

発酵する微生物

微

生物はさまざまな役に立つものをつくり出す能力を持っています。「発酵」といわれるこの能力を使って、人間は有史以前から酒をはじめ実に多様な飲み物や食べ物を作ってきました。もともと食品素材に自然に生えてくるカビ、酵母、細菌などの微生物を巧みに操って、優れた味や香りを引き出す伝統的な技術の中には、経験にもとづく驚くばかりの智慧が隠されています。微生物は人間の食生活を豊かにすることを通じて、文化を創るのに重要な役割を果たしているのです。

十九世紀の後半にフランスのルイ・パスツールは、酵母のアルコール発酵に代表される微生物の発酵現象の本質を科学的に解明しました。彼はその仕事を通して、少し遅れて病原微生物に取り組んだドイツのローベルト・コッホと並んで、微生物学の基本を確立するのに大きく貢献しました。それらの土台の上に、二十世紀の初めには微生物を純粋に大量培養してエタノールやアセトンなどを工業的に生産する、近代的な発酵工業が誕生したのです。微生物の高い物質生産能力を利用してバイオテクノロジーの先駆けとなった発酵工業は、いま改めて省エネルギーで、化石燃料を使わない、環境に優しい次世代の工業技術として重視され始めています。

二十世紀後半に入ると、新しい医薬やアミノ酸、酵素などを生産する、それまで誰も知らなかった微生物が次々に見つかって、産業、医療などに大きく貢献しました。そこで用いられたのは、自然界に生息する無数の微生物の中に目的の菌がいなかを片端から調べる、経験にもとづいた微生物スクリーニング（探索）という独特の研究手法でした。その鍵となっているのは微生物の巨大な種の多様性で、そこから既存の知識の枠を越えた独創的な物質生産技術が生み出されるのです。

一方で、一九七三年にそれまでの分子生物学の基礎的研究から生まれた遺伝子組換え技術は、ヒトの成長ホルモンを大腸菌でつくらせるのに成功したのを皮切りに、新しいバイオテクノロジーの分野を開くきっかけとなりました。そこで鍵となっているのは、遺伝子から見ればヒトから大腸菌までみな同じという生物の共通性について知識で、それによって微生物の高い物質生産能を計画的に利用することが可能になったのです。

生物の教科書の中の微生物は、光合成によって生産される有機物を分解するという生態系における一つの役割に着目して、ふつう分解者と定義されています。しかし本章では、微生物が私たちの生活に役に立つ物質をつくり出す上で、どれほど重要な生産者かということを見ていきます。

2-1 発酵とは何だろうか？

◎西偏の言葉たち

発酵は有用物質生産にかかわる微生物の大事な機能を表す言葉ですが、場合によって違う意味に使われたりすることがある上に、酒を表す西偏の漢字が入った紛らわしい言葉もいくつかあるので、念のためそれらをまず説明しておきましょう。

「発酵」という言葉に使われている「酵」という漢字は、古代中国で酒壺(図2-1)をかたどった甲骨文字に由来する「酉」と、大事に養うという意味の「孝」を組み合わせてできています。英語で発酵を表す fermentation はラテン語の *fervere* (湧く) に由来しますが、それはブドウの搾り汁や麦芽の糖化液が酵母によって「湧いて」酒になる有り様を表しています。洋の東西を問わず、古くから人間は酒造りを通して微生物の働きに気付いていたのです。そこから

拡がって、酒だけでなく役に立つものを微生物がつくり出す現象を一般に発酵というようになりました(学問上で使われる意味は改めて次項で説明します)。

ところで「酵」という漢字には、もともと「酒造り」だけでなく「酒造りのもと」という意味もあります。アルコール発酵を引き起こし、文字通り酒造りのもととなる微生物の一種が「酵母」といわれるのは、後者の意味から来ています。一方で、生物が生きるのに必要な食物の消化や、細胞の中でエネルギーをつくり出したりする代謝活動を触媒する働きを持つタンパク質を「酵素」といいますが、この言葉はやはり発酵を引き起こす元という意味の「発酵素」から来ています。専門外の人が酵母と酵素を混同することがあるのも無理ありませんが、酵母は生き物で、酵素は物質です。「酵母」という微生物が持っている酵素タンパク質の触媒作用によって、化学反応としてのアルコール発酵が起こる」のだということを区別しましょう。

発酵によく似た言葉に「醸造」があります。こちらに使われているやはり西偏の「釀」の字は、土を耕して柔らかくする「壤」と同じように、酒を耕してつくることを表しています。訓では「かむ」または「かもす」と読ませるのは、口噛み酒の「噛む」、あるいはコウジカビに由来する「かび立つ」から来たとされます。醸造は主として酒、醤油、味噌などの伝統的な発酵製品をつくる意味に使われます。

「腐敗」は、言葉ではなくて現象自体が発酵と紛らわしい微生物の活動です。いろいろな素材



甲骨文“酉”

金文“酉”

図2-1 酉の字のもとになった B.C.2000 年頃（夏王朝の時代）に酒造りに使われた甕（高さ 39 センチ、河南省二里頭遺跡出土、中国社会科学院考古研究所蔵）

に微生物が繁殖することによって品質の劣化や不都合な変化が起こるのが広い意味の腐敗ですが、食品としてそれが劣化か向上かが人によって違う例は、鮎鮠やクサヤなどいくらでもあげられそうです。しかし、これらの個性的な発酵食品がたいへんきめ細かな注意を払って作られているのを見れば、発酵が腐敗と違うのは明らかです。微生物の活動が目的を持って制御されているかどうかは、発酵と腐敗を区別する重要な鍵といえます。

◎発酵の仕組み

酒造りの桶の中味がなぜ「自然に湧い

て」エタノールができてくるかは長い間謎でした。十九世紀の前半にはこの謎について、発酵液の中に顕微鏡で認められる「酵母」が生き物で、その生物学的作用によって糖からエタノールが生成するという学者と、「酵母」を生物とは認めずに発酵はなんらかの化学物質による化学的な触媒作用だという学者の間で大きな論争がありました。パスツールは発酵がアルコール酵母という特定の微生物の生命活動によって起こることを最終的に証明するとともに、発酵は酸素がない条件下で微生物が行なう、エネルギーを獲得するための代謝活動であるという本質を明らかにしました。それ以来、学問的に発酵という言葉は、このような代謝の形式の意味で使われます。

いわゆる従属栄養の微生物や動植物の細胞は、増殖などの生命活動に必要なエネルギーをブドウ糖などの有機物を分解することによって得ていますが、その主な形式が呼吸と発酵です。酵母はこの二つの形式を使い分けることができて、酸素のある条件では呼吸によってブドウ糖を炭酸ガスと水にまで完全に酸化し、酸素がない条件ではアルコール発酵によってブドウ糖が不完全に酸化されたエタノールと炭酸ガスを生成します。酸素がないとブドウ糖が完全に酸化されないのは当たり前のようですが、それには特別な発酵の仕組みがかかわっています（図2-1）。

ある物質が酸化されるためには、それと共役して還元反応が起こらねばなりません。呼吸の

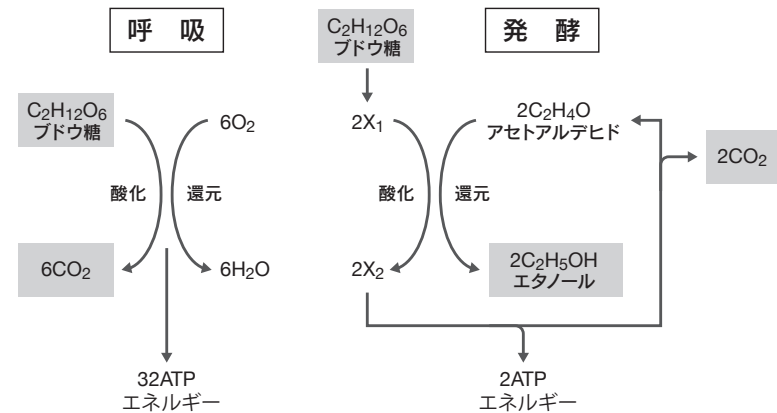


図2-2 呼吸と発酵の代謝形式の要点

場合には、空気中の酸素が水へと還元されるのに共役して、炭素六個を持つブドウ糖一分子は六分子の炭酸ガスにまで完全酸化されると同時に、エネルギーを運ぶATPが三八分子できてきます。それに対して酸素がない状態で起こる発酵の場合には、ブドウ糖が分解される途中にできる炭素三個を持つ代謝中間体(図の X_1)二分子が酸化されて X_2 になるのに共役して、より下流の中間体であるアセトアルデヒド二分子が還元されてエタノールになると同時に、二分子のATPができます。結果として、消費されたブドウ糖一分子から二分子ずつのエタノールと炭酸ガスが貯まることになりました。酸素のない条件での発酵という代謝形式そのものが、物質が大量に蓄積されると

いう意味での発酵の原因になっているのです。

乳酸発酵、アセトンブタノール発酵などは、酸素のない条件で基本的に同じ仕組みによって起こる発酵です。しかしエタノールを酸化して酢酸をつくる酢酸発酵や、糖とアンモニアからグルタミン酸をつくるグルタミン酸発酵などは、酸素が必要な発酵なので基本的な仕組みに違いがあります。さらに抗生物質のように、微量にしかできない二次代謝産物といわれる物質を生産する発酵などが次々に登場するようになって、今では応用の立場から発酵というときには、微生物による有用物質生産を広く意味するようになっていきます。