

4.1.2 発酵乳

ヨーグルトに代表される発酵乳は、原料乳に乳酸菌をスターター(種菌)として接種し、発酵させ、蛋白質を乳酸によって固まらせたものである。日本の発酵乳は、牛乳を原料としているが、世界には山羊、羊、馬などの乳を原料としたものが数多くある。乳酸菌だけでなく、酵母を利用したケフィアやクミスなどがある。乳酸菌飲料は、生乳および乳製品を原料として、乳酸菌または酵母で発酵させ、糊状または液状にしたものを主原料として、これに水を加えて薄めた飲料である。

発酵乳は、形状の違いから、寒天やゼラチンで固めたハードタイプ、糊状になったソフトタイプ、発酵後の固まりを液状にしたドリンクタイプ、アイスクリーム状にしたフローズンタイプに分けられ、風味の違いから、乳酸菌で発酵させただけのプレーンタイプと、乳酸菌で発酵させたものに果汁や果肉などを添加したフルーツタイプに分けることができる。

使用する乳酸菌によって、乳酸生成能、胃酸耐性、風味への影響などが異なるために、メーカーでは乳酸菌を厳重に管理し、目的生産物に合った乳酸菌を選定している。

なお、発酵乳と乳酸菌飲料には、無脂乳固形分と含まれる乳酸菌数によって表 4.1.2-1 に示すような成分規格がある。

表 4.1.2-1 発酵乳および乳酸菌飲料の成分規格

		無脂乳固形分	乳酸菌数または酵母数 (1ml 当たり)
発酵乳		8.0%以上	1,000 万個以上
乳製品乳酸菌飲料	生菌	3.0%以上	1,000 万個以上
	殺菌	3.0%以上	-
乳酸菌飲料		3.0%未満	100 万個以上

無脂乳固形分：牛乳の全乳固形分から脂肪分を差し引いた残りで、蛋白質、乳糖などが含まれている。

4.1.3 パン

パンは、発酵したものを焼いたものと無発酵のまま焼いたものに大別される。日本でパンというと、前者の発酵パンを指す。発酵パンは欧州で発達したものであり、主原料は小麦粉、酵母、食塩、水である。この他に香味をつけるために糖類、油脂類、乳製品などを用いる。

パンは通常、酵母によって風味が与えられ、発酵によって生成する二酸化炭素(炭酸ガス)が生地を膨張させてポーラス状にすることによりふっくらとした歯触りを与える。原料に含まれている糖類が酵母によって分解される過程で、二酸化炭素のほかにアルコールや風味のもとになるさまざまな成分が作り出される。そのために、水分含量、糖濃度、温度、生地の pH などの発酵時の環境が、パンの品質に大きな影響を与える。酵母(サッカロミセス セレビスエ、*Saccaromyces cerevisie*) そのものは、簡単にスーパーなどで入手できる。

パンの製造は、生地造りのために原料を混合（ミキシング）するところから始まる。ミキシングの役目は、原料を均一に分散させ、適度な弾力と伸展性を持たせることであるが、同時に生地中に酵母の増殖に必要な空気を混ぜ込むことが重要となる。酵母を添加した時点から発酵が始まるので、生地の温度管理に注意を要する。

パン生地の製法には中種法、ストレート法、液種法がある。中種法は、小麦粉の大部分を酵母・水とを混合して一度発酵させて中種を作った後に、原料の残りを加えて再度混合し、生地を造る。はじめの発酵での様子をみながら、2回目のミキシングを調整できることと、グルテンの伸びが良くなることから、工場での生産に向いている。ストレート法は、すべての原料を1回のミキシングで行なうために生地の調整が難しいが、風味が良くなる利点がある。液種法は、酵母と砂糖などを含む液体を予備発酵させて造った液種に、残りの原料を加える方法である。

発酵した生地は仕上げ工程により、目的とするパンにまで成形される。ここでは、生地を一定の重量ごとに生地を分割し、分割生地を丸めた後、最終的な形にする成形工程へ移る。ポイントは、時間の短縮である。焼成まではパン生地は生きており、生地の容量が大きい場合、仕上げの最初と最後とでは、発酵時間が異なることになるからである。この工程では、分割機（デバインダー）、丸め機（ラウンダー）、成形機（モルダー）といった機械が使われる。

焼成工程では、生地中に含まれている二酸化炭素が膨張して、パンがふっくらとなる。生地は加熱されることにより、デンプンが消化しやすい形に変化する。香ばしさが付くとともに、表面が茶色に変化する。焼成温度は通常 230 前後、焼成時間は食パンで 30 分程度、菓子パンでは 10 分程度となる。

現在、パン業界は、多様化に対応するとともに、流通におけるパンの品質劣化防止、流通コストの低減、焼き立てパンへの対応も求められており、冷凍生地、冷蔵生地のままで消費地まで輸送し、そこで焼成する技術の開発が行なわれてきている。

4.1.4 納豆

日本人の食生活に、欠かすことのできない食品に大豆があり、みそ・しょう油・豆腐・納豆などに広く利用されてきた。その大豆を使った発酵食品の1つが納豆である。

納豆といっても、正確に言えば日本にはタイプの異なる2種の納豆がある。ひとつは寺納豆と呼ばれているもので大徳寺納豆や浜納豆のような麹カビと耐塩性の酵母と乳酸菌で造る「塩辛納豆」であり、もう1つはいわゆる「糸引き納豆」である。糸を引かない塩辛納豆の方が歴史は古く、その原形は大陸から伝えられたとされ、奈良時代には記載がみられる。糸引き納豆については、明確になってはいないが、少なくとも室町時代には糸引き納豆ができたとされている。

糸引き納豆の製造は、大豆を洗浄・浸漬後、蒸煮した大豆に納豆菌を接種して、納豆菌が増殖しやすい温度に保温して発酵させる。納豆菌源としては、以前は稲わらを利用していましたが、現在は粉末の納豆菌を利用する方法が取られている。稲わらには納豆菌が付着しており、また温度・湿度・通風性が納豆菌が繁殖するには最適であったものの、雑菌の混入があるために、品質は安定せず、工業生産には向かないものであった。明治38年（1905年）に納豆菌が発見され、大正8年（1919年）に純粋培養納豆菌を利用した糸引き納豆が

開発された。その後、保温方法や通気方法に改善が加えられ、蒸煮では、直火式圧力釜が開発され、短時間で蒸煮ができるようになった。昭和 30 年代終わりごろから容器に発砲スチロールが使われはじめ、現在に至っている。

納豆製造にあたって、納豆菌の接種は、大豆が熱い状態で行うが、これはヒートショックといって納豆菌を発芽させるためである。納豆菌の増殖は大豆の表面から中心部に向かって進行するので、挽き割り大豆や小粒大豆の発酵時間は短くなる。発酵後は旨味成分であるグルタミン酸やアルパラギン酸等を増加させるために熟成させる。糸引き納豆の粘性物質は、納豆中に 2 % も含まれている。その成分は、グルタミン酸がチェーン状につながったポリグルタミン酸 (PGA) と呼ばれる高分子物質であり、粘性物質の安定化にフラクトース (果糖) がつながったフラクタンと呼ばれる多糖類が混ざっている。

納豆の栄養価は高く、ビタミン B2、B6、K、ニコチン酸などのビタミンが豊富であり、煮豆よりも吸収性が良い。

原料には通常大豆を用いるが、黒豆、小豆、インゲンマメ、トウモロコシなどでも造ることができる。しかし、血栓溶解物質として知られるナットウキナーゼの生成は、大豆を用いた方が優れている。

なお、東南アジアには、納豆に似たテンペやキネマという発酵食品がある。

4.1.5 みそ

みそは、大豆と米麹あるいは麦麹を食塩存在下で発酵させたもので、日本独特の醸造食品である。みそ造りのポイントは、製麹 (せいきく) 工程にある。米あるいは麦を蒸した後に麹カビを接種して 40 数時間、適温に維持することにより、麹カビが増殖して「麹」となり、原料の大豆、および米や麦のデンプン質や蛋白質の分解酵素が作られる。大豆も酵素が作用しやすいように蒸煮によって軟化し潰される。食塩の添加は、熟成過程で雑菌の繁殖を防ぐとともに、耐塩性酵母や耐塩性乳酸菌などの発酵微生物の働きを促進させる。これらの耐塩性微生物が糖分やアミノ酸からアルコール類、エステルなどの芳香性物質を生成して、みそ特有の風味が造られる。

「米みそ」、「麦みそ」は、麹の原料に基づく名前である。一方、「豆みそ」というのは、大豆を麹に用いたものであり、米や麦を用いていない。みそは全国各地で造られているが、大まかにみると、米みそはほぼ全国で、麦みそは西日本で、豆みそは中京地方で造られている。米みそと麦みそとは、製麹方法が若干異なる。麦は、米に比べて吸水速度が速いことから、吸水時間は約 1 時間と短い。吸水時間が長い場合、製麹中に雑菌による汚染が起こる可能性が高くなる。

みそは色によって、淡いクリーム色の白みそ、信州みそのように黄味を帯びた淡色のみそ、赤味を帯びた赤褐色の赤みそに分けられる。色の違いは、発酵・熟成中に起こる「メイラード反応」の程度による。メイラード反応とは、アミノ酸が糖と反応して褐変 (褐色に変化する) することである。白みそでは、大豆の浸水時間を短くし、かつ蒸すのではなく煮ることによって、糖などの水溶性成分が大豆から溶出してしまうために、メイラード反応が抑えられることになる。

みそ用大豆としては、大粒で種皮が薄く、また吸水能力が高く、蒸煮時に軟らかくなって淡い色調になることなどが重要になる。成分的には、カルシウム量が少なく、炭水化物

を多いものが良い。現在、みそ用大豆のほとんどは、輸入大豆であり90%以上を占めており、主に中国から輸入している。

食塩には、通常は並塩（塩化ナトリウムが95%以上のもの）が用いられる。また、みその約45%を占める水については、銅や鉄など着色促進物質である無機イオンが、極力少ないものが望ましく、大豆の軟化を妨げるカルシウムについても濃度が低いものが良い。

みその味は、麹の種類と麹歩合（大豆に対する麹の割合）、および塩分濃度によって微妙に異なる。みそ汁に用いる「辛みそ」の場合、塩分濃度が12%前後で、麹の使用量は大豆よりやや少ない。熟成期間を長くとるために、旨みが濃厚で、熟成したものは芳香が豊かである。代表的なみそに、仙台みそ、信州みそなどがある。一方、「甘みそ」の場合、塩分濃度が通常6~7%前後で、麹を多く用いる。麹の使用量が多いことから、甘みに富み、麹由来の香りがする。代表的なものに、関西地方で造られている米の白みそがある。

通常、みそは加熱殺菌していないために、酵母や乳酸菌が生存し、少しずつではあるが、栄養分を消費している。みそには日本農林規格（JAS）がないのは、規格の基準となる理化学的な分析値が時々刻々変動するからである。

近年、みそ中の有効成分とその効用が明らかになってきており、低塩化とともに、健康食品として見直されつつある。

4.1.6 しょう油

しょう油の歴史は古く、弥生時代から大和時代にかけて日本に伝えられたといわれており、平安時代に広く一般にまで普及するようになった。

しょう油の製造には、麹カビ、酵母、乳酸菌がかかわっているが、麹カビを除き、しょう油もろみの食塩濃度は高く、18%にもなるので、ほとんどの微生物は成育できずに耐塩性のある発酵微生物だけが生育することになる。純水培養した耐塩性酵母や耐塩性乳酸菌を仕込み時に添加している醸造所もある。

しょう油の製造方式は、日本農林規格（JAS規格）で、本醸造方式、新式醸造方式、アミノ酸液混合方式の3方式が規定されている。本醸造方式は、蒸煮大豆に挽き割った焙煎小麦を混ぜて麹を造り、これに食塩水を加えてもろみを造り、ときどき攪拌しながら発酵・熟成させる方法である。製品にするにあたって、加熱（火入れ）によって殺菌するとともに、色、味、香りを整えるが、最近はフィルターで除菌するメーカーが増えている。新式醸造方式とは、本醸造のもろみまたはもろみを搾ったものと、大豆などの植物性蛋白質を酸によって加水分解した酸分解アミノ酸液と食塩水を混合し、発酵・熟成させる方法である。アミノ酸液混合方式とは、上記2つの方法で得られたしょう油もろみを搾ったものと酸分解アミノ酸液または酵素処理液と食塩水を混合して造る方法である。

しょう油には、表4.1.6-1に示すように日本農林規格（JAS規格）で、こいくち（濃口）、うすくち（淡口）、たまり（溜）、さいしこみ（再仕込み）、しろ（白）の5種類が規定されている。しかし、近年は消費者嗜好の多様化に応じて、脱脂加工大豆の代わりに丸大豆を用いた丸大豆しょう油、有機栽培大豆・小麦を用いた有機しょう油、あるいは長期熟成した古式しょう油などの本格タイプ、また通常のしょう油に比べて塩分濃度を20%以上低下させた薄塩しょう油、製品100g中の食塩が9g以下の特定保健用食品である減塩しょう油などの健康志向タイプ、さらにだしを添加しただししょう油、麺類のつゆ・天ぷらつゆ

等に使用されるめんつゆあるいはたれ、ぼん酢しょう油などの簡便化を図ったものなど、さまざまな「しょう油」が開発されている。

表 4.1.6-1 しょう油の種類

種類	特徴
濃口	原料は大豆（または脱脂加工大豆）とほぼ等量の小麦を用いる。全国的に生産されており、全生産量の 80%を越えている。
淡口	製造方法は濃口とほぼ同じであるが、塩分を多くしたり、火入れ時の温度も濃口より低めに設定している。仕上げの段階で甘酒を添加する。しょう油全生産量の 15%程度を占めている。
溜	大豆（または脱脂加工大豆）に極少量の小麦を加えている。さしみや佃煮などの加工用に使用されている。主に中京地域で生産され、しょう油全生産量のわずか 2%程度である。
再仕込み	製造工程は濃口と同じであるが、仕込み時に食塩水の代わりにしょう油を用いるので、二度醸造することになる。生産量は、しょう油全生産量の 1%に満たない。
白	淡口よりさらに色が薄い。小麦が主原料であり、少量の大豆を加える。生産量は、しょう油全生産量の 1%に満たない。

しょう油は輸出もされており、日本食ブームとともに世界的な調味料として発展が期待されている。

4.1.7 酢

食酢は英語で vinegar（ビネガー）と呼ばれている。語源は酸っぱいワインである。つまり、酢は酒のアルコール分が酢酸菌で酸化したものであり、ワインや清酒の管理が悪いと酸っぱくなる現象を積極的に利用した食品である。

最も多く製造されている酢は、アルコールを原料としたものであり、アセトバクター *Acetobacter aceti* でアルコールを酸化させて酢酸を生成させている。酢酸の工業的生産は、速醸法と呼ばれる方法により、10%のアルコールが1週間余りで酢酸に変換される。現在、発酵タンクを用いた深部培養法によって効率よくアルコールを酸化させる方法を採用するメーカーが多い。

次に多い酢は麦芽酢と果実酢である。前者は米国で大量に生産されており、大麦、小麦、トウモロコシなどの穀物を糖化した後に、アルコール発酵させ、次いで酢酸発酵させて造る。後者は、ブドウやリンゴを原料にしてアルコール発酵させて、ワインやリンゴ酒を造り、その後酢酸発酵させたものであり、果実の香味が活かされた風味豊かな酒ができる。

日本では米酢が代表的な酢である。米から清酒を造った後に、酢酸菌を添加して、酢酸発酵させたものである。清酒の酒粕を原料として醸造した粕酢もある。最近、特に注目を集めている酢に黒酢がある。土中に埋めた大きなカメ壺で熟成させる特殊な製法で造るので、アミノ酸やミネラルが豊富である。この場合、蒸し玄米、米麹、水、種酢（酢酸菌）をカメ壺に仕込むために、糖化、アルコール発酵、酢酸発酵と極めて複雑な発酵形式になる。

なお、深部培養においては、酢酸発酵に必要な空気を発酵タンク底部から送り込むが、過剰に送り込むとアルコールまた酢酸が放散量が増え、収率が低下する。そのために通気方法や通気量のコントロール技術が開発されている。また、静置発酵の場合、発酵中のタンクから酢酸菌の膜をすくい取り、酒のタンクに移すと酢酸菌が酒表面に増殖して、酢酸発酵が始まる。

4.1.8 ビール

以下に説明するビール、清酒などのアルコール飲料は、さまざまな国々で製造され、原料や製造方法により多岐にわたっている。日本の清酒、焼酎、泡盛、イギリスのウィスキー、ドイツ、ベルギー、オランダなどのビール、フランスのワイン、ブランデー、米国のバーボンウィスキー、ロシアのウォッカなど、その国独特の酒が製造されている。

このうち、ビールは、世界で最も生産されている酒で、酵母の種類と麦芽の種類に由来する色によって表 4.1.8-1 のように分類できる。日本のビールの大部分は、麦芽とホップ以外に米やトウモロコシなどを原料にした下面発酵ビールである。

表 4.1.8-1 ビールの種類

酵母種類	色	種類
下面発酵酵母	淡色ビール	ピルスナービール、アメリカビール
	中等色ビール	ウィーンビール
	濃色ビール	ミュンヘンビール
上面発酵酵母	淡色ビール	ペールエール、パイツェンビール
	濃色ビール	スタウト、ランビック

麦芽を粉碎後、麦芽自身に含まれる糖化酵素によって麦芽中のデンプンを糖化させて糖液をつくる。これをろ過して麦汁を得る。麦汁にホップを加えて、煮沸し、タンニンをホップエキスで凝集させる。冷却後、ろ過した麦汁にビール酵母を加えて発酵させる。醸造用水の水質も品質に大きな影響をおよぼす。発酵終了後は、2ヶ月間さらに熟成させる。出来上がったビールは、精密ろ過や低温殺菌された後に充填されて出荷される。発酵後にどれだけエキスを残すかは発酵方法や酵母の発酵力の程度が影響することから、この方面からの品質改良がなされ、多様なビールが開発されてはいるが、近年は特に透明感や切れ味などが消費に大きく影響することから、発酵後のろ過方法や品質管理に工夫が必要となっている。

4.1.9 清酒

日本の酒に関する最初の記述が魏志倭人伝にみられるが、それより古い縄文時代の遺跡から酒の容器がみついている。当時の酒は口噛み酒と呼ばれるもので、口で噛んだ穀物を器に入れ、そのままの状態に放置し、自然界にいる酵母によってアルコール発酵したものであった。穀物中のデンプンを糖分に変換するために唾液中の酵素を利用したものであり、麴カビを用いるようになったのは弥生時代後期になってからといわれている。室町時

代には、種麹を製造販売する種麹屋がすでに現れている。

清酒は、米のデンプンを麹カビを用いて糖化させ、得られた糖分を酵母によってアルコールに変換したものであり、このような並行複式発酵は世界に類をみない。世界の醸造酒の中では最もアルコール度数が高く、23 を越えることもある。

清酒造りは、「一麹、二酒母（もと）、三造り」といわれている。これは、麹が最も品質に影響するためである。麹カビが均一に増殖していないような悪い麹では十分な糖分が得られないばかりか、麹カビによって生成する成分も変わる。二番目の酒母は蒸米、水、麹に酵母を加え、もろみの発酵を司る酵母を大量に培養したものであり、活性のある良質な酵母を大量に含んでいることが重要となる。雑菌の繁殖を抑えながら酵母を増殖させてアルコールを十分に生成させるための仕込みにおいては、もろみの温度管理が特に重要であり、通常、初添え、仲添え、留添えの三段仕込みが行われている。このような段仕込みは、清酒独特の方法である。

清酒造りは、現在は1年を通じて行われるようになったが、今でも冬季に行われることが多い。秋に新米が収穫されること、仕込み水がより澄んでくることが、そして何よりも、もろみの温度管理が容易になるためである。酵母の最適増殖温度は28~30 であるが、実際にこのような温度では、アルコールは生成されるものの、十分なアルコール度には達しないばかりか、雑菌の繁殖を招いて、香り、味など品質面で劣ったものしかできない。もろみの温度を下げて、低温でゆっくり発酵させると、酵母はアルコール以外にエステルや有機酸などの香味成分を生成する。

香りの高い清酒のためには、発酵温度だけではなく、原料中の蛋白質や脂質などを低下させる必要がある。これらの成分は特に玄米の表層部に多いことから、精米によって取り除くことが必要になる。従って、精米技術の進展によって、はじめて吟醸酒の製造が可能になったといえる。現在、吟醸酒によっては精米歩合40%以下の米を用いている場合もある。酒造適合米として有名な山田錦は、蛋白質や脂質が少ないといわれているが、それでも精米が必要となる。

表4.1.9-1に清酒の製造方法からみた分類を示すが、このほかにもにごり酒、発泡酒、高濃度酒などがあり、まさに消費者ニーズの多様化を示すものである。

表 4.1.9-1 清酒の製造方法からみた分類

種類	特徴
純米酒	精米歩合 70% 以下の白米、米麴と水だけを原料として製造したもので、香味、色沢が良いもので、米だけで出来た酒。純米酒はさらに、精米歩合により、60% 以下の純米吟醸酒、50% 以下の純米大吟醸酒、60% 以下または特別な製造方法を示した特別純米酒に分けられる。
本醸造酒	精米歩合 70% 以下の白米と米麴、水で醸造し、白米と米麴の合計重量の 10% 以内の醸造アルコールをもちに添加して製造した清酒で、香味、色沢が良いもの。さらに精米歩合により、精米歩合が 70% 以下の本醸造酒、60% 以下または特別な製造方法を示した特別本醸造酒がある。
吟醸酒	純米酒または本醸造酒と同様な製法である。精米歩合 60% 以下の白米と米麴および水、醸造アルコールを原料として、低温でゆっくり発酵させるなど特に吟味して製造した酒で、果実や花のような固有の芳香があり、味や色のきれいなのが特徴である。さらに、精米歩合によって 50% 以下の大吟醸酒に分けられる。
原酒	市販されている清酒は、水を加えてアルコール度数を調整しているが、原酒はもろみを搾ったままのもので、アルコール分は 18~20 と高い。
生酒	発酵もろみを搾ったままのもので、加熱処理をしない。フレッシュで若々しい。品質は変化しやすいので、低温保存が必要がある。
生貯蔵酒	生酒と同様に加熱処理をしないで低温で貯蔵し、出荷時に加熱処理を行ったもの。生酒と同じ様なフレッシュ感がある。加熱処理しているために、品質は安定している。
樽酒	木製（通常は杉）の樽で貯蔵し、木の香りがついている。
生一本	純米酒で、1つの製造場で製造されたもの。
長期熟成酒	長期間熟成したもの。古酒。長期間熟成させることにより、味がまろやかになる。熟成年数を表示したものがあるが、熟成年数の異なる酒を混合した場合は、最も短い年数の酒の年数を表示しなければならない。

清酒造りを支えているのは、蔵元と杜氏である。蔵元が経営方針を決め、杜氏は酒造りの現場を担当している。杜氏は酒造りのすべてを任されており、そのために杜氏によって酒の品質が変わるといわれている。杜氏は年々高齢化しており、また人数も減少する傾向にあることから、杜氏の有する技を機械やコンピューターで管理しようとする技術の開発が行われてきた。しかし、長年の経験と勘を有する杜氏は、今でも不可欠である。清酒が嗜好品であり、香り、味、色などをもろみという生きた状態から予測しつつ、醸造工程を管理するという技術は、杜氏の研ぎ澄まされた感性が必要になってくる。

一方で、アルコールのソフト化に伴う低アルコール酒、麴カビや酵母などの微生物が代謝する微量生成物の濃度をコントロールした酒など、従来にない清酒を造るには、これまでの伝統技術に加えて新しい技術が求められる。