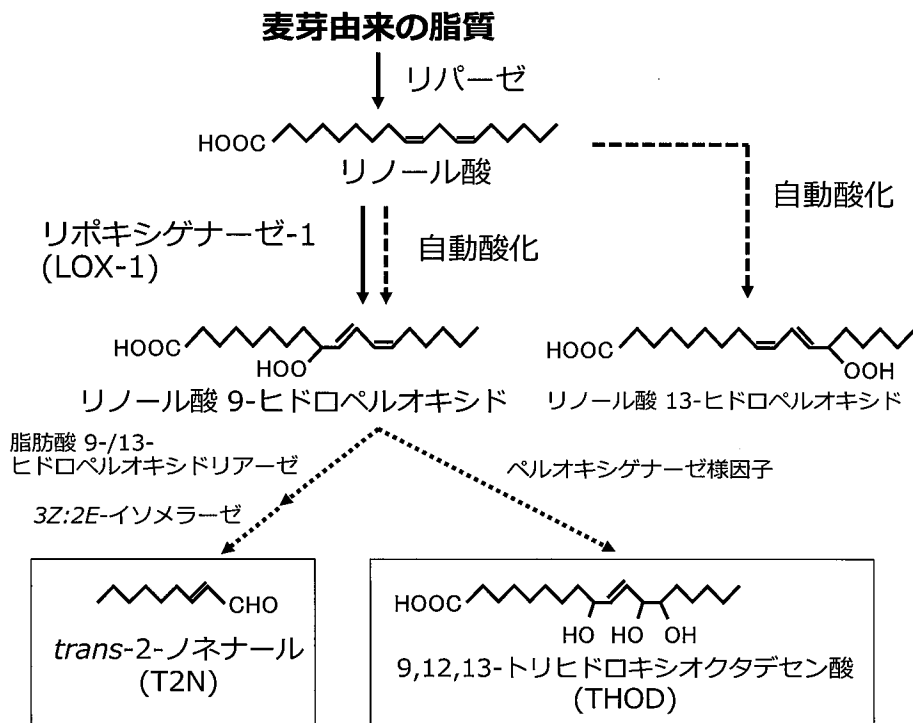
大麦麦芽はもともと脂質を豊富に含み、麦芽の酵素を仕込でのデンプン、たんぱく質分解に活用し、穀皮を麦汁ろ過のろ過材としても用いるため、脂質酸化の基質となる脂質およびその酸化酵素を含む麦芽の全粒を仕込に使用する。そのため、ビールの仕込工程上、脂質酸化を完全に避けることは難しい。脂質酸化により生じたフリーラジカルは仕込中の他の酸化反応にも関与するため、カードボード臭だけでなく他の老化臭をも左右する重要な要因といえる。

大麦は主に2種のリポキシゲナーゼを有し、このうちリポキシゲナーゼ-2 (LOX-2) は大麦を麦芽にするための発芽工程で生成されるものの、熱安定性が低く焙燥工程で大部分が失活する。一方、リポキシゲナーゼ-1 (LOX-1) は大麦種子の登熟中に既に生成されており、焙燥工程を経た麦芽中にも活性が残存している。このLOX-1についても、製麦での失活により仕込工程中の寄与は小さいとされていた時期もあったが、サッポロビール社は仕込工程中でわずかながら残存するLOX-1活性が重要な役割を持つことを見出し、さ

らに関連酵素群の働きをも解明し、仕込工程中での脂質酸化反応の全体像を提案した(第2図)¹⁰⁾。この経路は現在、ビール学会において定説となっている。

大麦麦芽の脂質の脂肪酸の部分は主にリノール酸で構成されているが、リノール酸は水溶性が低く、また、ほとんどのリノール酸は麦汁をろ過する際にろ過層となる麦芽由来の固形分に吸着されるため、ビールにまで移行するリノール酸は微量である。しかし、仕込工程においては麦芽中の脂質酸化関連酵素群により最終的な酸化生成物としてトリヒドロキシオクタデセン酸 (THOD) や T2N が生成する。THOD はリノール酸より水溶性が高く、ビールのキレを損なったりビールの泡持ちを低下させる効果があり、T2N は前述の通りカードボード臭を呈し、いずれもビールの品質を劣化させる要因となる。

仕込工程で生成した THOD の一部はその後の麦汁煮沸での T2N 生成の前駆体ともなる⁹⁾。また、仕込から麦汁煮沸までに生成した T2N もそのままの形ではなく、アミノ酸やたんぱく質と無臭のシッフ塩基を形成して潜伏状態でビールに移行するとされている⁹⁾。



第2図 仕込工程での酵素による脂質酸化の経路¹⁰⁾

いずれにしてもカードボード臭の原因となる T2N の生成には仕込工程の影響が大きく、それを酵素的に促進する第 2 図の経路がビールのカードボード臭の要因として非常に重要であるといえる。

2.3 LOX レス大麦の開発

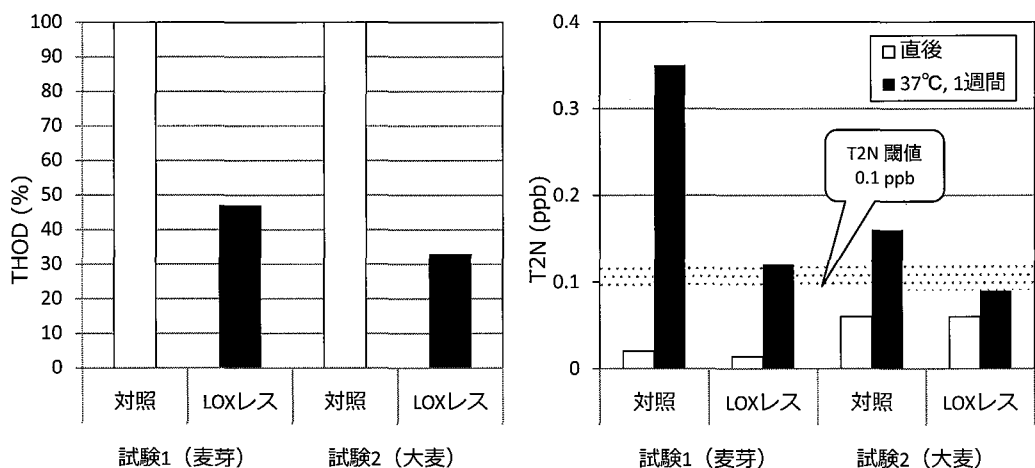
第 2 図の一連の反応は麦芽由来の脂質酸化関連酵素群が活性を保持している仕込工程の初期に主に起こる。2.1 で紹介した抗酸化製造法は反応に関与し得る酸素の巻き込みを防ぐという観点からこれらの抑制にも有効と考えられるが、それだけでは脂質酸化反応の抑制には限界がある。第 2 図の経路では、関連酵素群の中で反応の上流でリノール酸の酸化反応のトリガーとして機能しているのは LOX-1 である。この活性を抑えることで、下流の反応を効果的に抑制できると考えられるため、工程改善の観点からは、仕込工程において他の酵素の活性を残しつつ LOX-1 を失活させるような試みも行なわれている。

一方で、この課題に対して、原料の観点からアプローチしたのが LOX-1 欠失大麦の開発である。大豆においても風味改善のためのリポキシゲナーゼ欠失品種の開発は実績があり¹¹⁾、大麦においても植物体としての生育やその他の品質には影響なくこの特性 (LOX-1 欠失→以下 LOX レスと略す) を付与できることが期待された。現在、国内外で LOX レス大麦の品種開発が進められているが、サッポロビール社では

世界に先駆けて在来種大麦のスクリーニングから LOX レス形質を有する品種を見出した。この形質は戻し交配等の伝統的育種手法を用いれば、遺伝子組換え技術を用いることなくビール大麦に導入することが可能である^{12,13)}。

LOX レスの特性を持った大麦で醸造を行なうと THOD, T2N の生成量が低減され、泡持ち、香味耐久性が向上することが確認された。第 3 図には LOX レス大麦を麦芽にして用いた場合と、大麦のまま副原料として用いた場合の THOD, T2N の低減効果を示した¹³⁾。THOD はいずれの仕様でも対照の半分以下に減少していた。また、T2N は詰め直後の段階では無臭の前駆体 (アミノ酸、たんぱく質とのシッフ塩基や亜硫酸との結合体⁹⁾) を形成しているため対照、試験間で差がないが、保存後に遊離してくる T2N は対照では閾値を超えるのに対し、試験では閾値以下にとどまっている。先にも述べた通り、LOX-1 は大麦種子中にも含まれるため、LOX レス大麦の効果は副原料大麦として使用した場合にも効果的であることが第 3 図からわかる。この取り組みは、工程改善だけでは突破できなかった壁を原料に着目することで打ち破った例といえる。

サッポロビール社ではカナダにおいて世界初のビール醸造用の LOX レス大麦品種 CDC PolarStar を育成し、実際にビール醸造に使用している¹⁴⁾。なお、同



第 3 図 LOX レス大麦を用いた醸造試験における THOD, T2N の低減効果¹³⁾

試験 1(麦芽としての評価) : 麦芽 24% + 液糖 76%, 試験 2(大麦としての評価) : 麦芽 24% + 大麦 76% (麦芽は非 LOX レスの麦芽を共通で使用)

社は日本国内、豪州、欧州でも LOX レス品種の開発を進めており、今後の普及が期待される。

2.4 ビールの老化臭もところ変われば？

ここまで述べてきた脂質酸化とカードボード臭については原因と結果が体系的に解明されている例であるが、ビールの老化臭に寄与する成分は他にもスモーキーな香気の 3-メチル-2-ブテン-1-チオール、ココナツ様の γ -ノナラクトン、茹でたジャガイモ的な 3-(メチルチオ)プロピオンアルデヒド、バラや蜂蜜様の β -ダマセノン、漬物様のジメチルトリスルフィド(DMTS)など多数あり、中には閾値以下の含量の成分もあるが、それらが複合的にビールの老化臭を形成していると考えられている⁴⁾。

このうち DMTS は、近年の研究で清酒の老香(ひねか)の原因であることもわかってきている¹⁵⁾。これは、異なる酒類のオフフレーバーに同じ物質が関与している例といえる。

一方、ビールの老化臭を形成する化合物の中でも、ココナツや桃を想起させる γ -ノナラクトンは単独では必ずしも不快な香りではなく、モルトウイスキー中にも含まれることが知られている¹⁶⁾。

また、 β -ダマセノンについては芋焼酎の甘い香りを形成する重要な因子と考えられている^{17,18)}。また、ワインにおいてもよい香りとして認識されており、例えば、メルシャン社ではこの成分が甲州ブドウの果皮に局在していることを利用し、スキンコンタクトにより甲州ワインに β -ダマセノンの特徴を付与する新たな試みも行われている¹⁹⁾。

このように、ある酒類ではオフフレーバーとして避けられる香り成分も、他の酒類においては必ずしも不快な香りとはみなされないか、特徴香の一部としてむしろ歓迎されるようなケースもあるのが香りにまつわる研究の面白さといえる。

3. ホップの香りにまつわる研究

3.1 ホップの香りの多様化

醸造酒の原料として、ワインはブドウ、清酒は米を用いるが、ビールは麦芽とホップを用いるところに特徴がある。ホップはアルコール発酵の直接の原料(糖源、窒素源等)としては寄与しないが、ビールに特有の苦味と香りを付与するとともに、その清澄性や微生物耐久性を担保し、また、ビールの視覚的な特徴であ

る泡に対してもなくてはならない重要な原料である。

一般にホップは、苦味質(α 酸)含量は必ずしも高くはないが香りが上質とされる「アロマホップ」と、 α 酸含量が高く主に苦味付与の目的で使われる「ビターホップ/高 α 酸ホップ」に分類されてきた。

ビールのタイプによりホップの香りに強弱はあるが、一般に欧州の伝統的なアロマホップに由来するビールのホップ香は樹木様、ハーブ様、スパイス様等と表現され、品種による香りのタイプの違いは若干あるものの、比較的近い系統の香りである。そのため、ファインアロマホップと呼ばれる一部の品種を除いては、品種による香りの違いが積極的に語られることは少なかった。

しかし今世紀に入り、主にオセアニアや米国において、これまでになかった様々なフルーツ様の香りをビールに付与できるホップ品種が育成されてきている。これらのホップは概して α 酸の含量が従来の高 α 酸ホップ並に高く、香りの特徴も伝統的なアロマホップとは明らかに異なり、従来の分類に収まりきらないことから、新たに「フレーバーホップ」という呼称が提唱されつつある。

これらのホップ品種に着目したクラフトビールの醸造家たちが品種ごとの香りを強調したビールを作り始めている。さらに、世界的なクラフトビールのブームが後押しとなり、近年「フレーバーホップ」は栽培面積を増やし、また、新たな品種の開発も活発化してきている。

このようなトレンドの中で、ワインにおけるブドウの品種のように、ホップの品種とその香りに醸造家やクラフトビールファンの注目が集まっている。

3.2 ワインとビールをつなぐチオールの香り

ニュージーランド(NZ)で2000年に品種化された Nelson Sauvignon はそういったホップの先駆けであり、ビールにソーヴィニオン・ブランワインのような香気を付与するとされ、クラフトビールの世界での人気も特に高い。

ソーヴィニオン・ブランワインの特有香はグレープフルーツ様、パッションフルーツ様、ツゲ、エニシダの芽の香りなどと表現され、その寄与成分は官能閾値が非常に低く、特徴的な香気を有する揮発性チオール類(3-スルファニルヘキサノール(3SH)、3-スルファニルヘキシルアセテート(3SHA)、4-メチル

4-スルファニルペンタン-2-オン (4MSP) など) であることが解明されている²⁰⁾。

第4図にはこれまでにホップ由来でビールに含まれることが報告されている揮発性チオール類を一覧で示した。サッポロビール社とボルドー大学の故富永敬俊博士の共同研究によると、Nelson Sauvínのホップ及びビールからは3SH, 4MSPだけではなく、構造は3SHに近いもののワインや他の食品では報告のなかった新規なチオール3-スルファニル-4-メチルペンタン-1-オール (3S4MP) とそのエステル3-スルファニル-4-メチルペンチルアセテート (3S4MPA) も見出发見され、このうち3S4MPが他のチオールと比べ突出して含まれていた。3S4MPは3SHに近いグレープフルーツ様の香気を呈することから、Nelson Sauvínのソーヴィニオン・ブランワイン様の特有香の主体はこのチオールであることがわかった²¹⁾。

ホップ由来の4MSPや3SHについてもアサヒビール社から興味深い報告がある。一般にチオールは金属と親和性が高く、「ワインに銅貨を入れるとチオール由来の香りがなくなる」とも言われている。一方、ブドウやホップの栽培にはべと病対策で硫酸銅を含むボルドー液が使われることが多い。ボルドー液をよく使

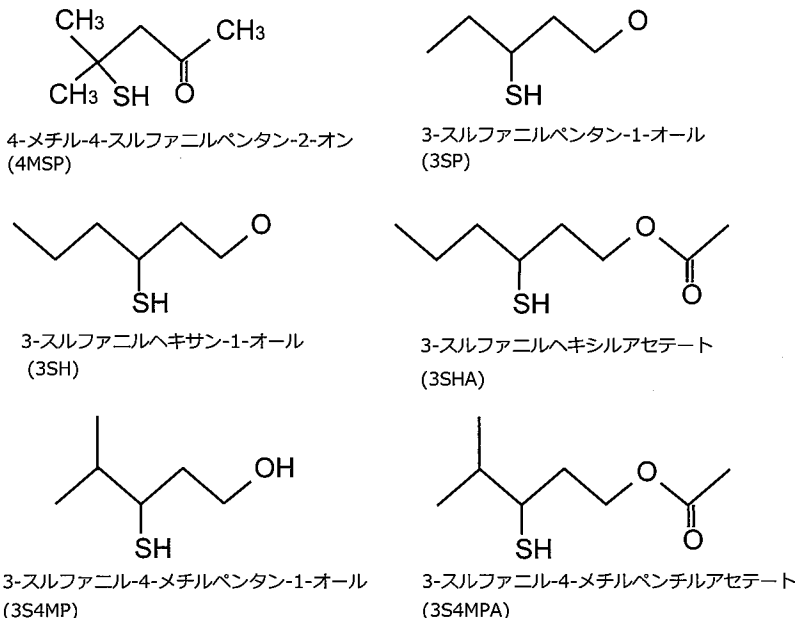
い、ホップ中の銅イオン含量も高い欧州産ホップにはチオール4MSPがほとんど含まれず、ボルドー液を使わないアメリカやオーストラリア、NZのホップには4MSPが含まれていたことから²²⁾、ホップのチオール含量にボルドー液が影響している可能性が考えられた(ワインでもボルドー液を多用した畑のソーヴィニオン・ブランは香りが乏しいとされる²⁰⁾)。同じ品種をボルドー液のありなしで栽培、収穫して比較した試験結果によれば、4MSPについては、ボルドー液の影響でホップ中の含量が低下することが確認された²²⁾。

しかし、単年度のボルドー液散布では4MSPの減少幅が小さかったこと、また3SHは銅への感受性が弱くボルドー液の影響をあまり受けないこと²²⁾などから、現時点での知見を総合すると、ホップのチオールの多寡や組成に対しては品種の違いによる要因が大きいのではないかと推察される。

「フレーバーホップ」の主要産地(アメリカ、オセアニア)とチオール類を含むホップの産地は重なっており、チオール由来の香気は「フレーバーホップ」の品種特有香に寄与する要因のひとつと考えられる。

3.3 酵母が醸すモノテルペンアルコールの香り

ホップ精油はテルペン類を多く含む^{1,2)}が、その大



第4図 ホップ由来の揮発性チオール類^{21,22)}

(-SH基は「メルカプト」の表記例も多いが、本報では推奨される「スルファニル」表記に統一した)

部分を占める炭化水素系のテルペン類（ミルセン、フムレンなど）は揮発性、疎水性が高く、ビールへの移行率は極めて低い。一方、水酸基を持つテルペンアルコール類はビールまでの移行率が高い。モノテルペンアルコールのリナロールはビールでよく検出される代表的なホップ由来香り成分であり、ビールのホップ香の指標成分とされてきた。

モノテルペンアルコールとしてはリナロール、ゲラニオール、ネロール、 β -シトロネロール、 α -テルピネオールが挙げられるが、ホップ中のこれらの組成を調査してみると、ホップ中のモノテルペンアルコールは主にリナロールとゲラニオールの比率が高く、ネロール、 α -テルピネオールは比率が低く、また β -シトロネロールはほとんど含まれていなかった。さらに、リナロールは（量の多寡はあれ）全てのホップに含まれていたが、ゲラニオールは品種間差が大きく、リナロール以上に含む品種もあれば、ほとんど含まない品種もあり、調査された中では欧州のホップはあまりゲラニオールを含んでいなかった^{23,24)}。

過去のホップ香り研究では、モノテルペンアルコールの中でもリナロール以外はあまり重視されてこなかったが、その理由の一つとしては、ホップ香気の研究が主に欧州中心に行なわれており、リナロール以外のモノテルペンアルコールをあまり含まない欧州のホッ

プ品種をサンプルとして用いることが多かったためではないかと思われる。

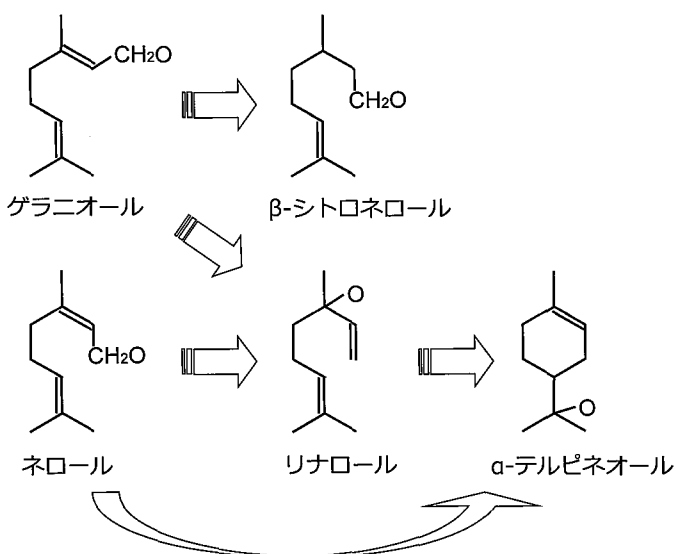
第5図^{23,24)}にはモノテルペンアルコールが酵母の代謝で変換される経路を示した。サッポロビール社の研究では、ゲラニオールは酵母の代謝でホップにはほとんど含まれない β -シトロネロールに変換され、リナロール、ゲラニオール、 β -シトロネロールをすべて含む場合に、レモン/ライム様の柑橘香が発現することも確認された。

アメリカ、NZ等の品種は全般に欧州品種よりゲラニオールが高い傾向にあり²⁴⁾、こちらも「フレーバーホップ」の主要産地（アメリカ、オセアニア）と重なる。モノテルペンアルコールの香気もまた「フレーバーホップ」の香気に寄与しているものと考えられる。

3.4 「フレーバーホップ」はどこから来たのか？

3.2, 3.3にまとめたように、独特のフルーティ感をビールに付与し、また品種ごとの特徴も多様な「フレーバーホップ」は主にアメリカ、オセアニアに端を発し、その人気から、近年では欧州でも新しい育種が行われつつある。しかし、その特徴的な香りをもたらす形質は何に由来するのだろうか？ その点について、2013年にアメリカのビール雑誌 All About Beer Magazine に面白い記事が掲載されていた。

この記事²⁵⁾では、本稿でも紹介した「フレーバー



第5図 下面発酵酵母および上面発酵酵母に共通するモノテルペンアルコール類の代謝変換経路^{23,24)}

ホップ」とチオールやモノテルペンアルコールに関する知見を紹介し、さらにそのような「フレーバーホップ」の成立過程について、中国を原産として100万年以上前の遺伝的分岐で欧州に分布していった欧州ホップ集団と、その後に分岐、伝播していった北米集団が20世紀以降のホップ育種で徐々に交配されるようになり、そのような異なる遺伝集団の出会いが「フレーバーホップ」の多様性の一因ではないか、と考察している。

「フレーバーホップ」の育種においては交配元となった品種にはなかった香気が突然発現することがままあり、現時点では高チオールや高ゲラニオールの形質を左右する遺伝的要因は未解明であり、上記の考察を裏付けるような研究があるわけではないが、心なしか壮大なロマを感じる仮説ではある。

なお、その仮説の元になったホップ香氣研究²¹⁻²⁴⁾とホップの起源・遺伝的分岐に関する研究(キリンビール社による)²⁶⁾はいずれも日本人研究者の業績である点も付記しておきたい。

3.5 酒類をまたいだモノテルペンアルコール研究

モノテルペンアルコールはビールではホップに由来するが、ワインではマスカット等の品種を特徴づける香氣成分であり、サツマイモにも含まれることから、芋焼酎においても研究がおこなわれている。

芋焼酎においては、病虫害を受けたサツマイモから作られた芋焼酎で感じられる「芋イタミ臭」にモノテルペンアルコールが関与しているとされているが^{17,18)}、一方で、これらの濃度の高い芋焼酎の官能評価では柑橘的、マスカット香、ライチ香などのコメントもみられ、発酵、蒸留の過程でのモノテルペンアルコールの変換経路も提唱されている¹⁷⁾。

その変換経路には第5図と共通点があり、ゲラニオールは酵母により β -シトロネロールに変換されるが、芋焼酎の製造工程においては、その β -シトロネロールがさらに発酵、蒸留の過程でローズオキサイドに変換されることが鹿児島大学のグループにより報告されている²⁷⁾。このような生成メカニズムの解明は芋焼酎の品質管理や香味特徴の多様化に貢献している。

ワインの分野でも酵母によるモノテルペンアルコール変換に関する研究は行なわれており、ゲラニオールの高い品種の香味形成にはこの経路が寄与していると考えられている²⁸⁾。また、ローズオキサイドに関し

ても興味深い報告がある。ブドウ品種ゲヴェルトトラミネールの白ワインはバラ様、ライチ様の独特の香氣を呈する。ライチの果汁からはローズオキサイド、 β -ダマセノン、リナロール、ゲラニオール、 β -シトロネロールの他、いくつかのエステルが検出されるが、ゲヴェルトトラミネールワインの分析でもローズオキサイド、リナロール、ゲラニオール、 β -シトロネロールなど、ライチと共通する成分が検出されたとのことである²⁹⁾。

話をビールに戻して、アメリカの「フレーバーホップ」を代表する品種にCitra[®]があるが、このホップはライム様、ライチ様、グースベリー様、グレープフルーツ様など、様々なフルーツの香りをビールに付与するとされる。このうちライム様の香氣は3.3で解説したモノテルペンアルコールに由来すると推察している²³⁾。ここで「ライチ様」の香氣にさらにローズオキサイドが寄与していると面白いところだが、筆者の分析では残念ながら、Citra[®]で醸造したビールからローズオキサイドを見出すことはできなかった。とはいえ、Citra[®]のビールはリナロール、ゲラニオール、 β -シトロネロールを含んでいるため、これらがほのかなライチ香を感じさせているのかもしれない。

4. 酒類の香りがヒトに与える影響

ヒトはビール、ワイン、ウイスキー等を飲んだ際に「おいしさ」を感じたり、その香りを楽しんだり、ひいては楽しい気分や穏やかな気持ちになったりする。もちろんアルコールそのものによる効果もあるが、酒類に含まれる「香り」はそういったヒトの反応に対しても影響していると思われる。そのような香りの効果についても感性科学的なアプローチを含め、様々な研究が行なわれている³⁰⁻⁴³⁾。

「おいしさ」の観点からは、記述式官能検査による官能特性と香氣成分を含むビール成分分析の結果に対して多変量解析を行ない、香味特性と分析データを総合的に解析する試みや、ヒトが飲用時に感じている香りを再現すべく、ビールを飲んだ際に喉から鼻に抜けていく口中香をシミュレートした装置で解析する試みなどがアサヒビール社により行なわれている³⁴⁾。

また、キリンビール社ではホップ品種 Hersbrucker に多く含まれる β -ユーデスマールという香氣成分が温度感受性 TRP チャンネルを活性化する機能を持ち、

感覚的に「冷涼感」をもたらすことを報告している⁴³⁾。

酒類のリラックス効果についてはその評価方法にいくつかのアプローチがあり、脳波そのもの状態を解析する手法、神経伝達で抑制性に関与するγ-アミノ酪酸 (GABA) の受容体を用いてその応答を用いて評価する方法などがある。

山口大学とサントリー社の研究グループによると、ビールのエステル (酢酸エチルなど) やホップに由来するミルセノール、リナロール、ゲラニオールなどに GABA 受容体応答の亢進作用が認められ、これらの香気がストレス緩和作用に関与している可能性が示された^{33, 35)}。この系を用いてウイスキーの作用も検討されており、ウイスキーの GABA 受容体応答亢進作用は熟成に従い増加する傾向にあることがわかっている^{35, 38, 40, 41)}。

一方、ヒトの脳波を用いるアプローチとしては右脳基礎律動波 (右脳α波) のゆらぎリズム度の計測などの手法が活用されている。サッポロビール社では右脳α波ゆらぎリズム度の解析から、ビールの香り成分の中でも、ホップ由来香り成分ではリナロール、ゲラニオール^{30, 36, 42)}、発酵に由来するエステルでは酢酸エチル、酢酸イソアミル^{32, 36, 42)}にリラックス効果があることを見出した。さらに、市販のビールでもホップ香やエステル香の強度に応じてリラックス効果が向上することも確認されている^{32, 36, 39, 42)}。

ワインにも同じ手法を活用し、マスカット・オブ・アレキサンドリアから醸造したワインが際立ったリラックス効果を示す (第6図) こともわかり^{36, 37)}、果実の熟成期や醸造工程中にマスカットの特有香成分であるリナロール含量を追跡することで、薫り高く、かつリラックス効果も高いワインを醸造できると考えられた³⁷⁾。

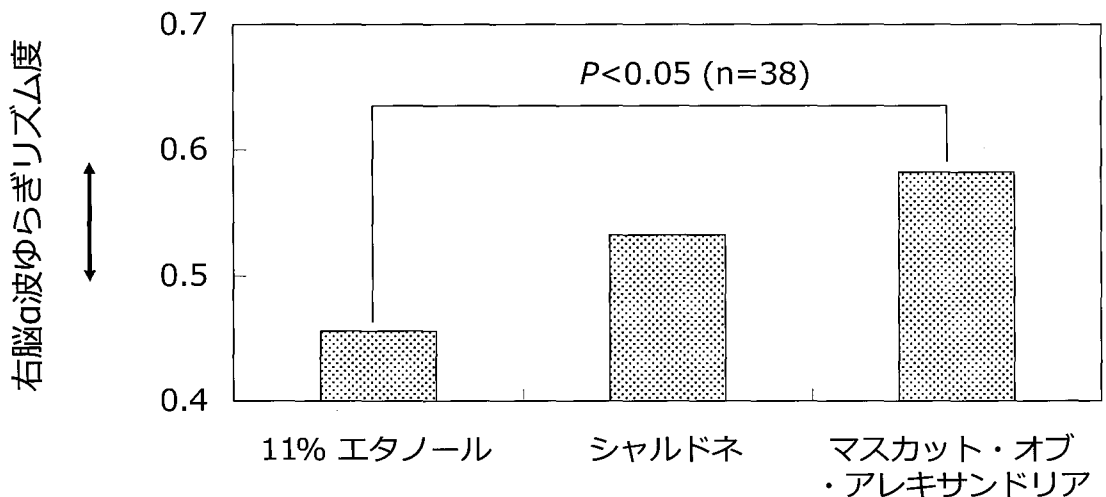
これらの結果から、ビールやワインに含まれるリナロールやゲラニオールは、3.3で紹介したように香味の特徴を左右するだけでなく、飲用時のヒトの心理にも作用する点で重要な成分であると思われる。

5. おわりに

酒類の歴史は長い、アルコール発酵の原理が解明されたのは19世紀であり、その後の微生物学や分析化学等の発達により、それぞれの酒類の特性に関する理解は飛躍的に進展してきた。一方で、まだまだ未知の部分も残されていることを醸造の現場では日々実感している。

本報はビール分野での取り組みを軸に構成したが、いくつか紹介したように酒類間で共通して取り組まれているテーマもあり、ある分野での研究成果が他の分野の研究をインスパイアするようなケースはこれからも増えていくと思われる。今後の酒類香り研究の発展が楽しみである。

〈サッポロビール (株) 商品・技術イノベーション部〉



第6図 ワインの香りを嗅いだ際の右脳α波ゆらぎリズム度^{36, 37)}

参考文献

- 1) 日本醸造協会編：醸造物の成分（1999）
- 2) ビール酒造組合同際技術委員会編：ビールの基本技術（三版改訂）（2010）
- 3) キリンビール（株）・サントリー（株）・サッポロビール（株）・アサヒビール（株）・オリオンビール（株）：醸協，**92**，108-110（1997）
- 4) 鰐川彰：醸協，**107**，559-570（2012）
- 5) 篠塚健，高塩仁愛，金田弘拳，山岸信久：日本農芸化学会誌，**74**，967-973（2000）
- 6) H. Kaneda, N. Kobayashi, Y. Tsuchiya, M. Munekata, S. Koshino: *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, **52**, 163-168（1994）
- 7) M. Uchida, S. Suga, M. Ono: *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, **54**, 205-211（1996）
- 8) M. Uchida, M. Ono: *J. Am. Soc. Brew. Chem.*, **58**, 8-13（2000）
- 9) 安井哲二：醸協，**96**，94-99（2001）
- 10) 黒田久夫：温古知新，**49**，83-90（2012）
- 11) 古田収，羽塚牧太：醸協，**92**，573-578（1997）
- 12) 廣田直彦：醸協，**100**，618-625（2005）
- 13) N. Hirota, H. Kuroda, K. Takoi, T. Kaneko, H. Kaneda, I. Yoshida, M. Takashio, K. Ito, K. Takeda: *MBAA Tech. Quart.*, **43**, 131-135（2006）
- 14) 木原誠：醸協，**106**，462-467（2011）
- 15) 磯谷彩子：日本生物工学会誌，**89**，720-723（2011）
- 16) 鰐川彰：醸協，**98**，241-250（2003）
- 17) 高峯和則，鮫島吉廣：醸協，**103**，601-606（2008）
- 18) 神渡巧，瀬戸口智子：日本生物工学会誌，**89**，724-727（2011）
- 19) 小林弘憲：日本生物工学会誌，**89**，728-731（2011）
- 20) 富永敬俊，デュニ・デュブルデュー：醸協，**98**，628-637（2003）
- 21) 蛸井潔：醸協，**107**，306-316（2012）
- 22) 岸本徹：醸協，**104**，157-189（2009）
- 23) 蛸井潔：醸協，**108**，88-97（2013）
- 24) 蛸井潔：醸協，**109**，874-881（2014）
- 25) S. Hieronymus: *All About Beer Magazine*, **34**, (2013) (<http://allaboutbeer.com/article/flavor-hops/>)
- 26) 村上敦司：醸協，**105**，783-789（2010）
- 27) 高峯和則，吉崎由美子，島田翔吾，高屋総一郎，玉置尚徳，伊藤清，鮫島吉廣：醸協，**106**，50-57（2011）
- 28) E. Vaudano, E. G. Moruno, R. D. Stefano: *J. Inst. Brew.*, **110**, 213-219（2004）
- 29) P. K. C. Ong, T. E. Acree: *J. Agric. Food Chem.*, **47**, 665-670（1999）
- 30) 金田弘拳，小島英敏，高塩仁愛，吉田倫幸：アロマリサーチ，**6**，164-170（2005）
- 31) 金田弘拳，小島英敏，渡淳二：アロマリサーチ，**6**，362-367（2005）
- 32) 金田弘拳，小島英敏，渡淳二：アロマリサーチ，**7**，342-347（2006）
- 33) 好田裕史：醸協，**101**，927-934（2006）
- 34) 尾崎一隆，鰐川彰：醸協，**103**，150-162（2008）
- 35) 青島均：醸協，**103**，208-222（2008）
- 36) 小島英敏：食品工業，**51**，45-51（2008）
- 37) 小島英敏，荒木茂樹，前田雄明，奈良泰信，伊藤一敏，工藤雅義，野田雅章，岸本宗和，藤岡裕晃：アロマリサーチ，**9**，350-353（2008）
- 38) 好田裕史：アロマリサーチ，**14**，273-275（2013）
- 39) 金田弘拳：醸協，**109**，417-425（2014）
- 40) 好田裕史：醸協，**110**，81-85（2015）
- 41) 好田裕史：アロマリサーチ，**16**，14-18（2015）
- 42) 小島英敏：アロマリサーチ，**16**，19-25（2015）
- 43) 小原一朗，村上敦司：アロマリサーチ，**16**，26-31（2015）