

# 「発酵」

日本の朝の食卓に並ぶ味噌汁、漬物、納豆。日本料理の味付けに欠かせない醤油。さらに、酒、味醂、酢、鰹節など、日本の食文化を特徴づける食品や調味料はどれも微生物の力を借りて作られています。ミクロの世界の調理人、微生物が作り出すおいしさの世界を探ってみました。



## 酵素を作り出す三大微生物

葡萄をワインに、ミルクを風味豊かなチーズに。大豆を味噌、醤油に。あるいは、生鮮野菜を漬物に……。

食品は発酵によっておいしく、あるいは保存のきく、別の次元の食品に生まれ変わります。一方、ナマものを放置しておくことで成分が分解し、やがて悪臭を放ち腐っていきます。

発酵や腐敗によって食品が変化するのは、酵素が触媒として作用することによって起きています。酵素は生命を持たない化学物質（特殊なタンパク質）ですが、他の物質に作用して分解したり合成したりする不思議な力を持っています。この酵素を作り出すのが微生物です。発酵に係わっている微生物は、カビ（モールド）と酵母（イースト）と細菌（バクテリア）です（図表1参照）。

たとえばアルコールの醸造には、酵母という微生物が関与しています。ブドウ糖があると、酵母は体内の酵素によってアルコールに変え、その過程で酵母はエネルギーを得て、いらなくなった副産物であるアルコールを外に排出します。この一連の過程がアルコール発酵です。つまり人間は、微生物の生命活動で生じる副産物を、発酵物として利用しているのです。

発酵が腐敗と違うのは、ただ人間にとってそれが有益であるという点です。発酵食品と腐敗した食品の差は、まず食べで安全か、そして、おいしいかどうかの違いです。

●図表1 発酵微生物と発酵食品

微生物	発酵食品
カビ類（糸状菌類）	味噌、醤油、テンペ、豆腐よう チーズ（カマンベール、ロックフォール）
酵母類	パン類、アルコール飲料類
細菌類	糸引き納豆、発酵乳、食酢 チーズ（チェダー、ゴーダ、カテージ他）

鈴木英男、田島眞編「食品加工学」共立出版 2007より作成

### カビ・酵母・細菌

カビは孢子が発芽して菌糸を出し、菌糸が枝分かれした先端に孢子を作り、孢子が飛んで、また発芽するというのを繰り返して増殖します。カビは肉眼で見ることができませんが、それはカビの集合体。孢子の大きさは約4~8ミクロン（1000分の1ミリ）です。代表は麹カビ。酵素の宝庫といわれ、さまざまな酵素を作り出します。原料中のデンプンをブドウ糖にするアミラーゼ、タンパク質を分解してアミノ酸にするプロテアーゼの力が強く、日本酒、味醂、醤油などの醸造に欠かせません。

酵母は単細胞でほぼカビの孢子と同じ大きさです。母細胞が出芽して娘細胞を作り、同じ大きさになったら分離し、増殖します。ビール、ワイン、日本酒など酒類一般の醸造、パンの発酵に使われます。

細菌も単細胞で、酵母のほぼ10分の1の大きさ。球菌、桿菌（莖状）、らせん状菌などの形態があります。細胞分裂を繰り返して、猛烈な勢いで増殖します。代表は乳酸菌。乳酸菌にも多くの種類があり、ヨーグルトやチーズの製造、糠漬の発酵、味醂や醤油の発酵にも活躍しています。その他、アルコールを酸化して食酢にする酢酸菌、糸引き納豆を作る納豆菌なども細菌の仲間です。

### 酵素

酵素さえあれば発酵は起きます。もともと酵母という微生物の名前は、アルコール発酵を行う酵素の母体であることから付けられました。現在では、バイオテクノロジーによって微生物から酵素だけが取り出され、食品工業だけでなく化学工業など、さまざまな分野で応用されています。たとえば洗剤には、汚れの成分であるタンパク質を分解するプロテアーゼや脂肪を分解するリパーゼなどの酵素が用いられています。

# 「発酵」

## アルコール発酵と酢酸発酵

酒には多くの種類がありますが、大別すれば微生物が作る醸造酒と、それを蒸留した蒸留酒があります。醸造酒には発酵の工程の違いからワインとビールと日本酒を代表とする三つの醸造パターンがあります(図表2・3参照)。

まず、アルコール発酵には糖が必要です。ワインの場合は、原料であるブドウの糖分に酵母が働いて、アルコール発酵が起こります。ブドウの皮には酵母が付着しているので、ブドウを皮ごと絞ったジュースは、ほおっておいても自然に発酵します(実際のワイン醸造では酒母と呼ばれる培養酵母を添加します)。この世に酒の類が誕生したのは今から1万年前とも言われますが、最初に飲まれた酒はこのタイプです。

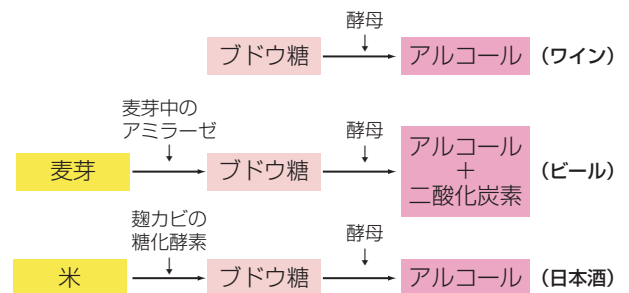
穀物からつくる酒類は、原料のデンプンを一度糖にする過程が必要となります。ビールでは、この役割を発芽した麦(麦芽)に含まれる酵素アミラーゼが行います。麦の主成分であるデンプンを、麦芽の酵素が糖化し、これをビール酵母で発酵させるのです。

日本酒は、麹カビ(黄麹カビ)を使います。麹カビの酵素が米のデンプンを糖化し、サケ酵母でアルコールにします。日本酒は麹カビと酵母の二種類の微生物の共同作業がうまくいって、初めて誕生するのです。

アルコールが酢酸菌で酸化発酵すると酢酸ができます。つまり食酢になります。英語のヴィネガー(酢)は酸っぱくなったワインの意味です。フランスではワイン酢を、イギリスではビールからモルト酢を、日本では酒粕から米酢を、古くから酢酸発酵して醸造しています。その他にも、果実を発酵してアルコールにし酢酸発酵させたリンゴ酢、柿酢など風味の異なる多くの食酢があります。ちなみに、かってブームになったナタデココは、ココナツミルクを酢酸菌で寒天状にした酢酸発酵食品です。



●図表2 醸造酒の製造



●図表3 酒の分類

	作り方	アルコール飲料	原料	関係する微生物	アルコール濃度 (%)	
発酵酒	絞り汁より直接発酵する	ワイン	ブドウ果汁	ブドウ酒酵母	<14	
	穀物を糖化したのち発酵	カビによる糖化	日本酒	うるち米、米麹、水	麹菌、清酒酵母	15~20
		麦芽による糖化	ビール	もち米、酒薬、水	ケカビ、酵母	10
蒸留酒	果実酒の蒸留	ブランデー			40~44	
	麦芽発酵液の蒸留	ウイスキー			37~44	
	カビにより糖化した発酵液の蒸留	焼酎、泡盛、高粱酒			25~43	

小西洋太郎・辻英明編「食品各論 食べ物と健康 第2版」講談社 2007

### パン

アルコール発酵では炭酸ガスが同時に発生します。これを利用したのがパンづくりです。酵母の働きで炭酸ガスを生じさせ、小麦生地(ドウ)を膨張させます。また、発酵によって香気成分が生じ、特有の風味も生まれます。

# 「発酵」

## 保存性を高める乳酸発酵

昔、中央アジアでの出来事。ある商人がヤギの乳を羊の胃袋で作った袋に入れて旅をしたところ、飲もうと思ったら白い塊とただの水分になっていました。塊を食べてみたらおいしかった。チーズ発祥の物語です。

乳を固ませたのは乳酸菌の仕業です。乳酸菌は牛乳によく成育して、乳中の糖類（主に乳糖）を乳酸に変え、乳を凝固させます。この食品がヨーグルト。天然の乳酸菌と酵母でヤギの乳などの乳糖を発酵させたのが、コーカサス地方のケフィア、シベリア、中央アジアのクミスなどの乳酒です。

チーズづくりでは、乳酸菌のほかにレンネットと呼ぶ凝乳酵素が働きます。まず乳酸菌が乳酸を作り、乳酸の存在下で凝固を促進するレンネットが乳中のタンパク質（主にカゼイン）を固め（カード）、水分（ホエー）を分離。カードを乳酸菌やカビで熟成させるとチーズができあがります。発酵の過程でタンパク質や脂肪が分解され、乳製品ならではのこつてりした感じや、特有の香味が生まれます。

おいしさとともに、保存性を増すことは、発酵の大きな特長であり利点です。

アルコール発酵は発酵物自体に殺菌力があります。乳酸菌による発酵も生成される乳酸の存在によって酸性が強まり（水素イオン濃度pHが低下）、酸性の環境では成育できない汚染菌（雑菌）の増殖を抑制します。つまり、善玉微生物の働きが悪玉微生物による食品の腐敗を防ぐのです。

野菜の塩漬け、糠漬け、サワークラフト、ザーサイ、キムチなどの漬けものは、すべて乳酸菌がその保存性の向上に貢献しています。これら発酵を利用した漬けものでは、さらに善玉の耐塩性の細菌群、酵母群が有機酸やアルコール、芳香性エステルなどを生成し、製品に独特の香味を与えています。

腸詰めにして乾燥、熟成させるドライソーセージなどもまた、乳酸菌が保存性を増し、香味を付与しています。



### チーズ

チーズは西アジアで発祥し、ヨーロッパで発展しました。日本の味噌と同じく地方ごとに独特で、原料や利用する微生物の種類、製造工程によって多種多様なチーズがあります。熟成に乳酸菌を利用したのがエダム、ゴーダ、チェダー、青カビを利用したのがロックフォール、ゴルゴンゾラ、ブルーチーズ、白カビを利用したのがカマンベールです。チーズづくりで使われるレンネットは子牛の第4胃から抽出される酵素ですが、カビの一種の毛カビから同じ作用をする凝乳酵素を取り出すことに日本人の科学者が成功し、現在、世界で生産されているチーズの半分はこの微生物由来の酵素が使用されています。

### 乳酸発酵と乳糖不耐症

牛乳に含まれる乳糖を、人は体内の乳糖分解酵素によってブドウ糖とガラクトースに分解し、消化吸収して利用します。しかし、一般に日本人を含めアジア人とアフリカ人などでは、大人になるとこの乳糖分解酵素がなくなる乳糖不耐症の場合が多くなり、牛乳を飲むとお腹がごろごろ鳴る、ひどいと下痢症状となります。それが、乳酸発酵したチーズなどでは、乳糖が分解されているため、乳糖不耐症の人でも消化吸収しやすくなるという利点があります。

# 「発酵」

## 万能調味料、味噌・醤油

温暖湿潤なモンスーン気候帯の東アジアでは、伝統的発酵食品づくりに麹カビがよく利用されています。日本では、この麹カビを利用して独特の発酵調味料が発達しました。ご飯の副食品であり調味料でもある味噌、和食独自の味のベースをになっている醤油です。

どちらも原料は、大豆と麦あるいは米、そして塩と麹だけ。麹カビの働きが、大豆のタンパク質をうま味のある味に、麦や米のデンプンを甘みに変えます。塩の存在は、雑菌による腐敗を防ぎ、有用な耐塩性の酵母と乳酸菌のゆるやかな活動を支え、熟成期間中に色と香りを醸し出します。

一昔前まで川を越えれば味が変わると言われたほど、味噌は地方によって種類が異なります。地理的環境によって、原料の調達や人びとの嗜好が異なり、同じ原料を使っても気候風土によって微生物の働きが左右されるためです。

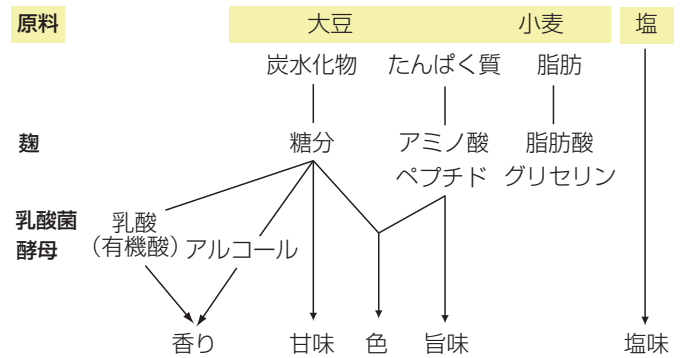
味噌は、味噌汁やなめ味噌だけでなく、煮物、鍋物、漬けものにも活躍します。味噌の持つこの調味料としての側面を液体にすることで発展させ、ほとんどあらゆる調理に使えるようにしたのが醤油です。

寿司、天ぷら、鰻の蒲焼き、蕎麦、おでん。素材の持ち味を生かす脇役として、日本料理に醤油は欠かせません。うまい醤油を口に含むと、まず心地よい酸味、次に苦味、こなれた塩の味、かすかな甘み、揮然一体となったうま味が残ります。味覚を構成する5原味、甘、酸、鹹（塩辛い）、苦、うま味を醤油はすべて含んでいます。そして、独特の香りと色。これらはすべて発酵と熟成によって作られます（図表4参照）。

一般に醤油といえば、消費の80%以上を占めている濃口醤油のこと。ほかに淡口醤油や溜醤油、再仕込醤油、白醤油があります。淡口醤油は塩分が少ないと思われがちですが、実際には、濃口よりも塩分が1割程度高く、そうすることで発酵熟成を遅らせて着色が進むのを防いでいます。減塩醤油と表示があれば塩分が50%以下。醸造後に塩分だけカットして製造します。



●図表4 醤油成分の変化



針塚藤重「発酵食品と健康9」月刊「茶」2003年12月号

### 味噌

味噌づくりは、蒸すか煮た大豆を潰し、麹と塩とを混合して容器に詰め（「仕込」）、ある期間置いて「熟成」させます。基本的にはこれだけです。「手前味噌」という言葉があるように、以前は家庭ごとに独自の味噌造りが行われていました。

味噌の種類は、麹の原料によって三種類に分けられます。米（米麹）を使えば米味噌、麦（麦麹）ならば麦味噌、大豆だけで麹を造れば豆味噌となります。現在は、市場の約8割を米味噌が占めています。

味噌の味は、大豆と麹の割合、塩分量、麹の種類によって微妙に異なります。米味噌、麦味噌では麹の量が多いほど甘くなります。一般に、辛味噌といわれるのは塩分が12%前後。麹の使用量が大豆より少なく、熟成期間が長く、味はうま味が濃厚で熟成したものは特有の芳香があります。甘味噌は塩分が6~7%前後。麹が大豆の同量から2倍以上使用されています。甘みに富み、麹のよい香りがします。豆味噌は独特の渋みと濃厚なうま味があります。

### 醤油

醤油の原料は大豆と小麦。醤油づくりは、まず、蒸煮した大豆と、炒って砕いた小麦を混ぜて麹カビ（種麹）を植え付けて麹にします。大豆も麹にするとこが（豆味噌を除き）味噌づくりと違います。できた麹に食塩水を加えてタンクに仕込み、「諸味」と呼ばれる混合物を6か月~8か月間発酵、熟成させます。この間、最初に麹の酵素によって原料成分が分解され、アミノ酸やブドウ糖ができます。次に、乳酸菌と酵母が増殖し、ブドウ糖から乳酸や他の有機酸、アルコールが生じます。その後、分解、発酵によって生まれた成分どうして化学反応が起こり、アミノ酸とブドウ糖との褐変反応でメラノイジン色素が生じて特有の色、アルコールと有機酸が反応してエステルが生じて香りが生まれます。

# 「発酵」

## 独特のおいしさが生まれる水産発酵食品

漁獲後に鮮度が低下しやすく、腐敗変質しやすい水産物を長期間にわたって保存するためにも、発酵は利用されています。各種の塩辛や糠漬け、麹漬けなどは一種の保存食品として発展し、それぞれ独特の風味を醸し出しています（図表5参照）。

塩辛は魚介類の筋肉や内臓に食塩を加えて腐敗を防ぎながら、魚介類自体がもつ酵素による自己消化作用でタンパク質を分解して遊離アミノ酸やペプチドが生成しうま味が向上、同時に特有の風味が醸成します。食塩濃度や熟成期間が異なるものの、塩辛と同じく魚介類と食塩を主原料として作られ、魚体が分解するまで熟成させて液体部分を用いるのが魚醤油です。

日本独特の調味料であり保存食である鰹節も、最終製造工程での4回にわたるカビ付けが保存性を高めています。水分のないところでは雑菌は繁殖しにくくなります。カビ付けに使われるのは麹カビの一種で、鰹の内部深くにまで菌糸を伸ばし、（自らが育成するために）水分を外に運び出して硬く乾燥させる役割をはたします。同時にカビが作り出すさまざまな酵素は、脂肪を分解して酸化を防ぎ、タンパク質を分解して鰹節のうま味の主体であるイノシン酸やアミノ酸などの成分も生成しています。

人類が微生物の存在を知ったのは17世紀、顕微鏡が発明されてからのこと。それ以前、微生物の存在すら知らなかった時代から、人類は試行錯誤を繰り返して経験的に技術を積み重ね、発酵食品をつくってきました。いまやそのメカニズムが解明され、先端のバイオ技術が導入されていますが、基本的な製造工程は、伝統の上に成り立っています。発酵食品は、おいしさを求めた人間の英知の結晶といえるでしょう。



●図表5 水産発酵食品

区分	品目
乾製品	くさや
塩辛	イカ塩辛、黒づくり、カツオ塩辛、ウニの塩辛 このわた、めふん、うるか
魚醤油	しょつつる、いしる
すし	ふなづし、さばなれずし、はたはたずし
麹漬け	アユの麹漬け、サバの麹漬け、ニシンの麹漬け エビの麹漬け、かぶらずし
糠漬け	フグの糠漬け、イワシの糠漬け
節	かつお節、さば節

坂口守彦「水産発酵食品のおいしさ」おいしさの科学2007年春号より

※参考資料：露木英男、田島眞編「食品加工学」共立出版 2007●小西洋太郎・辻英明編「食品各論 食べ物と健康 第2版」講談社 2007●藤井建夫「魚の発酵食品」成山堂書店2001●針塚藤重「発酵食品と健康9」月刊「茶」2003年12月号●「特集発酵食品のおいしさを科学する」おいしさの科学2007年春号●「特集発酵食品のおいしさを科学する」おいしさの科学2007年夏号●