

『ビールの濁りと清澄化』

text : 渡邊 拓也

■連載開始にあたって■

以前に「Gerry's Column ニッポン地ビールびん詰め講座」を連載していたときから「醸造技術版の実践講座はないの?」という声を聞いていました。そこで、今回から「Brewer's Tips... 実践ビール醸造基礎講座」と題したコラムを掲載します。できるだけ実践的で、かつブルワリーの醸造技術者に役立つテーマにしぼって、ビール醸造技術コンサルタントの渡邊さんに執筆をお願いします。渡邊さんは内外のクラフトブルワリーで多くの実務的な経験があるので、その経験に基づいたアドバイスやアイデアの紹介もあるでしょう。

第1回のテーマは「ビールの濁りと清澄化」です。このニューズレターのタイトルは「パッケージニュース」ですが、地ビールに関する情報はパッケージだけではなく醸造技術を含め総合的に提供していきたいと思えます。本稿に対する意見や感想、また今後この講座で取り上たら良いと思われるテーマがあれば遠慮なく喜多産業の企画開発グループ気付けで郵便、FAXまたはemailでお寄せください。

(喜多常夫)



1. ビールの濁りの正体

微生物混濁	非生物混濁
<ul style="list-style-type: none"> 使用酵母の浮遊による混濁 野生酵母の浮遊および生成物による混濁 他の微生物の浮遊および生成物による混濁 	<ul style="list-style-type: none"> 寒冷混濁 (チルヘイズ) 炭水化物混濁 酸化混濁 金属混濁

一口にビールの濁りといっても、その状態や原因には多くの可能性があります。まずはおおまかに、その原因を基準に、濁り自体を分類してみましょう。

上図のように、一般的には微生物によるものとそうでないものに分類されています。微生物混濁には上記のほかに、使用酵母(培養酵母)の変性(mutation)による混濁も挙げられます。いずれにせよ、これらの微生物混濁は使用酵母の選択や微生物管理に深く関係しており、使用酵母の浮遊によるもの以外は極めて深刻な濁りだと言えます。また、一種の腐敗であることが多く、商品イメージに致命的な打撃を与えることもあります。

一方、非生物的混濁とは、微生物を原因とせずに何らかのものが析出して濁るものです。最も一般的な混濁であるチルヘイズは後述するとして、簡単に他の混濁について見ておきましょう。炭水化物混濁とは、高分子の炭水化物やガム質(でんぷんやペータグルカン等)が十分分解されないまま麦汁やビールに移行した場合に、それらが溶解せずに析出して生じる濁りです。温度によっても影響を受けない点でチルヘイズとは区別できます。酸化混濁とは主としてビールの劣化とともに生じる現象で、ビール中のフェノール類(モルトやホップに由来します)が酸化することによって、収斂味と並行して起こる濁りです。酸化とはいえ必ずしも酸素を必要とする訳ではないのですが、いずれにせよ時間とともに進行する現象です。古いビン詰めビールでよく見られます。金属混濁は、ある種の金属類が触媒となって濁りを引き起こすもので銅や鉄が代表的なものです。これら

は醸造設備等にも使用されていますが、直接濁りの原因となるのは、醸造用水がもともとそれらの金属を多量に含んでいる場合だと言われています。

これらの濁りは単独で生じるだけでなく、ときには複合的に起こることもあります。ですので、混濁の原因を特定するのは醸造現場ではなかなか難しい問題ではあるのですが、逆に誰もが必ず直面することがある濁りが2つあります。それが、酵母の浮遊による混濁とチルヘイズです。次項以降ではこの2つに的を絞って話を進めたいと思います。なお、濁りの度合い(濁度)については特に触れませんが、最後に参考文献を挙げますので興味のある方はそちらをあたって下さい。

2. 酵母による混濁

発酵中のビールにおいては、大量の酵母が液中に拡散して代謝を行っています。通常は発酵終期になると次第に酵母同士で塊を造り、底に沈降していきます。これは上面発酵酵母であっても同様で、最も広く使用されているシリンドロコニカルタンクは、そうして沈降した酵母を回収するのに適した構造をしています。この「塊を造る」性質、つまり凝集性(flocculation)は酵母によって異なり、凝集性の高いものはより早く沈降し、低いものはゆっくりと沈降します。なかにはほとんど沈降しないものもあります。多くの酵母はこの時点で「沈殿物」となって取り去られますが、それでもなお、かなりの数の酵母はビール中に浮遊し続けます。これが酵母による混濁です。

我が国のクラフトブルワリーにおいては、この濁りがある種のセールスポイントとして全面に出すケースがよく見受けられます。ここでその是非を議論するつもりはありませんが、一部にあまりに極端な商品が存在するのも事実です。そこで、少しビール中の酵母とビールの関係を見てみましょう。

メリットとしてあげられるのは、酵母が強力な還元作用を持ちビールの酸化を防ぐ点です。温度等の外的要因にもよりますが、完全に酵母を取り去ったビールと比べると、酵母入りのビールの方が酸化しにくいと言えます。また、ダイアセチルの再分解も期待できます。もう一つ、ビール酵母の各種成分が人体に非常に良い効果(整腸作用や制癌作用等)を与える点もよく言われています。ただし、ビール中の酵母が直接どのように人体に作用するのかについての具体的な検証資料が手元にありませんので、何とも言えないのですが。個人的には、酵母の多く入ったビールを飲むと必ずおなかが緩くなります。

一方デメリットですが、まずは見た目が挙げられます。後述するチルヘイズと異なり、酵母の数が多き場合には不透明で乳白色の濁りが生じますので、少なくとも「爽やかさ」からは遠く離れた外観になります。そして、ビールの色のコントラストが出にくくなります。味に関しても、酵母の細胞壁に付着した雑味成分が直接舌に触れることになるので、雑然とした味になりがちです。特にホップ由来の苦味成分が過剰に感じられて、味のバランスが崩れるケースがよく見られます。また、時間とともに酵母の自己消化による酵母臭がビールに移行し、香りや風味が損なわれやすいと言えます。

これらのことから考えて、少なくとも過剰な酵母のビール中の残留、つまり過剰な酵母による濁りは、避けるべきだと思われる。大切なのは、酵母があるのかないのか、ではなく、あるのならどれくらいあるのか、を十分認識することでしょう。

3. チルヘイズ

チルヘイズ(chill-haze)とは、ビールが0℃に冷却されると形成されて、20℃に昇温すると消える濁りです。つまり、温度によ

て影響を受けて発生と消滅を繰り返す可逆的混濁であり、他の永久混濁と区別されます。また、実際は0°Cで初めて出現するわけではなく、通常の飲用温度ではまず間違いなく出ていと言えます。可逆的とは言っても、他の要因の影響や頻繁な温度の変動によって、永久混濁化することもあります。形態としては、ビールに白いもやがかかったような濁りが生じますが、よほどひどい場合以外は不透明になることはありません。また、一般的には味や風味に特段の影響は与えないと言われています。

その原因となるのは、たんぱく質 (protein) とポリフェノール (polyphenol) です。たんぱく質は麦芽、ポリフェノールは麦芽 (特にハスク) とホップに由来する物質で、ビール醸造においては必要不可欠なものです。混濁の発生のメカニズムを非常に簡素化すれば、ビール中の比較的高分子のたんぱく質とポリフェノールが結合して複合体 (protein-polyphenol complex) になり、それが低温時にはビールに溶解せずに析出してくる、と言うことができます。つまり、通常のビール醸造の現場においては、程度の差こそあれ必ず直面するものなのです。特に、我が国の一般的なクラフトブルワリー (清澄剤不使用、未ろ過) においては、ほとんど共通といってもよい濁りでしょう。

前述の通り、軽度の濁り自体はビールの品質自体には特に大きな影響を与えないので、そう深刻になるべきものではないとも言えます。例えば、あるバッチのビールに白っぽい濁りが生じた様なときに、温度を上げてみてその濁りがきれいに消えるようならほぼ間違いなくチルヘイズですので、あまり心配する必要はない、と判断できます。しかし、そもそもその濁りを生じた背景には、その原因物質であるたんぱく質やポリフェノールがいわば不適切な状態で過剰に存在していた事実がある訳ですし、またこれらの物質はビールの劣化の要因にもなりますので、チルヘイズの予防や改善には十分な取り組みが望まれます。

4. 清澄化とは？

清澄化 (clarification) とは、単純に言えばビールの濁りを取り除き、よりクリアにすることです。しかし、その手法にはいくつかあり、それらを単独あるいは複合的に施して、望ましい清澄化レベルを得る必要があります。各手法を要約すると以下ようになります。

自然沈降 Gravity sedimentation	ビールを加圧下で低温で貯蔵することで、固形物を自然に沈殿させる。
ファイニング Fining	清澄剤 (Fining agent) を使用して、浮遊物を凝固させ、沈殿させる。
遠心分離 Centrifugation	遠心分離器によって、固形物を強制的に分離し取り除く。
ろ過 Filtration	ビールをろ過器に通して、ろ材に浮遊物を取り除かせる。

さて、上図の手法は、いわば現実存在する濁りを物理的に取り除く手法ですが、今回のターゲットのひとつであるチルヘイズに関しては、その予防という観点からの手法も重要になります。それらはチルブルーフィング (chill-proofing) やコロイドの安定化などと呼ばれ、様々な手法が実施されています。具体的には次のようなものが挙げられます。

原材料の選択	原材料、特にモルトの選択に際して、たんぱく質の溶けが進んだものを選択する、ハスクの多い六条大麦は避ける、等の点を意識する。
醸造工程の工夫	麦芽の粉碎、マッシング、ろ過・スパージ、煮沸等の各醸造工程で、高分子のたんぱく質やポリフェノールの麦汁への移行をできるだけ避ける。
ファイニング	清澄剤を使用して、高分子のたんぱく質やポリフェノールを分解、吸着、沈殿させて除去する。

実務上は、これらのチルブルーフィングでチルヘイズの予防を行い、それでも生じるチルヘイズとその他の濁りを軽減するために清澄化が施されます。

多少話が複雑になってきましたし、各手法を個別に説明するにはかなりのスペースが必要になりますので、ここでは酵母による濁りとチルヘイズに的を絞ったうえで、今後クラフトブルワリーでも注目を集めるであろうファイニングについて触れることにしましょう。

5. ファイニングのあれこれ

ファイニングに使用される清澄剤には、その目的や材質などによって多くの種類があります。ここではそのうちでクラフトブルワリーでも今後使用されるであろう清澄剤を中心に、主要なものを個別に見ていきましょう。

アイリッシュモス (Irish Moss)

アイリッシュモスは、海藻を原料とする伝統的な清澄剤で、麦汁煮沸時に添加されます。そういう意味では他の清澄剤とは大きく異なります。形状はフレーク状からパウダー状まで数段階あります。目的はチルヘイズの原因となる高分子のたんぱく質を吸着して凝固・沈殿させて麦汁から取り除くことです。

その原理は、他の多くの清澄剤と同様、高分子のたんぱく質が持つ電荷(この場合はプラス)とアイリッシュモスの持つ電荷(マイナス)が引きつけあって結びつく、というものです。アイリッシュモスは優れたチルブルー用の清澄剤として広く使用されていますが、その利点は主に次の3点を挙げるすることができます。--- 1) ビールに移行することがない 2) 煮沸時に使用するので衛生的 3) 適量であれば高分子のたんぱく質のみを選択的に除去できる ---。3) をもう少し詳しく言うと、ビールの泡もちやボディに重要な役割を果たす中・低分子のたんぱく質は、麦汁中での電荷が0に近いので、通常はアイリッシュモスによって引きつけられることはありません。ただし、過剰に使用した場合は部分的に除去されることがあります。また、ワールプールの構造によっては、せっかく分離した沈殿物が再び麦汁に混入することがあります。

アイシングラス (Isinglass)

アイシングラスは、ある種の魚の浮袋から造られる天然の伝統的な清澄剤で、コラーゲンを主成分としています。もともとはイギリスでカスクコンディションエールに広く使用されてきた清澄剤ですが、最近ではラーガーの貯蔵期間を短縮するのに適したものとして、各地で再評価されています。目的は主として酵母の凝集・沈殿を促すことで、原理はアイリッシュモスと同じく電荷作用です。ただしこの場合、酵母の電荷がマイナスでアイシングラスがプラスです。使用時期は発酵終了後の貯酒タンクの段階が一般的です。チルブルーに対する効果は若干はあると思われませんが、一般的には弱いと言われています。沈殿した澱を取り除けばそのまま未ろ過ビールとしても使用されますし、ろ過の前処理としても非常に効果的です。形状としては、粉砕化、ペースト、粒状、パウダー等がありますが、最近ではパウダー状のものが使用の利便性から広く受け入れられているようです。使用前に冷水またはビールとよく混合して、タンク中に高圧で注入するか、ビールの移動中にインラインで注入して、ビール内に拡散させます。通常は2, 3日以内に十分な酵母の沈降がなされます。素材が天然である点、酵母を選択的に沈降させる点、比較的使用法が簡単な点等のメリットから、今後クラフトブルワリーの醸造現場でも使用の増加が期待される清澄剤です。

PVPP (Polyvinylpyrrolidone)

PVPPはナイロン66から造られる化学的な清澄剤で、現在はポビドン (Povidone) あるいは一般的なグレードの呼び名からポ

ル（タンニン）を吸着して沈殿させます。このようなフェノール側に作用する清澄剤は、たんぱく質側に作用するものが潜在的に抱える泡持ちへの悪影響を避ける点で、特にドイツ系のブルワーに支持されてきました。形状はパウダーが一般的で、その細かさでいくらかのグレードがあります。冷水やビールと混合して貯酒タンクに加えられます。効果は非常に早く、通常は数時間で完了し、次のろ過工程に移されます。一般的な使用量は30-50g/hl程度ですが、これで泡持ちには全く影響せずにチルヘイズの原因となるタンニンの半分を除去できると言われています。使用量が多すぎるとビールの色やホップの苦味成分を損ないませんが、普通はそれほどの量を使用することはありません。PVPPは理論上は酸化したポリフェノールやメラノイジンをすべて取り除くので、ビールの酸化（劣化）を防ぐ抗酸化剤の働きもする、とイズの原因となるタンニンの半分を除去できると言われています。使用量が多すぎるとビールの色やホップの苦味成分を損ないませんが、普通はそれほどの量を使用することはありません。PVPPは理論上は酸化したポリフェノールやメラノイジンをすべて取り除くので、ビールの酸化（劣化）を防ぐ抗酸化剤の働きもする、という見方もありますが、実際にはあまり期待できません。チルブルーフィング用の清澄剤としては、次に挙げるシリカゲルとの併用でさらに効果的な働きを期待できます。

シリカゲル (Silica Gel)

シリカゲルは化学的に精製した珪酸を乾燥・粉碎した清澄剤で、チルヘイズの原因の一方であるたんぱく質を吸着して沈殿させます。その粒の大きさや構造上の孔径（ポアサイズ）でグレードが分かれます。また、パウダー状のものと水溶液状のものがあります。いずれにしても、ほぼPVPPと同様な使われ方をされて、貯酒タンク中や移送ライン中で注入されます。適量（30-50g/hl）であれば、泡持ち等に影響は与えないと言われています。PVPP同様、ろ過の前処理として使用されるのが普通ですので、あまりに細かい粒のグレードは、たんぱく除去効果は高いもののろ過が困難になる可能性があります。また、よりチルブルーフィングの効果を高めるため、PVPPとの併用もよく行われます。

タンニン酸 (Tannic Acid)

タンニン酸はポリフェノールを加水分解して精製した清澄剤で、チルヘイズの原因の一方であるたんぱく質と結合して沈殿させます。これは文字通りたんぱく質-ポリフェノール複合体を人為的に造ってから除去するもので、通常はろ過の前処理に使用されますが、麦汁煮沸時にも使用されることがあります。使用量は3-10g/hlといわれ、過剰な使用は泡持ちの低下や味の劣化をもたらすとされています。と言うよりむしろ、適量を決定すること自体が、他の清澄剤よりやや難しいとも言えるかも知れません。また、多くの軟らかい沈殿物を作り出しますので、他の吸着系の清澄剤と比べるとその除去にやや手間がかかります。ビールのロスも多くなります。

パパイン (Papain)

パパインは最も広く使用されているたんぱく質分解酵素で、高分子のたんぱく質を物理的に低分子化して、チルヘイズを防止します。効果を期待できる温度帯が高い（最適温 60℃）のと、その後さらに高温で失活させる必要があるために、熱処理（pasteurized）ビールにのみ使用されます。ビール中での作用時間が長いと泡持ちに悪影響を与えます。いずれにせよ、クラフトブルワリーでの使用はあまり現実的ではないでしょう。

<参考文献>

- *The Practical Brewer*
Master Brewers Association of the Americas 1977
- *Principles of Brewing Science*
George Fix / Brewer's Publications 1989
- *An Analysis of Brewing Techniques*
George & Laurie Fix / Brwer's Publications 1997
- *ASBC Methods of Analysis*
American Societ of Brewing Chemists (ASBC)
- **ビール醸造技術 宮地 秀夫 / 食品産業新聞社 1999**



渡邊 拓也（わたなべたくや） / ビール醸造技術コンサルタント

（プロフィール）94年の酒税法改正にともなってホームブルワーからビール醸造技術者に転じ、ヤマトブルワリー（奈良県）、ポートランドブルーイング（アメリカ・オレゴン州）でビール醸造実務を担当。96年からコンサルティング会社のカベサグランデの指導担当として国内外の20ヶ所以上の醸造所で醸造実務・指導に携わる。98年にコンサルタントとして独立、現在に至る。1969年兵庫県西宮市生まれ。京都大学法学部卒、IBS会員、西宮市在住。

（抱負）アメリカ、カナダ、ドイツ、チェコなどの醸造技術者と幅広い交流を保ち、日々より広範な醸造技術と知識の向上に努めている。

（好きなビールスタイル）ホッピーなペールエール。