

## 麹・酵母・発酵

### (1) 麹こうじ 欧米で酒や味噌がなぜできないのか

微生物は大きく分けて細菌・カビ・酵母の3つのグループに分けられます(図1)。いずれも光合成をせず(葉緑体を持たない)寄生や生物の死骸や排泄物などを栄養源として生活しています(有機物を無機物に分解する分解者の役割)。多くの種類があり、人間の生活に有用のものや、人間にとって有害なものもあります。菌類は細胞壁をもつためかつて植物に分類されていましたが、植物の細胞壁と異なり、菌類の細胞壁は、エビなどの外殻と同じキチンでできています。

麹菌は、麹をつくるための糸状菌(図2)で、カビの一種で、日本をはじめ湿度の高い東アジアや東南アジアにしか生息していません。これが欧米で日本酒や味噌、醤油ができない大きな理由です。麹菌はコウジカビ属(*Aspergillus* 属)に分類され、*Aspergillus oryzae*(黄麹菌)、*Aspergillus sojae*(醤油麹菌)、*Aspergillus luchuensis*(黒麹菌)、*Aspergillus luchuensis mut. kawachi*(白麹菌)などの麹菌が含まれます。日本の麹に最も多く使われているものは「黄麹菌」で、清酒や味噌に使用される麹菌は全て、この菌です。種名の「オリゼー」とは稲のことで、もともと稲から分離した黄麹菌を種たね麹としていました。日本の麹菌は「コウジカビ」と言って、日本の「国菌」にも認定されています。

麹菌にはデンプンをブドウ糖に、タンパク質をアミノ酸に分解するはたらきがあります(図3)。日本では弥生時代に始まったとされる口噛み酒(デンプン質の穀物やイモ類などを口で噛み、それを吐き出して容器に貯め、自然発酵させることで醸す酒)は、麹菌の代わりに唾液中のアミラーゼという酵素がデンプンを糖化させることを利用したものです。

麹菌を米や大豆に繁殖させるとこうじ麹(図4)ができ、味噌やしょうゆなどが製造されます。麹菌が増殖する際に、さまざまな酵素(タンパク

質の一種で、原料分解の仲立ちをするもの)が生まれます。清酒・みそなど、醸造食品の種類によって、適したタイプの麹菌が使われます。麹菌はたんぱく質をアミノ酸に分解する「プロテアーゼ」や、でんぷんを糖に分解する「アミラーゼ」、脂質を分解する「リパーゼ」をはじめ、たくさんの酵

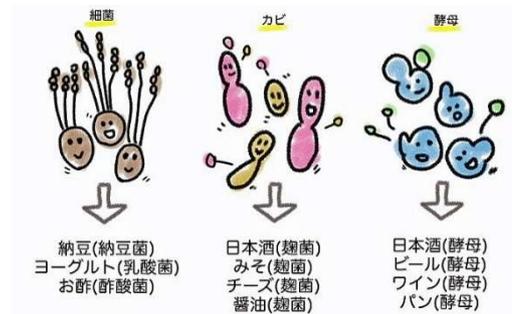


図1 微生物の種類(URL1)



図2 麹カビ(URL2)

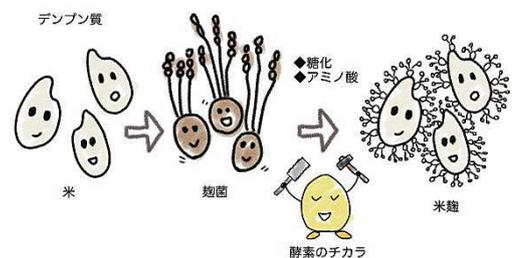


図3 麹菌の働き(URL1)



図4 米麹 (URL3)

素を生成します。

## (2) 酵母

酵母菌 (図 5) は、真核生物に分類される微生物で、外部の有機物を利用しながら育ちます。酵母菌にはビール酵母、ワイン酵母、パン酵母などがあり、糖をアルコールと炭酸ガスに分解します。酵母菌は、土壌中・大気中・水中など、自然界のさまざまな場所や皮膚の表面や消化管などにも生息しています。もともとは土の中に棲んでおり、土埃と一緒に空気中を漂って、果物や野菜、花などについて環境が合えば繁殖したものとされます。後述するように、古くから様々な食品加工の場で役立っ

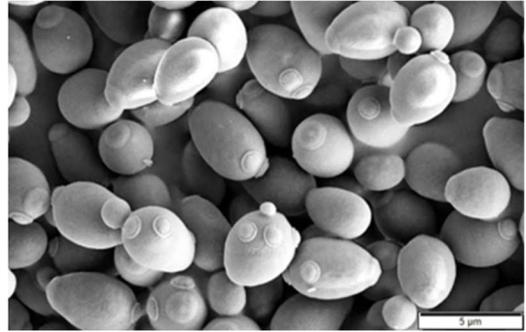


図 5 酵母菌(URL4)

てきました。世界中で利用されているサッカロミセス・セレビシエは「出芽酵母」や「パン酵母」として知られています。ビール、お味噌、納豆などを作るときに使用されています。「イースト(yeast)」は日本語に訳すと「酵母」です。イーストとは、パンの発酵に適した酵母菌だけを集めて純粋培養したもので、人工的に作られたものではありません。天然酵母とは、果物や穀物など自然のものに付着した酵母菌を、時間をかけて培養して作られたもので、様々な菌が含まれていることがあります。かつて各家庭で手をかけて作られていた時代のみそやしょうゆ・濁り酒などは、家や蔵に自生している天然酵母を使って作られたものです。現在、発酵食品を作るのに使われているイーストやビール酵母、清酒酵母などの多くは、単一の菌を工業的に純粋培養したいわば養殖的なものといえます。発酵食品の大量生産化が進むにしたがって、養殖のものを使った商品が増え、天然酵母によるものは非常に少なくなっているのが現実です。

## (3) 発酵

発酵は酸素を用いないで炭水化物を分解して ATP (エネルギー) を得る反応です。動いたり考えたりするのはもちろん、細胞分裂をしたり、消化吸収を行ったり、老廃物を処理したりするエネルギーはすべてアデノシン三リン酸 (ATP) という分子です (図 6)。エネルギーは 3 つのリン酸基の結合部分にあります (高エネルギーリン酸結合といいます)。同じマイナスの電荷をもつため反発しあうリン酸基を無理につなげているのでその結合部分はエネルギーが蓄えられた状態になり、結合が切れた時、エネルギーが放出されます。

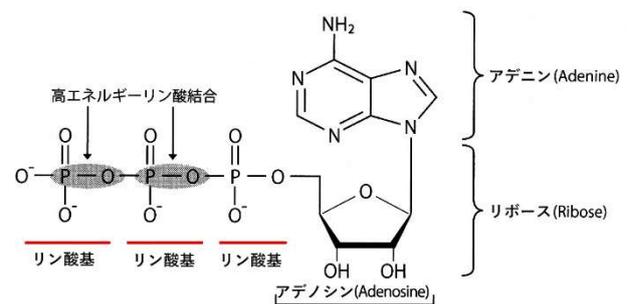
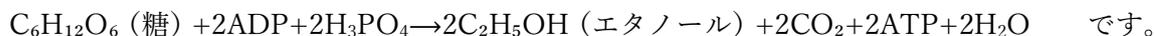


図 6 ATP (アデノシン三リン酸) URL5 に加筆

食物として取り込んだ有機物を材料として ATP を作り出す反応が呼吸です。酸素を利用した好気呼吸は高いエネルギー変換効率を持ちます。糖の分解は基本的には、酵母も私たちも、酸素を使っ

て  $C_6H_{12}O_6$  (糖) +  $6O_2$  (酸素)  $\rightarrow$   $6CO_2$  (二酸化炭素) +  $6H_2O$  (水) という反応を行います。

しかし、土の中や水の底、人の腸の中など酸素がほとんどない環境で暮らす微生物たちは酸素を使わないでATPをつくる反応系を持っています。それらは嫌気呼吸と呼ばれます。発酵は微生物の嫌気呼吸を指す言葉ですが、一般的には微生物が有機物を分解することで人間にとって有益なものができる場合を指します。その代表例の「アルコール発酵」は化学式にすると、



ADP はアデノシン二リン酸と呼ばれ、図2のリン酸基が2つ結合したものです。ATPがエネルギーを放出するとADPになり、ADPが再びATPになることで、エネルギーの利用と貯蔵が繰り返されます。アルコール(エタノール)はその副産物で、アルコール発酵といいます。パンづくりの時には、この二酸化炭素ができることで、たくさんの



図7 アルコール発酵(URL6)

気泡ができてパンが膨らみ、ふわふわになります。ビールもワインも日本酒も、醸造酒と呼ばれるものはすべて酵母が行うアルコール発酵を利用してつくられます。日本酒の場合は、麹菌によって、菌糸からコメなどに含まれるデンプンをブドウ糖に分解する酵素を出し、糖にかえます(図7)。この糖を酵母菌がアルコールと

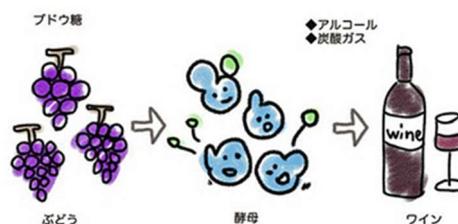


図8 ワインの発酵 (URL1)

二酸化炭素に分解し

表1 いろいろな発酵 (浜島書店編集部, 2023)

種類	反応を行う生物の例	働 き	利用・その他
アルコール発酵	酵 母	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$ グルコース エタノール	酒の製造、パンの製造に利用。
乳酸発酵	乳 酸 菌	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_6O_3$ グルコース 乳 酸	乳酸飲料、漬物に利用。整腸薬。
酪酸発酵	酪 酸 菌	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_3H_7COOH + 2CO_2 + 2H_2$ グルコース 酪 酸	香料・ワニスの製造に利用。
腐 敗	好気性細菌 枯草菌 嫌気性細菌 ポツリヌス菌 大腸菌 など	タンパク質 $\rightarrow$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{アンモニア} \\ \text{インドール(糞臭)} \\ \text{スカトール(糞臭)} \\ \text{プトレシン(有毒)} \\ \text{など} \end{array} \right.$	悪臭や有毒物質を生じることがある。
酢酸発酵*	酢 酸 菌	$C_2H_5OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$ エタノール 酢 酸	食酢の製造に利用。

穀物酢ができます。乳酸発酵は乳酸菌が行う呼吸で、最終産物として酸味のある乳酸をつくります。

ヨーグルトや乳酸飲料の製造で使われ漬物も多くは乳酸発酵を利用しています。

酢酸発酵は、酢酸菌が行う呼吸で、エタノールを酢酸に変える反応です。酢酸発酵は酸素を使う反応なので、嫌気呼吸ではありません。果実酢の多くは、果実酒に含まれるエタノールを酢酸発酵させてつくられます。

納豆菌は枯草菌の一種で、納豆の粘り気は納豆菌がタンパク質を分解して生成したものです。かつては、蒸した大豆を「わらつと」に置いて、わらについた納豆菌を利用していました。

発酵と腐敗の境界はあいまいで、同じ微生物の作用であっても最終的に人間に有益なものができる

場合は発酵と呼ばれ、悪臭や有害なものが生じる場合は腐敗と呼ばれます。

#### (4)発酵食品

米や大豆などの原料が、微生物の働きで変化したものを「発酵食品」と呼びます。味噌、醤油、みりん、米酢、甘酒、日本酒、焼酎、漬け物など、日本由来の発酵調味料や発酵食品の多くにいろいろな種類の麹菌が用いられています。世界最初の発酵食品は、牛乳から偶然にできたヨーグルトとされ、紀元前 5000 年頃に生まれたといわれます。17 世紀のレーヴェンフックによる顕微鏡の発明、19 世紀のパスツールの「発酵（腐敗）は微生物が起こす現象」の発見などを経て「微生物」による発酵の研究が進みます。さらに、第一次世界大戦下では、爆薬の素材となるニトログリセリンを発酵で大量に作ろうと各国が競い合います。第二次世界大戦では世界最初の抗生物質（微生物が生産する他の微生物の機能や増殖を阻害する物質）であるペニシリンの発明などを通して、発酵技術は大きく進歩しました。発酵で得られる代表的なものにアミノ酸があります。アミノ酸は、生き物の身体をかたち作るタンパク質の構成要素であり、生物の命を維持するために必要不可欠な要素です。今では、20 種類ある全てのアミノ酸を発酵で生産することができ、食品、医療・医薬などの分野に応用されています。日本は、アミノ酸発酵の研究をリードした国です。第二次世界大戦後、食生活におけるタンパク質不足は、深刻な問題で、多くの研究機関でタンパク質とアミノ酸の研究が成され、その結果、アミノ酸発酵の技術が誕生しました。そして発酵は、食品、医療などを中心に産業として大きく発展しました。愛知県は麹菌メーカーが多いことで知られています。

一般的に、「発酵」は微生物の働きによる変化を示すのに対し、「醸造」は、より人の管理が加わる工程を示すことが多いようです。味噌やしょうゆを造る仕事は「醸造業」と呼ばれ、発酵を管理する職人の存在が欠かせません。

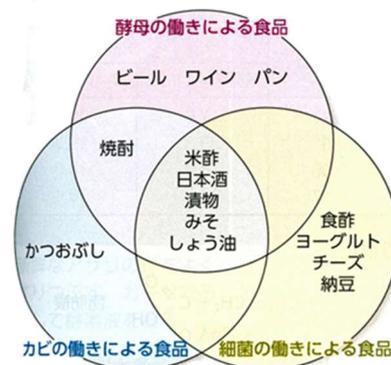


図9 いろいろな発酵食品  
(浜島書店編集部, 2023)

#### 主な参考引用文献

浜島書店編集部, 2023, 二訂版 ニューステージ生物図表. 56-57.

石川 香, 岩瀬 哲, 相馬 融, 2023, 大人のための生物学の教科書. 講談社, 349 p.

小泉武夫, 1984, 麹カビと麹の話. 光琳. 137 p.

URL 1 : <https://www.sakesen.com/blog/>

URL2 : <https://kojiyamotomiya.com/knowledge/about-kojikin/>

URL3 : <https://epub.nmns.edu.tw/e202311-1/>

URL4 : <https://oh-hanno.jp/Page/Feature/koji-fungi.aspx>

URL5 : <https://www.kobayashi-foods.co.jp/washoku-no-umami/koji-yeast>

URL6 : <https://kojiyamotomiya.com/>