

気軽に読める「微生物の小話講座」

(その2 酒と微生物)

旭川工業高等専門学校 富 樫 巖

はじめに

暑かった2006年の夏が終わりました。北海道では、駆け足で秋が通り過ぎ、やがて長い冬を迎えることとなります。そして、晩秋からの寒さと共に始まる仕事があります。そうです、「日本酒の仕込み」です。わが北海道には15の酒造会社があり、うち13社がオリジナルの日本酒を造る醸造元です。さらに申しますと、旭川市内には3社の醸造元が集中しています。旭川が『北の灘』といわれる由縁です。

読者の皆さまもご存知のように、日本酒と微生物と木材は親密な関係があります。造り酒屋のシンボルはスギの葉で作った『スギ玉(酒林)』です。「今年も新酒を造り始めましたよ!」とのメッセージとして、秋が深まると青々とした新しいスギ玉を玄関にぶら下げます。そして、日本酒の酒母やモロミの発酵作業は、スギ材の酒樽を用いるのです(写真1:現在はステンレス製やホーロー製の酒樽が主流)。

バイオマス・ニッポン総合戦略の掛け声の下で、『バイオエタノール』や同エタノールを3%添加したガソリンを意味する『E3』などの語彙が市民権を得ており、木材などのバイオマス資源から燃料用または



写真1 酒樽(現役の樽, 男山(株)・旭川市, 2006年8月)

原料用のエタノールを造るための研究開発の取組みが活発化しています。このバイオエタノールの製造では、日本酒の製造と同じく酵母というアルコール発酵を担う微生物が必要になります。そこで今回は、酒造りと微生物の関りに注目してみることになります。

最初に酒を造ったのはサル?

小生は、「酒の発明はノーベル賞ものではないか!」と密かに思っています。酒といっても沢山の種類があります。個人的には、汗をかいた後に飲むビールが最高に美味いと感じます。「生きていて良かった」と心底思う瞬間です。そして、その瞬間を過ぎると惰性でビールのグラスを傾げるだけの時間が続きます。

世界の三大『醸造酒』を意識したことがあるでしょうか。ワイン(ブドウ酒)、ビール、そして日本酒です。この中で、人間が最初にその存在を見出したものは、『サル酒』であり、ワインに該当します。太古の昔のことですが、サルがブドウなどの果実を集めて、樹木にできた穴に隠しておいたものが自然にアルコール発酵したと考えられています。それを人間が横取りして口に入れたら、非常にいい気分になったようです。おそらく目の前の現実が消え失せて、酪酊の世界に入った人もいたのではないのでしょうか。一方、微生物の存在を意識し、その働きを制御する近代的なワイン造りが確立するには19世紀のパスツール誕生を待つ必要があったのですが、人類は観察力・創造力・経験や勘をフル稼働させることで、ワインを含めた種々の醸造酒の製造技術を確認して酒造り産業を立ち上げました。

ワイン・ビール・日本酒の製造方法の違いとは

偶然にもサルがワインを仕込めたのは、ブドウの果実に天然の酵母が付着していたからです(写真2)。ブドウなどの果実は、食べたら甘い味がします。これは、

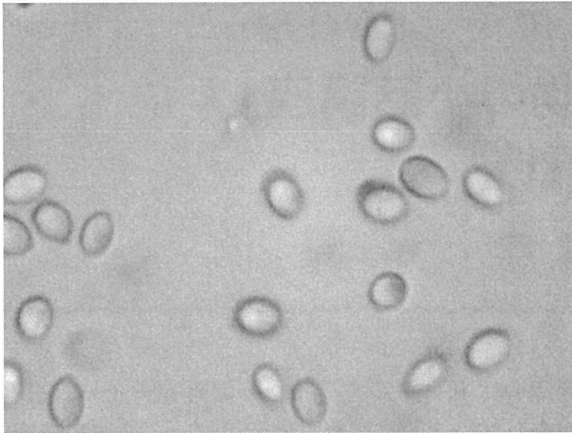


写真2 天然の酵母(大きさは10μm程度=0.01mm程度)

糖類、すなわちグルコース(ブドウ糖)やフラクトース(果糖)などの『単糖類』が含まれているからです。天然の酵母たちは、この甘い単糖類を狙ってブドウに集まっていたのです。サルによってある程度の量のブドウが集められて、空気の通りが悪い穴の中に押し込められることにより、酸素不足気味の嫌気的環境となったのでしょう。その結果、酵母はグルコースを嫌気分解し、エタノールと二酸化炭素に変えてしまったのです(イラスト1)。ところで、サルはビールと日本酒も造れたのでしょうか。

ビールの主原料は大麦、そして日本酒の主原料は米です。大麦や米などの穀類に天然の酵母が付いていたら……。残念ながら、例えそうであっても理論的には無理なはず。これらの穀類に含まれるのはグルコースそのものではなく、グルコースが鎖のように繋がったデンプンです。単糖類がいくつも繋がったものを『多糖類』といいます。デンプンは多糖類の一つです。そして、天然の酵母にはデンプンを利用する能力がありません。

ご飯を口の中に入れた瞬間に甘味を感じることはできません。でも、咀嚼することで甘味が出てきます。この変化は、デンプンが唾液中に含まれる酵素の『アミラーゼ』や『マルターゼ』によって分解され、グルコースが生じたことを示します。そこで、ヒトが口で噛み砕いたご飯に酵母を植え付けて嫌気的な環境下に置けば、上記のサル酒の場合と同様の反応が起きて日本酒ができます。実際に初期の日本酒は、人が噛み砕いたご飯をアルコール発酵させることで作られました。しかし、ヒトの口の中には多数の雑菌がいること、優秀な酵母を純粋培する知識と技術がないことから日本

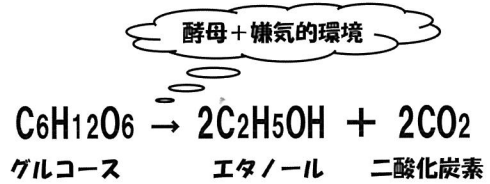


イラスト1 酵母がグルコースを酒(エタノール)に変換する

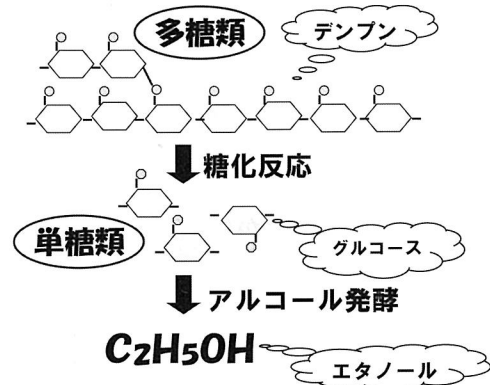


イラスト2 デンプンからエタノールを造る

酒を安定的に造ることは難しかったはず。です。

デンプンを始めとする多糖類の鎖が解けて、グルコースなどの単糖類が生じることを『糖化』といいます。グルコースを含まない主原料(穀類やイモなどのデンプン質原料)を用いて酵母にアルコール発酵をさせるには、糖化反応という前処理が不可欠です(イラスト2)。

大麦の糖化と米の糖化

大麦からビールを造るための糖化反応では、大麦を発芽させた麦芽に含まれる『糖化酵素』を利用します。この技術は、チグリス・ユーフラテス河流域が発祥地といわれています。一方、米の糖化反応は黄コウジカビ(写真3:アスペルギルス・オリゼ)が用いられています。黄コウジカビはデンプンの糖化酵素であるアミラーゼなどを生産します。そこで、蒸した米に黄コウジカビ植え付け、それらを培養することで『米麴』を作ります。米麴には、デンプンから生じたグルコースがたくさん含まれています。この糖化技術は日本で実用化されていますが、東南アジア一帯を見渡すと、黄コウジカビの代役としてケカビやクモノスカビを用いた米麴に加えて『麦麴』も作られています。カビの糖化力を利用する技術は、黄河中流域が発祥地といわれています。お隣の中国の醸造酒であるの紹興酒(シャ



写真3 黄コウジカビ(しゃもじ様の頭サイズは15μm程度)

オシンチュウ：しょうこうしゅ)は、ケカビやクモノスカビを用いた小麦麴が使われています。

酵母という微生物を利用したアルコール発酵に加え、糖化反応にも黄コウジカビなどの微生物を用いるアジアの地域性に面白さを感じます。同時に、おそらく多糖類から単糖類を得るために、試行錯誤を繰り返したと思われる先人の努力に敬意を表したくなります。

バイオエタノールのための糖化技術

バイオマス・ニッポン総合戦略では、トウモロコシやイモなどの栽培作物に含まれるデンプンからエタノール作るだけでなく、森林バイオマスや木質バイオマス(間伐材、街路樹の剪定クズ、および建築廃木材など)に含まれているセルロースやヘミセルロース(いずれも多糖類)からエタノールを製造することも提案しています。原則として、栽培作物はヒトの食料や家畜の飼料に用い、この食料や飼料とかけ合うことのない森林バイオマスや木質バイオマスを利用することに合理性を見出しているからです。

デンプンと同じく、セルロースはグルコースが幾つも繋がった鎖からできています。ただし、鎖の繋がりが若干違うことで、デンプンは食料や飼料になり、セルロースは衣服や紙になることができます(イラスト3)。驚くべきことに、木造住宅を支える木製の柱の中で、その骨の役割をセルロースが担っています。デンプンで住宅を支えることはできません。こんな紹介をすると、デンプンよりも強靱なセルロースを糖化するためには、より強力・過激な仕掛けが求められる気がしませんか。

セルロースはアミラーゼで糖化することはできません。セルロースを分解する酵素は『セルラーゼ』と呼

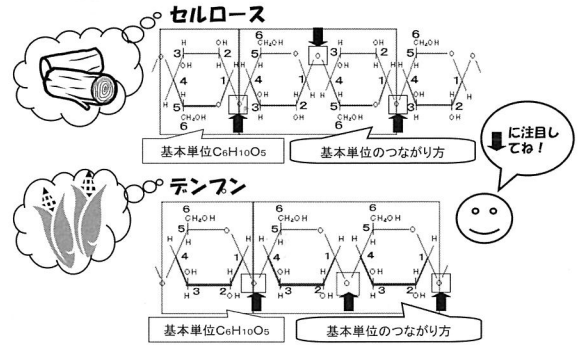


イラスト3 セルロースとデンプンの基本単位のつながり方

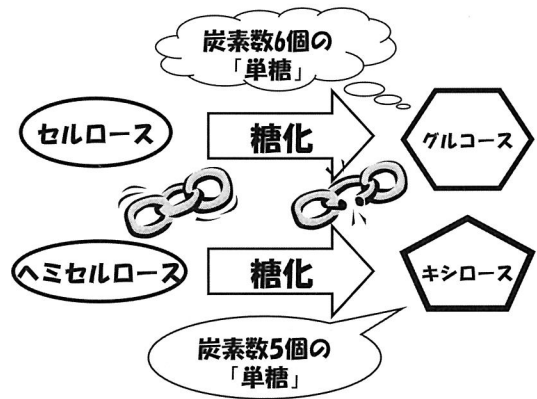


イラスト4 木材中の多糖類を糖化する

ばれ、木材腐朽菌(キノコの仲間)やシロアリが持っています。こうした生物の力を利用して木材中のセルロースをグルコースまで分解することは理論的には可能ですが、分解に必要な時間がかかり過ぎる欠点があります。結論的には、現在の技術では、「Time is money.」の商売にはそぐわないといえます。

そこで、糖化の反応速度がはやい化学処理を用いる方法が注目されることとなります。硫酸や塩酸などの鉱酸の力を借りてセルロースの鎖を切るのです。具体的には、木材を細かく砕き硫酸や塩酸のお風呂の中に入れて加水分解反応を起させ、グルコースを生産します。どんな糖化の方法を用いても、グルコースが生じれば酵母がアルコール発酵に精を出します。

一方、木材にはセルロースの親戚のような多糖類であるヘミセルロースが含まれています。硫酸や塩酸を用いた糖化反応により、ヘミセルロースからは、グルコースよりも炭素の数が一つ少ないキシロース(単糖)などが生成します(イラスト4)。ところが、天然の酵母はキシロースのアルコール発酵を行う能力がありません。これでは、ヘミセルロースの糖化に使われた硫

酸や塩酸が無駄になるため、遺伝子操作により改良した酵母や、グルコースもキシロースもエタノールに変換できる遺伝子を組み込んだ大腸菌を作り出し、効率的なアルコール発酵を行う研究が進められています。

黄コウジカビと酵母の二重奏の威力

酵母の力でエタノールを造るには、グルコースが必要であることをご理解いただけたと思います。ここでもう少し考えてみたいことは、糖化とアルコール発酵を別々の工程として分けて行うか、それとも両者を同時進行で行うかについてです。

ビールの製造では、先に麦芽の酵素による糖化を終え、その後に酵母によるアルコール発酵を行います。これに対して、日本酒の製造では、黄コウジカビによる糖化と酵母によるアルコール発酵を同時に行います。前者のアルコール発酵を『単行複発酵式』、後者のそれを『平行複発酵式』と呼びます。なお、糖化が不要となるブドウ酒の製造は『単発酵式』といいます。

単行複式発酵と平行複発酵式の違いは、アルコール濃度に現れます。ビールのアルコール度数は5%前後、日本酒の原酒のそれは20%近くに達します(ワインでは13%程度)。ところで読者の皆さまは、有害菌の消毒にエタノールを用いることをご存知と思います。75%前後のエタノール水溶液が消毒用エタノールです。従いまして、エタノールを造る酵母といえども自身が産出したエタノールに苦しむことになります。アルコール発酵を行っている反応器の中にエタノールが溜まり始めて、その濃度が上昇してくると酵母の働きが鈍ってきます。専門用語で『代謝産物阻害』といいます。通常では、ワイン程度のアルコール濃度が酵母の活動限界と考えられます。しかし、日本酒では20%近いアルコール濃度に達するまで酵母が働きます。この秘密は、日本酒用の酵母の能力だけではなく、黄コウジカビによる糖化と酵母によるアルコール発酵を同時進行させる平行複発酵式にあります。

おわりに

手っ取り早く酔っ払うにはアルコール度数の高いお酒を飲めばいいのですが、現在はビールやその類似品、さらにはチューハイ類の全盛の時代でアルコール度数



イラスト5 バイオエタノール・スタンドの店員さんとは？

が一桁程度の低アルコール飲料が人気を博しています。これに対して日本酒の需要は年々低迷し、全国的には10年前の半分程度といわれています。国立研究機関((独)酒類総合研究所)では、低アルコール日本酒の開発も検討しています。酔うための飲酒ではなく、お洒落に酒を嗜むスタイルをよしとする時代なのかも知れません。

バイオエタノールは、燃料用または原料用です。最終的にエタノール濃度が90%をはるかに超える製品に仕上げる必要があります。そんなアルコール濃度に耐える酵母を作り出せるのでしょうか。バイオテクノロジーを持ってすれば可能でしょうか。おそらく、小生は無理ではないかと思います。実際には、高濃度のエタノールを得るために蒸留などの濃縮作業を行うことになります。そういえば、醸造酒よりもはるかにアルコール度数が高い、『蒸留酒』というものもありましたね。ワインの蒸留酒がブランデー、ビールの蒸留酒がウイスキー、日本酒の蒸留酒が焼酎です。

バイオエタノールの製造は、酒造りの技術が基本になります。しかし、燃料や原料になるアルコールですから、飲料用のエタノールよりも低価格でないと評価されません。このハードルは高いと察します。「アルコール度数は高く、価格は安く」が、バイオエタノールに課せられた宿命です。例えば、E3のガソリンスタンドの店員さんが、ロングドレス姿やミニスカート姿の美しいホステスさんであったとしても特別料金を請求することはできないでしょう(イラスト5)。

(つづく)