

連載第 29 回 酒類の熟成についての一考察 (1)

—ウイスキーの熟成機構を参考にして—

text : 古賀 邦正

●▲■ はじめに

発酵学の泰斗、坂口謹一郎博士は、その著書「愛酒楽酔」の中で、「いやしくも良酒といわれるものの備えている美德、それは香味の調和と円熟に帰する。— この美德は酒のエイジングによってのみ到達できるものである。— それにも拘らず、その理由となると今まで誰にも判然とわからない」と述べられています。「美德」とは、まさに酒の魅力の本質を言い当てているような気がします。

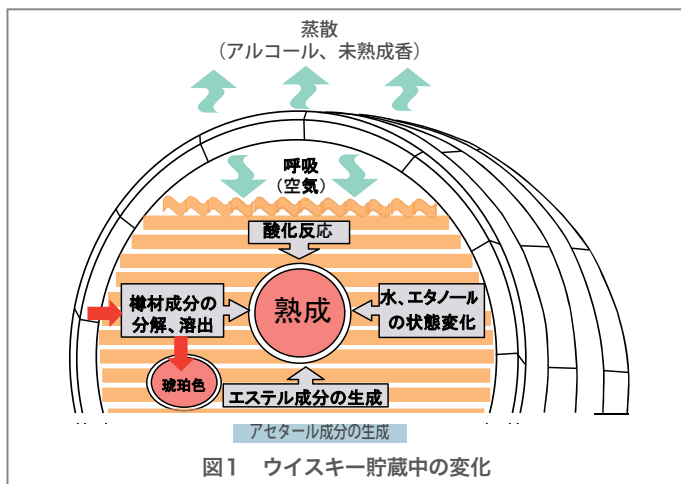
「美德」が酒に備わるために、清潔な環境のもと一定期間、酒を静かに置いておく貯蔵・貯酒（エイジング）の工程は多くの名酒づくりで見られます。しかし、なぜ「美德」が備わるのか、ということは未だに明確ではありません。

ウイスキーの場合も、蒸留したてのニューポットを樽に入れて長期間貯蔵すると、「まろやかさ」が出現して熟成します。この変化が際立っているため、何年もかけて貯蔵されます。10年もののウイスキーの全製造期間のうち99%以上が貯蔵に要する期間なのです。

貯蔵中のこの変化については昔から多くの研究がなされてきております。今のところ、ウイスキー熟成の要因は、図1に示したように、

1. 未熟成成分の蒸散
2. ニューポット由来成分の反応（酸化、アセタール化、エステル化反応など）
3. 樽材由来成分の分解・溶出とその反応
4. エタノールと水の状態変化 が考えられています。

以下に、その概要を紹介しながら、他の酒類の熟成についても考えてみたいと思います。酒類全般、飲むことは好きですが、その造りや品質については素人同然なので的を射てないことも多々あるでしょうが、酒飲みのたわ言と思って、気楽に読んでください。



●▲■ ウイスキー貯蔵中の成分変化：

未熟成成分の蒸散・消滅

ウイスキーの熟成要因について、1～3の成分変化を化学的熟成、4の物性的変化を物理的熟成と分けることもあります。この章では、化学的熟成について述べたいと思います。まず、未熟成成分の蒸散・消滅について紹介します。

ウイスキーの場合、スモーキーフレーバーを付与した大麦麦芽を原料として2種類の酵母と乳酸菌を用いて発酵した発酵モロミを蒸留します。蒸留器には銅製のアランピック型単式蒸留器（ポット・スチル、図2(A))を用います。蒸留中に原料や菌体の含硫アミノ酸に由来するチオールなどの硫黄化合物が生成します。これらは官能的に困った

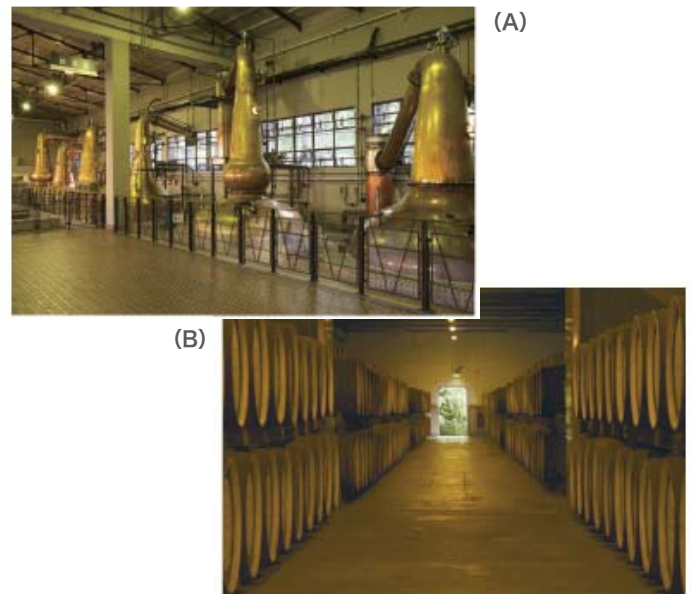
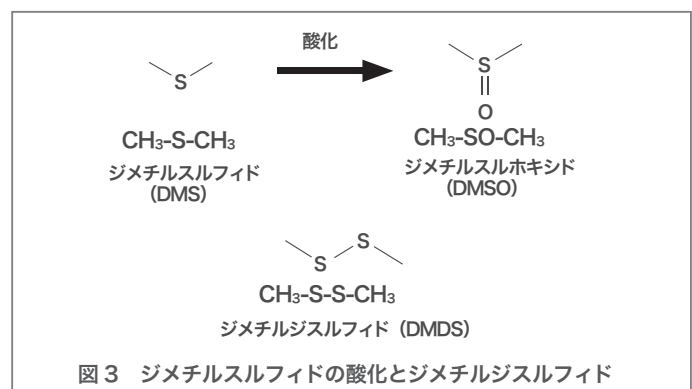


図2 蒸留所のポット・スチル (A) と貯蔵庫でウイスキー原酒の入った樽 (B) (サントリー酒類(株)提供、山崎蒸留所)

存在で、未熟成成分と呼ばれています。銅は硫化水素やチオール化合物と反応して捕捉してくれます。

蒸留液（ニューポット）をオーク材の樽に入れ、長期間、貯蔵します。短くても4～6年、通常、7～10年、長い場合には20年近く貯蔵します（図2(B)）。貯蔵には、あまり気温が高くなく、湿度の高い、清澄な環境が適しています。また、めりはりの利いた四季の変化、適度な温度変化や湿度変化のあることが望ましいとされています。温度の上下に伴ってウイスキー原酒が空気を吸ったりエタノールや揮発成分を吐き出したりする様を、「ウイスキーは呼吸している」と言います。呼吸に伴って、エタノールを中心とする揮発成分が少しずつ蒸散して原酒の容量が目減りしますが、これは熟成の進行に欠かせない現象で、「天使の分け前」と呼んでいます。「天使の分け前」は最初の年で2-4%、それ以降は1-3%と、相当大きな量であることに驚かされます。

樽から蒸散する主要成分はエタノールですが、それ以外の揮発成分も多くあります。とくに、熟成に好ましくない未熟成香の蒸散は重要です。ポット・スチルによる捕捉にも拘らず、ニューポットには多くの硫黄化合物が含まれていますが、殆どの成分が酸化されて匂いが弱まり、さらに蒸散して消失します。しかし、消失の速度は化合物によって異なります。例えば、硫黄化合物の主要成分であるジメチルスルフィド (DMS) は微量でも生臭い野菜のような臭いがしますがジメチルス



ルホキシドになって匂いが弱まり、1年で消失してしまいます。ウイスキーにはジメチルジスルフィド (DMDS) も相当量含まれていますが、この化合物は発酵液中には存在せず、蒸留によって生成されているようです。硫黄化合物を捕捉するはずの銅製ポット・スチルの意外な一面であり、不思議さを感じますが、DMDSも数年かけて徐々に消失してゆきます (図3)。

●▲■ ウイスキー貯蔵中の成分変化：
ニューポット由来成分とその変化

ウイスキーの発酵モロミには、原料の大麦麦芽やピート由来の成分、発酵由来の成分など、非常に多くの成分が含まれています。このような多様な成分を含む発酵モロミを蒸留することで、多様な揮発成分が取り出され、これらがニューポットの特徴を決定しています。とくに、香りに関与するエステル類、フーゼラルアルコール類、有機酸類、フェノール類の数が多く、これまで報告された揮発成分の数は230種余になります。

図4にニューポット中に多く含まれるエステル類、アルコール類、有機酸類を示しました。総エステル量の80%以上は酢酸エチルであり、フーゼラルアルコールの大半はイソアミルアルコールとイソブチルアルコールです。また、酢酸以外の有機酸では、カプリル酸、カプリン酸、ラウリン酸などの中鎖の脂肪酸が多いです。

また、蒸留することによって、バラの香りと言われるβ-ダマセノンやフルフラールなどの特徴香が作られます (図4)。熱効率がよく、触媒効果を持つ銅製のポット・スチルは、糖とアミノ酸のメイラード反応や有機酸とアルコールのエステル化反応を促進します。

ニューポット成分の多くは貯蔵中に変化して香味形成に寄与しま

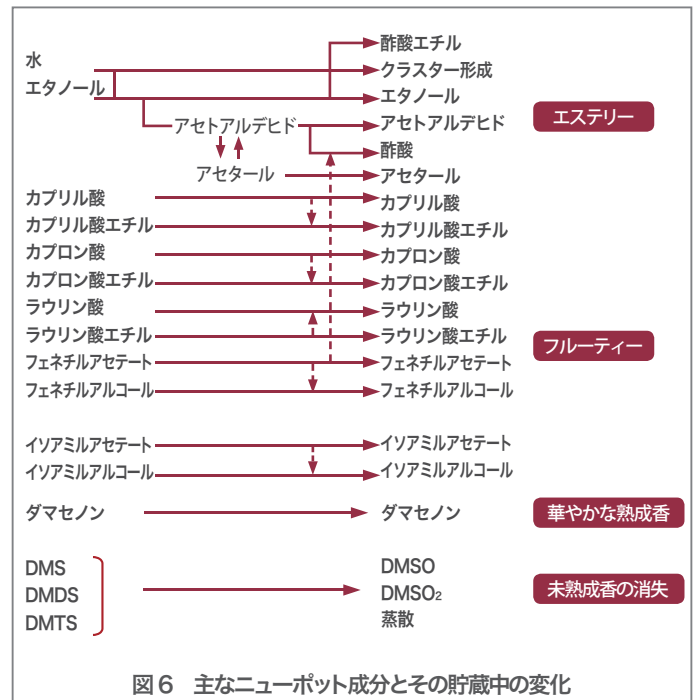


図6 主なニューポット成分とその貯蔵中の変化

す。貯蔵中の「呼吸」によってアルコール類、アルデヒド類などが酸化されます。また、多くのアルコール類、アルデヒド類、カルボン酸類がありますので、アルデヒド類とアルコール類間のアセタール化反応、アルコール類とカルボン酸類間のエステル化反応が進行します (図5)。酢酸エチルはじめエステル含量は増加しますが、イソアミルアセテート、フェネチルアセテート、ラウリン酸エチルなど個々に減少するものもあり、エステル生成と組換えがおきているようです。これらの成分は、「エステリー」と呼ばれて、すっきりした香りや果実のような華やかな熟成香をウイスキーに付与します。ニューポット由来の成分が貯蔵中にどう変化するかを図6にまとめました。

●▲■ ウイスキー貯蔵中の成分変化：樽由来成分とその変化

ニューポット由来の成分は揮発成分が中心となりますが、樽由来成分には揮発性成分と不揮発性成分の両方があります。蒸留したてのニューポットは無色透明です。それが最初の1~2年で急激に色づき、その後も徐々に、色度を増してゆきます。これは樽由来成分が溶け込んでいるからに他なりません。また、色調も時間経過とともに、淡黄色から黄褐色に、さらに明るく輝くような琥珀色になり、最後には赤みを帯びてきます。この色調の変化には、樽を通して入ってくる酸素の存在が不可欠です。貯蔵中に酸素の浸透が充分でないと、ウイスキー原酒はどす黒くなり、あの明るくて深い色調の琥珀色にはなりません。樽由来成分の概要を図7に示しましたが、ウイスキーに溶け込むには2通りのパターンがあります。一つのパターンは、オーク材中の成分がほぼそのままの形で溶けだしてくるもので、これらの成分は抽出成分と呼ばれています。抽出成分の主なものは、コハク酸、酢酸 (オーク材中の多糖類と結合している)、β-シトステロールなどです。酢酸はエタノールの酸化によるものと材からの抽出によるものの2通りで貯蔵中に増加しますが、抽出によるものの方が多いようです。

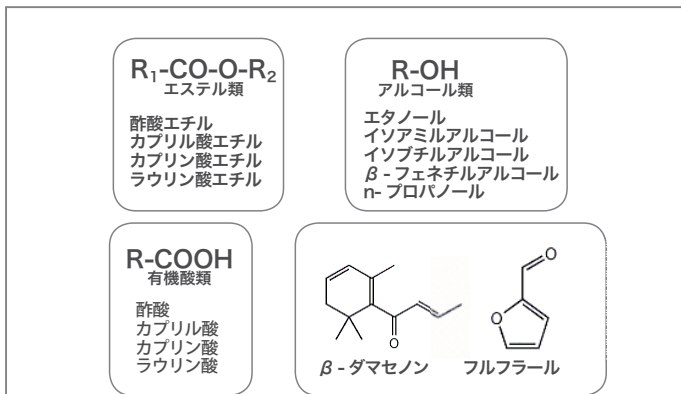


図4 ニューポット中に多く含まれるエステル類、アルコール類、有機酸類および蒸留で生成する特徴成分 (ダマセノン、フルフラール)

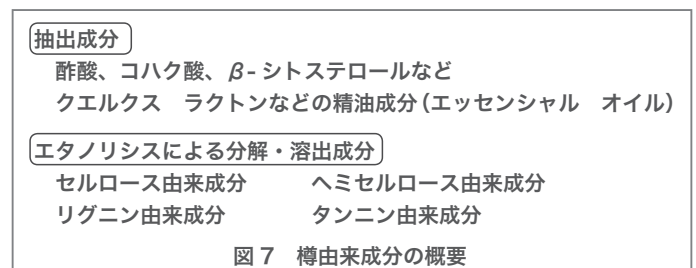
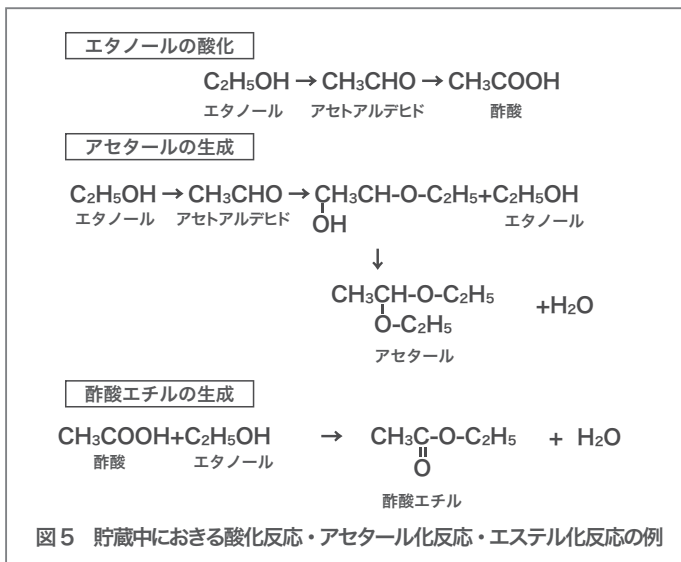
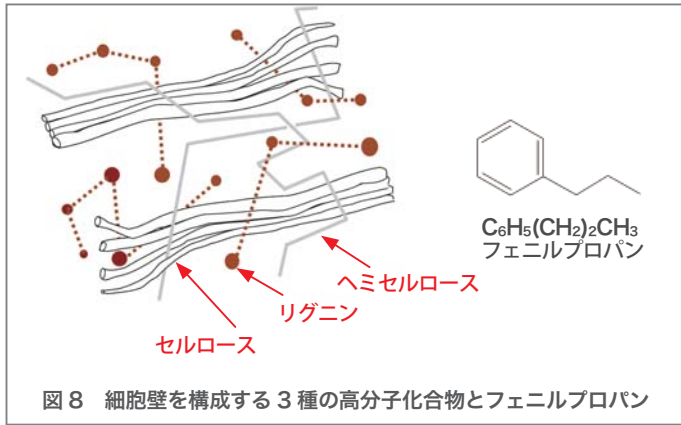


図7 樽由来成分の概要



精油成分（エッセンシャルオイル）も徐々に樽材から抽出されます。現在までに100種類以上が同定されていますが、とくに、クエルクス・ラク톤はオーク材特有のラクトン類でココナツ様の香りを持つ化合物であり、ウイスキーラクトンとも呼ばれています。

もう一つのパターンは、オーク材中の分解されにくい高分子成分がエタノールによって長い時間をかけて徐々に分解され溶けだしてくるもので、エタノリシスと呼ばれています。オーク材中の分解しにくい高分子成分は、細胞壁を構成しているセルロース、ヘミセルロース、リグニン（図8）です。これらがエタノリシスによって、長い時間をかけて徐々に溶け出してくるのです。

セルロースの主要構成成分は6炭糖のグルコースであり、ヘミセルロースの場合は5炭糖のキシロースやアラビノースです。これらの糖が加水分解によって溶出てきますが、甘さを感じさせるほどの量ではありません。樽を作る際に、樽の内側を焼く、チャーと呼ばれる操作があります（図9）。チャーによってアラビノースやキシロースが分解し、フルフラールとなり、それがさらに酸化されて有機酸、さらにはエステル生成へと進むことが知られています。チャーという操作は木香臭が原酒に付きすぎないように始めたのでしようが、チャーによって高分子成分を加熱分解して、香味の形成を促すという重要な役目を果たしていることが明らかになってきました。図10にセルロース、ヘミセルロース由来成分の貯蔵中の変化の概要をまとめました。多様な成分の生成がお分かり戴けると思います。

リグニンはフェニルプロパン骨格で構成されており（図8）、セルロースやヘミセルロース以上に分解しにくいですが、それでもエタノリシスによってゆっくりと分解・溶出されます。リグニン由来の成分は、バニラのような甘い香りを持つバニリン、コニフェリル、シリング、シナップなどの類縁体で、いずれも、基本構造のフェニルプロパンとよく似ています（図11）。

このほかリグニン由来の化合物としては、香辛料のクローブに含まれているオイゲノール、ウイスキー中の主要抗酸化成分として注目されているリオニレシノール、熟成の指標物質であるスコポレチンなどがよく知られています（図12）。



図9 樽の内側をチャーしている様子（サントリー酒類（株）提供）

オーク材中のもう一つの高分子化合物が生体防御の役割を担っているタンニンです。タンニンはリグニンに比べれば分解されやすく、分解生成物はエラグ酸、タンニン酸、没食子酸な

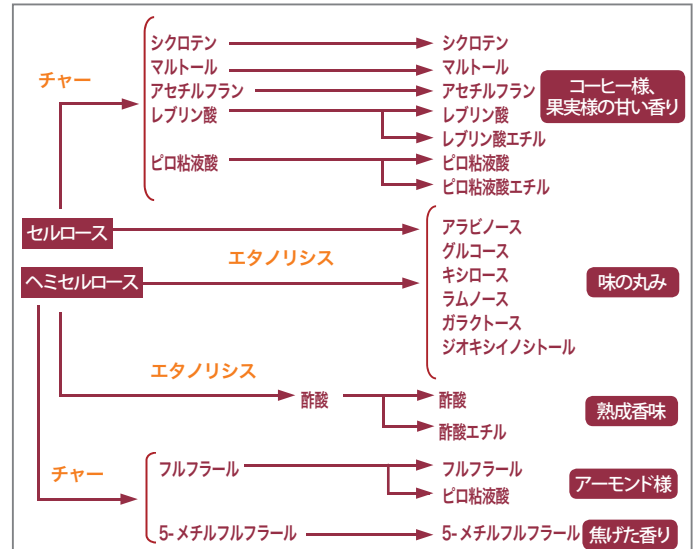


図10 セルロース・ヘミセルロース由来成分と貯蔵中の変化

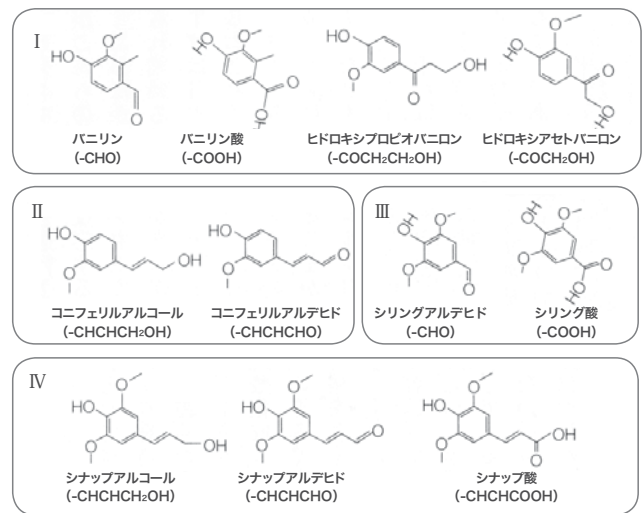


図11 リグニン由来のバニリン関連化合物

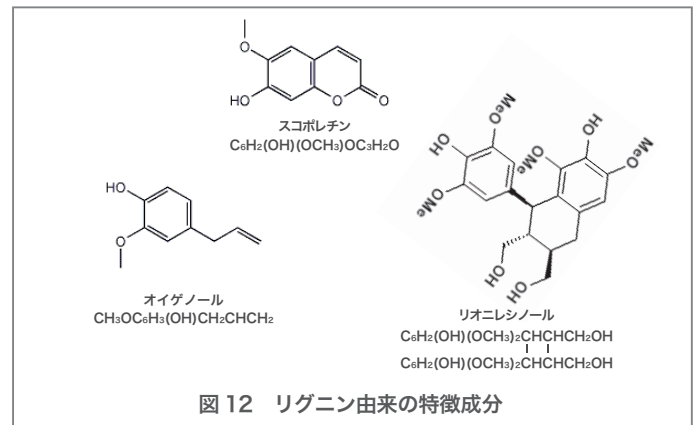
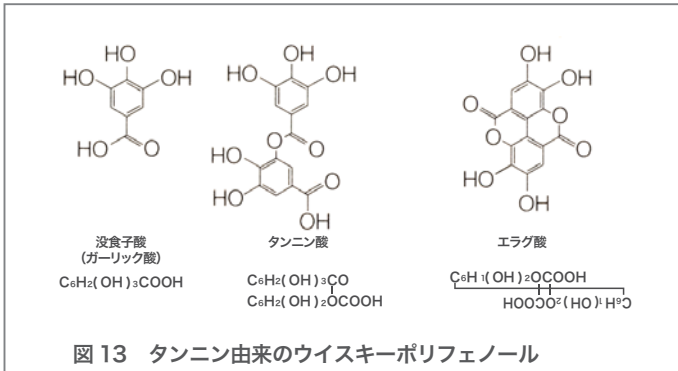


図12 リグニン由来の特徴成分

どを主要成分とするポリフェノールです（図13）。これらはウイスキーポリフェノールと呼ばれ、味に深みや深みを与えます。

リグニンやタンニン由来の化合物はウイスキーに溶け出し後、そのままじっとしている訳ではありません。リグニン由来の化合物は、その共通構造を基本にして、アルコール型、アルデヒド型、カルボン酸型があり（図11）、貯蔵している間に、アルコール型からアルデヒド型、カルボン酸型と酸化が進みます。さらに、これらのアルコール型、アルデヒド型、カルボン酸型の成分の間、および主要成分であるエタノール



高峰が改良特許を出せたということは、竹鶴の渡英より随分前、すでに、ウイスキー造りのプロセスが日本で知られていたこととなります。日本におけるウイスキーの歴史は、少なくとも 19、20、21 世紀の 3 世紀にまたがると言えます。

(注) 竹鶴政孝：寿屋（現サントリー）山崎蒸溜所初代工場長、ニッカウキスキー創業者。「日本のウイスキーの父」。
高峰讓吉：アドレナリンの結晶化に成功した科学者。
タカジアスターゼ（消化薬）の発見者で、三共の初代社長。
余談ながら、お二人とも国際結婚。奥さんは西欧女性。

土屋さんの「スコッチ三昧」（新潮）によればいずれも確証のない説としながら、次の 3 つの記載があります。

- 日本最初のウイスキーは遣欧米使節団（団長は岩倉具視）が明治初期に持ち帰った「オールドパー」だった!?
- ベリーが最初の寄港地の琉球でスコッチを振る舞った。故に、ウイスキーを初めて飲んだのは琉球政府の役人!?
- いや、日本で最初にウイスキーを飲んだのは徳川家康で、三浦按針が持ち帰ったものだった!?

さらに、「坂口謹一郎酒学集成」（岩波）の中に、「日本でもウイスキーがあった」という話があります。終戦後、天草出身の銀座の料亭の女中さんに聞いた話として：

お祖母さんが麦芽で糖化する酒を造っていたそう。順法のため僅かの麴も使うがほとんどウイスキーの造り方である。大黒柱の穴に MARIA 像があったことからして、江戸時代のバテレンの遺法でもあろう。

この話は当時注目され、ラジオ放送、その再放送まであったそうです。日本とウイスキーの縁は、江戸時代にさかのぼるのかもしれませんが。

■ 「生物多様性」、「酒類多様性（サケ・ダイバーシティ）」 ■

「ジャパニーズ・ウイスキー」と言うジャンルは、英国、フランス、ロシア、台湾、中国など世界市場で認められつつあります。一方国内では、2010 年の日本のウイスキーの移出数量約 8 万 KI は（ハイボールブームで対前年約 20% 増でしたが）ロングレンジで見るとピーク時の 1980 年代の 35 万 KI に比べて激減状態。（ただし、RTD のハイボール缶は、リキュール区分なのでウイスキーの出荷統計に入らないものが多いので注意を要する。）

清酒業者の皆さんはよく「ピーク時の 1/3」に減った、と嘆かれますが、ウイスキーは「ピーク時の 1/4 以下」。この間、ジャパニーズ・ウイスキーを維持し、さらには品質向上に努められてこられた各社には一日本人として感謝するものです。

日本に、サントリー、ニッカ・アサヒ、メルシャン・キリン、タカラなど、複数のウイスキーブランド（ウイスキーに情熱を持つ複数の企業）があった良かったなあ、と思います。

グローバル化の波で、酒類企業は統合され、実質的な銘柄も減る傾向があるけれど、これ以上は減らないでほしい。いくら素晴らしい製品でも 1 社だけでは、愛好家を引き付けるジャンルになりえない、世界市場で「ジャパニーズ・ウイスキー」というジャンルが存在するためには、複数のブランドが必要だと思えます。

大手ばかりでなく、ウイスキー蒸留を再開される本坊酒造さんや、21 世紀のブランド、イチローズモルト（ベンチャーウイスキー）などに、今後、大いに期待するものです。

最近、「生物多様性」という言葉が良く取り上げられます。「生物多様性 (biological diversity)」と同じような意味合いで「酒類多様性 (仮にサケ・ダイバーシティと名付けましょう)」も維持されねばなりません。

ウイスキーも、そして、清酒、焼酎、泡盛も、「たくさんの銘柄＝ダイバーシティ」があつてこそ、「楽しみ」や「文化」が生まれ、生物と同じく「進化」するものだと思います。

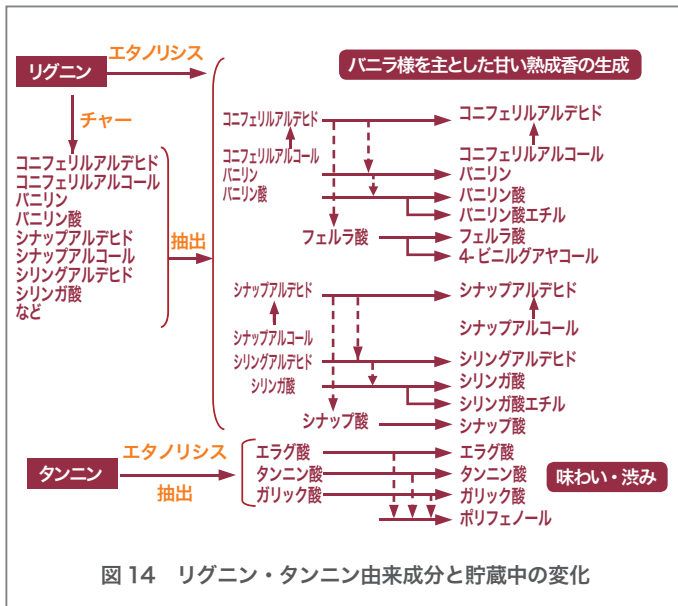
世界各国が締結している「生物多様性条約」の前文を抜粋すると：

生物の多様性が有する生態学的、遺伝的、社会的、経済的、科学的、(以下たくさん続く) 価値を意識し、(大幅中略) 将来の世代のため生物多様性を保全し 持続可能であるように利用することを決意して

とあります。条文の中の「生物の多様性」という文言を、「酒類の多様性」に置き換えても、十分意味が通じると思えます。

(text = 喜多常夫)

(きた産業メルマガ・ニュース vol.153 - 2011 年 4 月 14 日配信 - から転載、加筆)



ルや酢酸の間でエステル化反応、アセタール化反応が進行していると考えられます。タンニン由来のポリフェノールも、貯蔵中に酸化重合していることが考えられます。実際に、ウイスキーには分子量 10 万以上のポリフェノールが溶け込んでいます。図 14 にリグニン由来とタンニン由来の成分の貯蔵中の変化の概要を示していますが、これらの変化を通じて熟成が進行していきます。

次回では、沖縄の伝統的な蒸留酒である泡盛や代表的な醸造酒であるビール、ワイン、清酒のエージングについてウイスキーの場合と比較して考えてみたいと思います。(以下次号) (Text. K.Koga)

参考文献

1. 坂口謹一郎：愛酒楽酔、講談社文芸文庫 (1992)
2. Piggott, J. R., Sharp, R., Duncan, R. E. B. (Edit). The Science and Technology of Whiskies. Longman Science & Technical (1989)
3. Nishimura, K., Masuda, M.: J. Food Science, 36, 819 (1971)
4. Reazin, G. H.: Am. J. Enol. Vitic., 32(4), 283 (1981)
5. Masuda, M., Nishimura, K.: J. Food Science, 47, 101 (1981)
6. 増田正裕、小村啓：醸協、88(1), 29 (1993) など

古賀邦正 (こがくにまさ)
東海大学 開発工学部 生物工学科 教授
(プロフィール)

1944 年生まれ
1969 年、東京大学理学部卒業。
同年サントリー (株) 入社。中央研究所でウイスキーの貯蔵・熟成などの研究。その後、研究企画部長、ヘルスケア事業開発部長、特許情報部長。
1999 年から東海大学開発工学部教授。農学博士。

QA? 本稿に関するご質問・ご意見等は、きた産業 (info@kitasangyo.com) にご連絡ください。筆者に転送いたします。