

今回はビールのダイアセチルの研究で有名な井上喬さんに執筆をお願いしました。実務的、かつ科学的な酵母の解説です。地ビール関係者以外の方にもご参考になるとと思います。

はじめに

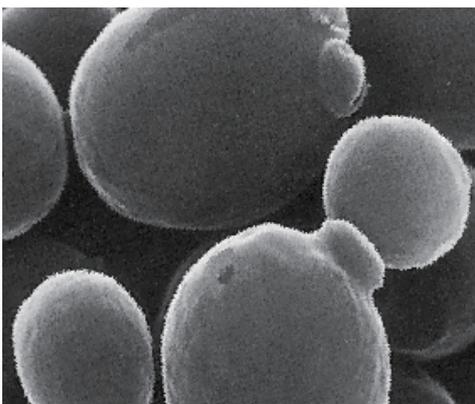
猿酒という言葉もあるように、人類は有史以前から「酒」の魅力に取り付かれ、なんとかそれを手に入れようと苦心を重ねた結果、現在のような多種多様な酒類が生まれたのだらうと思われまふ。おそらく猿酒とは果実酒や蜂蜜酒であり、古代人も甘いものは酒になりうるとことを知っていたのでありまふ。ビールは、地球上で氷河期が終り、乾燥した草原が現れ穀物を栽培することが可能となり、農業が始められた頃に、おそらく、発芽させることにより穀物からも甘い液を作り出すことが発見され、氷河期時代から持っていた果実酒製造の知識を応用して造られ始めたのであらうと思われまふ。当初は「酔い」状態が得られるだけでも大変な成功だったのであらうが、次第により口当たりのよい、美味しいものが求められるようになっていったのは当然の成り行きだと思われまふ。

ビールの品質は現在では、色、泡、冷え具合、などとともに、香味のよさの一部まで、そのほとんどが数値で客観的に表し、制御しうようになっています。しかし、多くの地ビールメーカーにおいては、一般家庭における漬物や味噌造りのごとく、環境条件のみを数値的に設定し、ビール(あるいは、原料や使用酵母)の品質に関しては(比重によるアルコールの生成具合以外)ほとんど全てを官能に頼るといふ造り方がなされているのが現状でありまふ。元来、醸造とはそういうもの(技術ではない芸)であり、そのような条件のもとでいかに美味しいものを造ろうかと、人類は数千年の間努力を重ね、多くのノーハウを会得し今日の醸造法の基礎を作り上げてきたといえまふ。

原料品質(あるいは、種類)と製造方法との組み合わせによって、美味しいビールを造るためには、その前提として、使用する酵母の品質(活性)が一定でなければなりません。また、それ以前の問題として、その酵母が雑菌の汚染を受けておらず、常に正常に発酵してくれることが必要です。この雑菌汚染の問題は前者の酵母活性の問題とは別のように思われるかもしれませんが、実は両者は密接に関係しており、ビール酵母の活性が高ければ、その酵母を接種された麦汁中の環境は急激に雑菌の汚染を受けにくい、嫌氣的、酸性の状態となり、限られた一部の乳酸菌とビール酵母類似の野生酵母にしか汚染される可能性のない安全な状態となります。また、ホップ苦味質の持つ乳酸菌増殖抑制力も酸性になるにつれて強まることが知られています。つまり、このように活性の強い酵母を使うことで、はじめて、原料品質、製造条件に対応したビール品質が実現されるのであり、酵母の取り扱いは、ビール醸造において最も基本的なポイントなのです。

蛇足ながら、このような一定品質の酵母使用の困難性を大きく軽減させたのが、約150年前に行われたパスツールによる(酵母を含む)微生物の発見と、それに基づく純粋培養法の完成であります。それ以前の

醸造は、いろいろなノーハウが蓄積されていたといえ、常に雑菌の汚染による腐造の恐れにおびえていたのです。本稿では、このような認識の下に、酵母使用の基本となる、ビール酵母の性質について解説して行きます。



1. ビール酵母とは

酵母とは、微生物と呼ばれる、肉眼では見ることができない生物群に属する一生物です。大きさは細い髪の毛の直径の、10分の1程度のもので、細胞1個が1匹の生物として独立して存在しています。なお、同じ微生物に属するカビは酵母のような細胞が線状につながったもので、両者は近い関係にあります。酵母やカビはそのように小さなものですが、細胞の中の状態は基本的にわれわれ人間の細胞と同じで、核やミトコンドリアなどの器官が独立して存在し、真核生物と呼ばれています。もうひとつの代表的微生物である細菌(バクテリア)は、酵母やカビとは違って、細胞の中が分化しておらず、原核生物と呼ばれ、より原始的なものです。

人間の肝臓の細胞が有害物を解毒する力が特に強く特殊化しているように、アルコール発酵に使われる酵母は糖分をアルコールに転換する力が特に強い種類の生物です。果汁を発酵させて造るワイン造りに使われるワイン酵母は、ブドウ糖のような単糖類をアルコールに転換させます。そのような糖類は自然界(果実の表面や、花の蜜や樹液)にも存在するため、それを発酵する酵母は自然界に多く存在しています。しかし、ビール醸造の場合に発酵される、麦芽から造られる糖分は主として麦芽糖であるために、それを主として発酵する酵母は、自然界では、そう普通に存在するものではありません。したがって、ビール醸造においては、ワイン造りやパン造りのごとく「天然酵母」を使用することは不可能といふでしょう*。低温での発酵力が強く、胞子形成力が弱く、性質の安定している下面発酵ビール酵母は、1480年代に発見されたものですが、近年、*S. cerevisiae* と *S. bayanus* という2種類の酵母の遺伝的特性を持つことがわかり、このようなレオボンやラバのような雑種酵母の出現(発見)は奇跡的であった感があります。

ビール酵母とはそのようなものであるため、一般的には、菌株保存機関(業者)から購入することになります。その際に問題となるのは、どのような注文の仕方をするかということです。多くの販売業者は「ピルスナータイプビール醸造用酵母」と言うような表現でカタログに載せておられますが、「ピルスナータイプビール」の品質は、酵母のみによってではなく、特有の麦汁品質(濃度や組成)や発酵条件との共同作業によって造られるものですので、期待したのではない酵母が送られてきてしまう可能性は大いにありえます。現在使用している酵母を示した上で、「この酵母よりより凝集性の強いもの」、あるいは、「よりエステル香を強く生成するもの」、のような注文をすれば適したものを入手できる可能性が高いと思えます。

*最近、(独)酒類総合研究所において、ワイン酵母や清酒酵母を用いてもビールを造ることのできる新醸造法が開発されました。

2. 種酵母の保存と増殖法

酵母の性質は、保存中、あるいは、使用中に変化します。それが生理的なものであれば環境条件を整えれば元に戻せるのですが、他の酵母の侵入、あるいは、突然変異によるものであると廃棄処分とし、新しい酵母と取り替えなければなりません。したがって、新規に購入した酵母はなるべく早い段階で小分けしておくことが勧められます。乾燥酵母の状態で購入した場合には、指定された方法に厳密にしたがって培養を開始する必要があります。スラントの状態で購入、あるいは、保存する場合には、寒天の乾燥を防ぐために栓の部分を防水紙などで覆って冷蔵庫に保存し、半年間隔くらいで植え継ぎしてゆくといふでしょう。

酵母の量をふやすための培養の際には、雑菌の汚染を防ぐことがもつ

とも重要なことです。この工程は酵母の接種濃度が低く、麦汁が好氣的に保たれる時間が長く、また、温度も高めに保たれることが多いと思われれますので、雑菌汚染の危険性が非常に高い事をしっかりと認識している必要があります。したがって、細心の注意が必要です。

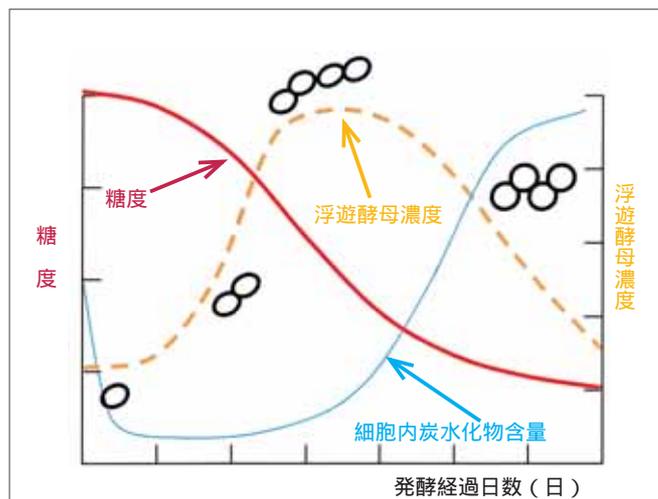
一般的には培養液量を 10 倍ずつつやして、酵母量を増やして行きます。100ml の培養からスタートして 1KL の実用規模にまで酵母を増殖させるには 5 回の培養（約 1 ヶ月）を行う必要があるということになります。培養規模が実用規模に近づくにつれて、実用条件に近い培養方法をとる必要があります。特に実用規模の酵母を得る直前の培養条件は、酵母の接種濃度が少ないことは仕方がないことですが、減少割合を抑えて、麦汁通気量と期間を大きめにする以外は、実ビール醸造と同じ条件で発酵させるのが安全です。効率を追うあまりに、攪拌培養、通気培養や、高温発酵を行って得られた酵母は、実使用の初回は期待した発酵挙動を示してくれません。すなわち、そのロットのビールは品質的に満足できるものにはなりません。

3. 発酵中のビール酵母の生態と、次回発酵のための酵母の回収

ビール酵母は麦汁に接種されるとその中で分散・懸濁して増殖をはじめ、やがて栄養分が枯渇してくるとともに細胞同士が凝集をはじめます。これが、発酵によって生ずる炭酸ガスの泡を抱き込んで液面に層をつくるような発酵形式を上面発酵、泡とくっつくことなくタンクの底に沈降する発酵形式を下面発酵といいます。

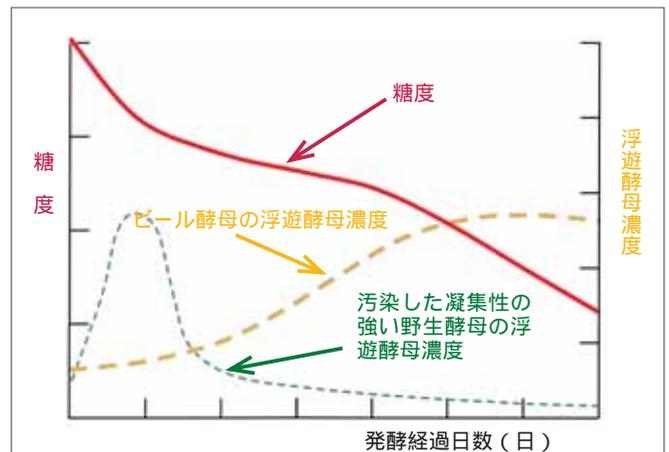
ビール醸造における酵母の増殖は、教科書に記載されているような典型的な微生物の増殖と比較すると、（麦汁中の環境を短期間に雑菌汚染耐性に変化させるために）接種酵母濃度が非常に高いために対数増殖期が短く、接種された酵母は 2 回、あるいは、3 回増殖する程度、すなわち、4 倍弱から 6 倍に増える程度で、早々に増殖を終え、定常期に入ります（第 1 図）。すなわち、全発酵期間（比重の低下している期間）中、後半期は酵母の増殖無しにアルコール発酵が進行します。

発酵が終期に近づくと、上面発酵の場合、醸造の現場では液表面に生成した、泡と酵母の混ざった層を一定時期ごとに除去回収してゆき、最



第 1 図 ビール下面発酵経過の概念図

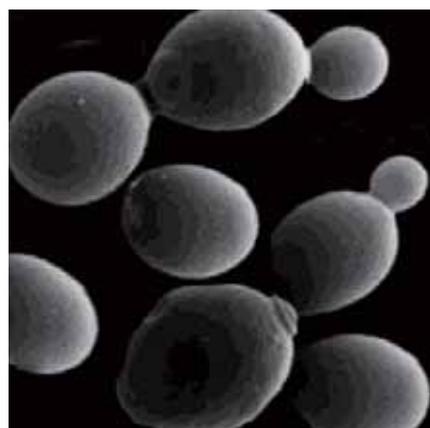
糖度の減少（アルコールの生成）経過は、浮遊酵母濃度の変化に対応して変化します。発酵後期には酵母が凝集して沈降し、浮遊酵母濃度が減少するので糖度の低下速度は減少します。細胞内の炭水化物（その大部分がグリコーゲン）は、酵母の増殖期間中は低く、増殖が終わっても、まだ発酵が続いている時期に増加します。それにより、細胞は太ってきます。細胞内に蓄積したグリコーゲンは次回の使用までに減少し、その程度は、その間の温度や期間の長さによって変動します。



第 2 図 凝集性の強い野生酵母が汚染した場合に観察される、典型的な発酵経過

汚染した、増殖能の旺盛な、凝集性の強い野生酵母が麦汁中の溶存酸素や養分を優先的に摂取してしまうため、ビール酵母の増殖開始が遅れる。そのため、糖度の変化には中だるみが観察される。発酵終了後にタンクの底から沈降している酵母を回収すると、野生酵母が優先的に回収されることになり、発酵の繰り返しごとにその割合を増してゆく結果となる。

適期に回収されたものを次回の発酵に接種用酵母として使います。下面発酵の場合には、このような酵母の選択的回収は不可能だったのですが、シリンドロコニカル型のタンクを使う場合にはそれが可能なので、そのような回収法をとることが勧められます。すなわち、汚染してくる危険性の高い凝集性の強い野生酵母は一般的に酸素、養分の吸収力が強く、正常酵母よりも早くこれらを吸収して増殖を開始し、早期に凝集します（第 2 図）。したがって、初期に沈降した酵母は廃棄した方が安全です。逆に、後期に沈降するものは、養分吸収力が弱く、増殖が遅れていたものである可能性が高いので、これも次回の発酵には使用しない方が無難です。このような酵母の分画採取は、後述するように、活性の高い酵母回収の点からも勧められます。（以下次号に続く） text. T.Inoue



井上 喬
（いのうえ たかし）

（プロフィール）
1935 年、東京都に生まれる。東京大学農学部卒業。キリンビール・ビール科学研究所所長、秋草学園短期大学教授を歴任。「ビールのダイアセチルに関する研究」にて農学博士号。全北米大陸醸造者協会 (MBAA) より功績賞。米国醸造化学

者協会 (ASBC) より荣誉賞。日本醸造協会評議員。前 MBAA 技術委員会アジア地区代表委員。前 Institute of Brewing, Asia Pacific Section 日本代表委員。

（著作）
「ジアセチル」（幸書房）「やさしい醸造学」（工業調査会）「お酒のはなし」（学会出版センター、共著）「Recent Advances in Japanese Brewing Technology」（Gordon and Breach Scientific Publishers）など。2006 年に米国醸造化学者協会 (ASBC) から「DIACETYL」が出版予定。

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。