

身近で活躍する有用微生物 II 食品と有用微生物－西洋の食文化と微生物 I

チーズ・バターと微生物

ます だ てつ や
増 田 哲 也
Tetsuya MASUDA

はじめに

日本ではチーズを分類するのに、ナチュラルチーズとプロセスチーズという用語があり、プロセスチーズとは「ナチュラルチーズを数種類混合して加熱し、溶融したものを型に入れて冷却したもの」と乳等省令で定義されている¹⁾。しかし、チーズの原産国では、プロセスチーズというものはほとんどなく、すべてがいわゆるナチュラルチーズである。

チーズにおける微生物の関わりを論ずる場合、プロセスチーズは加熱し溶融しているため、原料ナチュラルチーズの性状には微生物の関与はあるが、製品プロセスチーズの性状にはほとんど影響しないので、本稿では、いわゆるナチュラルチーズにおける微生物の関わりについて論ずることにする。

チーズは微生物の発酵によって作られる代表的な乳製品の一つで、世界中のチーズの種類は700種類とも1,000種類とも言われている¹⁾。チーズの分類は、熟成の有無、熟成に関与する主な微生物によって、また水分含量による分類があるが、本稿では、フレッシュチーズ、白カビチーズ、ウォッシュタイプチーズ、半硬質チーズ、超硬質チーズ、青カビチーズそしてヤギ乳チーズに分類して、それぞれのチーズにおける微生物の関わりについて概説する。

また、バターと微生物の関係については、わが国ではあまり馴染みはないが、発酵バターについて概説する。なお、遠心分離という方法が開発される以前は、搾乳した生乳を室温に静置し、上層に形成されたクリーム層をすくい取りバターを作っていたので、この静置している間に乳由来の乳酸菌が増殖するわけで、まったく自然に発酵バターとなるわけで

ある。そして、上層のクリーム層を取り除いた部分にレンネットを加えてチーズを作るわけで、非常に合理的であった。

I. チーズと微生物

1. フレッシュチーズにおける微生物の関わり

現代では、図1に示したように加熱殺菌した乳にスターター乳酸菌を添加するが、このような乳酸菌スターターは20世紀になってから用いられるようになった。それ以前は、スターターを添加せず生乳を放置し、生乳由来の乳酸菌による自然の乳酸発酵が一般的であった。当時のフレッシュチーズは、バターを製造する際の副産物で、朝に搾乳した乳を一昼夜、そして夕方に搾乳した乳を一晩室温に放置して、上層に形成されたクリーム層をすくい取ってバ

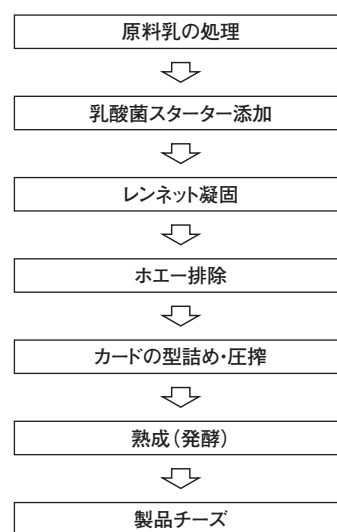


図1 チーズ製造の主な工程

ターを作り、残りの下層の pH が自然の乳酸発酵でレンネットの至適 pH となり、チーズの製造に最適であることを経験的に学んだものと思われる。また、生乳由来の乳酸菌による酸凝固に基づいてチーズ分を取り出す慣習は「チーズの最も原始的な技術のかたち」であり、乳利用の文化が食生活に根付いている地域で広く行われていた。

このフレッシュチーズにはカッテージチーズ、クリームチーズ、クワルクそしてモッツアレッラなどがあり、ほとんどのチーズは熟成せずにそのまま食す。

モッツアレッラは、イタリア原産のチーズで、生乳(水牛乳)由来の乳酸菌による乳酸発酵とレンネットによる凝固で得たカードを、手でこねたり引っ張ったりして粘り気のある伸びるタイプのチーズに仕上げたものである。最後に食塩水に数日漬けて加塩する。この加塩はチーズ表面にカビが生育するのを防ぐため、多くのチーズ製造でこの抗菌を目的とした加塩が行われている。販売時にも、塩水に漬けて店先に並べられるものと、塩水入りの容器に包装されたものがあり、これらの塩水は乾燥防止とともに鮮度を保つ目的で用いられている²⁾。

2. 白カビチーズにおける微生物の関わり

白カビチーズはボディーが柔らかで、熟成にはチーズ表面に発生する白カビ (*Penicillium candidum*) が主要な役割を果たしているものである。フランスのカマンベール、ブリーなどがこの分類に当てはまる。

カマンベールチーズは、フランスのカマンベール地方原産のチーズで、「チーズの女王」とも言われる最も代表的な白カビチーズである。工業的生産が始まると乳酸菌スターターを添加するようになったが、それ以前は、朝に搾乳した乳は一昼夜、そして夕方に搾乳した乳は一晚室温に静置して十分に乳酸発酵させたのちレンネットで凝固させ、工業的生産では、凝固したカードの表面にカビスターターを吹き付けて、12～13℃で2週間程度発酵させて作られる。しかし、それ以前は型詰めされたグリーンチーズ(熟成前のチーズ)に塩をふりかけたのち、13～15℃、湿度70～75%の環境に置くことで自然発生的に白カビが表面を覆ってくるようになると、「ポプラ材のパッケージ」に収め、約1週間、なるべく6～8℃の冷涼な発酵室に保蔵し出荷する。このポ

プラ材のパッケージは、そこそこの密性があるため、白カビの生育に必須の酸素を制限して過剰な繁殖を抑制可能となったため安定的に市場に供給できるようになった³⁾。

ブリーチーズも有名な白カビチーズのひとつで、わずか3cmの厚さであるのに対して直径が35cmであるのは、チーズの単位重量当たりの表皮面積を大きくして、白カビ由来の風味を楽しむためと言われている。熟成段階のブリーチーズは、表層部が微アルカリ、中間部が中性、芯部が酸性という三重構造を呈しており、その後、麦わらの上に置かれ、麦わら由来の好気性で好アルカリ性のリネンス菌 (*Brevibacterium linens*) が旺盛となり完熟を迎える。

ヌシャテル(ヌフシェテル)も古くから作られているフランス産の白カビチーズである。このチーズは、白カビの接種法が非常にユニークである。すなわち生乳由来の乳酸菌による乳酸発酵とレンネット凝固によって得たカードに、白カビが完全にはえそろっている完成チーズを練り込むことで、「白カビ胞子の接種」をするという方法である⁴⁾。この方法を Vaccination と言い、その後1～3カ月間熟成して製品となる。

3. ウオッシュタイプチーズにおける微生物の関わり

ボディーは柔らかで、大抵は薄い食塩水でチーズ表面を洗う手入れを熟成期間中に反復することで、リネンス菌の発生と増殖を促し、粘り気のある湿った外皮を形成させるタイプのチーズをウオッシュタイプと呼ぶ。リネンス菌はグラム陽性、好気性の短桿菌で、脂質とタンパク質を分解する菌であるが、白カビ (*Penicillium candidum*) や青カビ (*Penicillium roqueforti*) などのカビ類の生育を阻害する。

リネンス菌由来の粘膜の内側では、*Lactobacillus* 属などの乳酸菌と、未同定の複数の発酵菌が、チーズのタンパク質や脂質を分解し、固有の発酵味を導いており、表皮のリネンス菌とこれら内側の細菌との「相利共生」の構造が認められる。

フランスのアルザス地方で作られるマンステールの場合、チーズバットとして純銅のケトルを用いるが、このケトル由来の銅イオンが酪酸菌 (*Clostridium butyricum*) の生育を抑制している⁵⁾。

ル・プロションもウオッシュタイプチーズであるが、プレス直後のグリーンチーズを飽和の食塩水に2時

間浸漬するだけなので、14～16℃の部屋に一週間静置しておくで白カビが表面に出現する。その後、12℃前後で湿度が85%前後の発酵室に移し、薄い塩水で表面を洗って白カビの生育を抑制しリネンス菌の増殖を促す。その後、再び表面が乾燥すると白カビが生育し、相互に拮抗しながらピンクの地肌に白のベールで厚みのある表皮が形成される。さらに、このチーズの場合はロイコノストック属(*Leuconostoc*)のヘテロ発酵により微量の炭酸ガス、エタノールそして酢酸が生成され、風味の深化に寄与している。

4. 半硬質チーズにおける微生物の関わり

ボディーの硬さを基準とするチーズ分類法によれば、水分が43%以上で54%未満のものが、このグループのチーズである。代表的なチーズとして、ボル・デュ・サリュ、トム・ド・サボオワ、アルディガスナそしてゴダチーズがある。

ボル・デュ・サリュは修道院チーズとして有名で、先に述べたウオッシュタイプチーズと同様に、薄い食塩水でチーズ表面を洗ってリネンス菌により白カビの蔓延を押さえる。熟成期間は4週間で、その間は週に2回ほどこの「洗い」を実施する。

トム・ド・サボオワの表面には、雑多な微生物(白カビ、青カビ、ケカビ)の芽胞が付着し繁殖しており、灰色・黄色・茶色・白・黒・紫などの顔料をモザイク様に塗ってひからびさせたかのような表皮となっている。季節・地域・作り手によって表皮の表情はまちまちである。チーズ内部は純白ないしくクリーム色で、乳酸菌群による無酸素代謝が進行している。

フランス産チーズであるアルディガスナ(バスク語でアルディは羊で、ガスナはチーズ)も、塩分7%ほどの塩水を含ませた布巾で表面を拭く作業によりリネンス菌由来の粘膜を形成している。内部はホモ乳酸発酵から次第にヘテロ乳酸発酵となり、ロイコノストック属乳酸菌が関与したチーズアイが出現している。

アペンツエラーはスイスが原産で、ウシの生乳から作られる。プレス後のチーズを13℃以下で湿度が85%以上の発酵室で、白ワインとリンゴ酒、それにハーブを調合した塩分8%の食塩水で表面を拭くと、チーズに存在する酢酸菌属(*Acetobacter*)が白ワインとリンゴ酒のアルコールをビネガーにするこ

とで独特の風味を醸し出している⁶⁾。

イタリアの山のチーズで、スイスのラクレットに類似しているフォンティーナは、ボディーがむしろ固めの半硬質チーズである。スターターは生乳由来の乳酸菌で、プレス後の熟成期間(4～5カ月)に高濃度の塩水でチーズ表面をブラッシングすることでリネンス菌の増殖を促し、厚さ2mm程度の人工皮革のようなしなやかな表皮となり、白カビとキノコの類に属するジオトリクム(*Geotrichum*)などの有害な菌類の発生を抑制する。

オランダのチーズ生産量の60%以上を占めるのがゴダチーズである。13世紀にゴダ村で作られたことが名前の由来である。現在ではネーデルラント酪農乳業研究所(NIZO)の指導により、その製造には乳酸菌スターター、塩化カルシウムそして硝酸カリウムの添加が求められている。

スターター(*Lactococcus lactis*, *L.cremoris*, *L.diacetylactis*, *Leuconostoc cremoris*の混合スターター)は、滅菌した牛乳にNIZOから支給されたシードカルチャーを接種し準備する。加熱殺菌した原料乳を用いるため塩化カルシウムを添加する。生乳を原料としていた時代には、乾草とサイレージで飼育した牛の乳から製造したチーズで偶発的な酪酸菌の増殖が頻発したが、1940年代前半にデンマークで開発された硝酸カリウムを用いた「酪酸菌胞子の発芽を抑制する新技術」を導入することで、酪酸菌の生育を顕著に抑制した。

なお、表面を酢酸ビニールのエマルジョン(プラスチックコート)で覆うことにより、カビの生育を完全に抑制している。

5. 硬質チーズにおける微生物の関わり

ボディーの水分が40%以下で、固形分中の脂肪含量が45%以上のチーズで、チェダー、エメンタル、グリュイエールそしてコンテがこの分類に当てはまる。

チェダーチーズはイギリス原産の代表的なチーズで、世界中で大量に生産されるチーズのひとつである。このチーズのスターターは生乳由来の乳酸球菌(*L.lactis*)で、生乳を室温に2～3昼夜放置して得たゲル状の凝乳をマザースターターとし、それを5%量接種してバルクスターターを調製して使用する。型詰めする前のカードに直接加塩するので、偏性嫌気性内孢子形成菌である酪酸菌由来の異常発酵

が全く発生しないと言われており、このチーズの場合にも、塩は予想以上に重要な抗菌的役割を呈する。熟成は10℃、湿度85%程度で3～6カ月行うが、この間に菌叢は、スターター由来の*Lactococcus*からプレス後半（製造2～3日目頃）には*Lactobacillus*属が優勢となり、熟成期間に移行すると*Micrococcus*が増殖し始める。なお、熟成期間中、反転と乾いた布巾での乾拭きで、表面一杯に青カビが繁茂し、他の微生物の侵入をガードしている。

エメンタルは最も代表的なスイスチーズで、工場規模の製造では、牛乳に乳酸菌とプロピオン酸菌の両方をスターター菌として加え、レンネットで凝固させ、20℃、湿度80%程度で数カ月熟成させて作るが、熟成の過程で、乳酸菌が作った乳酸をプロピオン酸菌がプロピオン酸に変えて、独特の風味を持つチーズとなる。このときプロピオン酸菌は二酸化炭素を作るので、チーズ内部に気泡（サクランボからクルミ大）ができる。この孔を「チーズアイ」と呼び、エメンタルチーズの特徴となっている。このエメンタルチーズの風味は、チーズフォンデュにとっては欠くことのできないものである。一方、戦前の農家規模の製造では、他の多くのチーズと同様に生乳を室温に静置して、レンネット凝固に適したpHになった時点で、次の方法で調整した特異なスターターを添加するのである。すなわち、製品エメンタルを前回の製造で得たホエーに接種し、煮沸冷却して25℃で48時間培養して調製した偏性嫌気性孢子形成菌である酪酸菌のみとした特異なスターターである。したがって、チーズアイは酪酸発酵に由来するとの説もある⁷⁾。

グリュイエールはエメンタルと並んでスイスチーズの代表である。カードの収縮と離水を促進するための加熱最終温度が55℃と高いため、その熟成には高温を好む乳酸菌が優勢となり、ヘテロ発酵さらにプロピオン酸発酵など特異な形式が関与している。なお、熟成前に飽和食塩水に2日間漬ける一次加塩と、熟成過程での食塩をふりながらのブラッシングで、酪酸発酵を回避するとともに厚さ2～3mmのリネンス菌の表皮が形成される。

6. 超硬質チーズにおける微生物の関わり

水分が30%以下で、一体に低脂肪のチーズで、このタイプのチーズとしてイタリアのパルミジャー

ノ・レッジャーノ、グラナーノ・パダーノ、そして羊乳から作られるペコリーノ・ロマーノなどがある。

パルミジャーノ・レッジャーノはイタリア原産の超硬質チーズで、世界で最も硬いチーズのひとつである。18～20℃、湿度80～85%の条件下で1～4年かけて熟成させる。前日の製造で得たホエーを温暖な場所に保管したものを天然スターターとして用いるが、カードカッティング後のホエー分離時の温度は57℃のため、この天然スターターは耐熱性の乳酸菌が優勢である。

ペコリーノ・ロマーノは、熟成開始時に濃厚な食塩水で表面全体を洗ったのち、熟成期間中は周期的にオリーブオイルを塗りつけるが、これは表皮の乾燥を抑えるとともにカビ類の発生を防ぐための手立てである⁸⁾。

7. ブルーチーズにおける微生物の関わり

熟成に関わる主要な微生物が青カビ (*Penicillium roqueforti*) のチーズで、ロックフォール、スティルトン、ゴルゴンゾーラそしてダナブルーなどが有名である。

ポディーが軟らかめのブルーチーズとして有名なゴルゴンゾーラは、スターター乳酸菌と同時に青カビ (*Penicillium glaucum*：胞子の粉末) を添加し、9～11℃で湿度80～85%の条件で約4週間発酵させ、pHが5.0以下となった時点で、チーズの上面から串を垂直に刺して約2mm径の通気孔を開け（穿孔）、チーズの内面に空気（酸素）を送って青カビ菌糸の拡がりを促す。約5週間目から低温貯蔵（5～7℃、湿度90～95%、1～4カ月）し、食塩を含んだ布巾でチーズ表面を拭きリネンス菌を増殖させると、穿孔が完全に塞がれ青カビの増殖は停止する。なお、*Penicillium glaucum* は *Penicillium roqueforti* と同一菌株で、*glaucum* はラテン語で緑の意味である⁹⁾。

ロックフォールチーズはフランスのロックフォール地方で、羊の生乳と青カビを使って作られるチーズである。羊乳に乳酸菌スターターを加え、レンネット凝固させた後、第2次世界大戦前まではカードをほぐして青カビの粉末をまぶす方法が主流であったが、戦後の工場規模の生産ではレンネット凝固前に青カビの種菌を添加するようになった。いずれにしても型詰め圧搾し表面に塩を擦り込んだのち、青カビの生育に適した環境になった時点（pH4.9以下）

で穿孔し、10℃以下、湿度95%で2～5カ月間熟成させる。穿孔から約1カ月後に錫箔によりラッピングして酸素の供給を断ち、新たな青カビの増殖を抑制する。チーズ内面は青カビの生育により大理石様の模様となるが、この様子を「マーブリング」と言う。また、ピリパリとした刺激味は、青カビが脂肪を分解したことによって生成された成分によるものである。

スティルトンチーズはイギリス原産の青カビチーズで、殺菌した牛乳に乳系スターターを接種し、チェダーチーズの要領でカードを作成したのち、2.2%量の食塩と青カビ種菌の懸濁液を噴霧し、その後、円筒形の型に詰め、プレスして3～6カ月熟成させる。

8. ヤギ乳チーズにおける微生物の関わり

ヤギ乳のカゼインは、牛乳、羊乳のそれと異なるため、レンネットによる凝乳は緩慢で、しかもカゼインの等電点もpH4.2と著しく低いため、スターター乳酸菌を添加した場合でも酸凝固まで2昼夜かかる。

ヤギ乳チーズの多くは農家製であり、それらの中にはハーブ入りのオリーブオイルに漬けたものもある。オリーブオイルに漬けるのは、チーズにハーブの香りを加味する意味もあるが、青カビの生育を抑制するためである。

なお、上述のように、同じ目的で超硬質チーズのペコリーノ・ロマーノの表面にオリーブオイルを塗布する。

II. バターと微生物

バターの製造工程を図2に示した。わが国では、ほとんどの市販バターは甘性バター(発酵させない)である。しかし、牧畜文化圏では、上述のように搾乳した生乳を室温に1昼夜程度放置して、上層に形成されたクリーム層をすくいにとってバターを製造していた。その名残で、現在でも図2の原料クリーム殺菌冷却後に乳酸菌を接種して発酵バターを製造しており、この地域では発酵バターの割合が高い。この発酵に用いる乳酸菌は *L. diacetylactis* が代表的なもので、ジアセチルやアセトインなどが生成されバター臭(発酵臭)が付与される。しかし、わが国ではヨーグルトのアセトアルデヒドの方が発酵臭とし

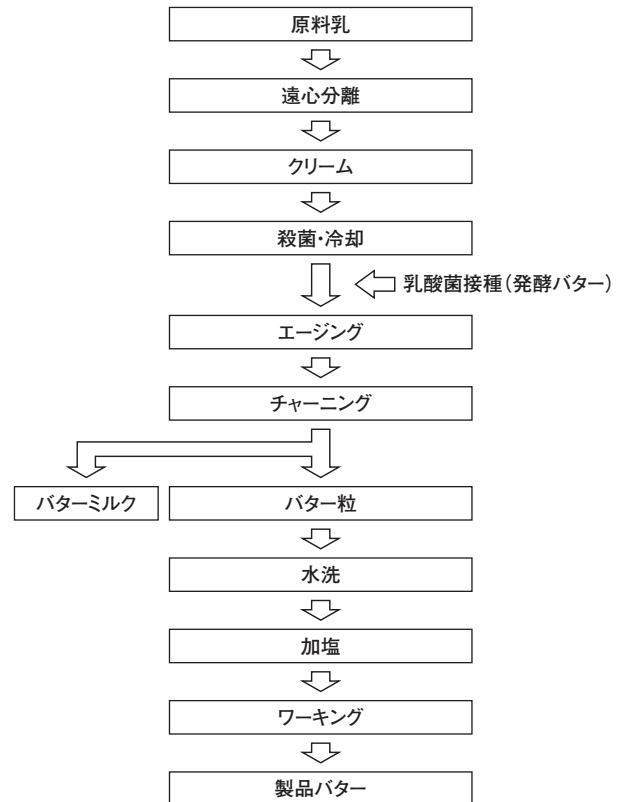


図2 バター製造の主な工程

て好まれる傾向があるため、発酵バターの需要は非常に低い。

バターは80%以上が脂肪であること、水相が微細な水滴となって分散していること、有塩バターでは水相の食塩濃度が約10%であることなどから、微生物の生育は抑制される。しかし、保存温度が高かったりすると、カビが発生して衛生上大きな問題となる¹⁰⁾。

なお、戦前のわが国ではバター粒の水洗に井戸水を用いており、この井戸水由来の低温細菌(*Pseudomonas*属)による汚染事例があったと言われている。

おわりに

チーズとバターにおける微生物の関わりについて、まず、チーズと微生物の関係について調べ始めたところ、多くのチーズがバター作りの副産物であることを再認識した。遠心力によって瞬時にバター用原料クリームを入手可能となるまでは、搾乳した生乳を室温に静置して、「スキミング」という方法で上層に出現したクリーム層をすくいと取り、このクリーム層からバターを製造したのである。したがっ

て、エダムを始め多くのチーズは、このスキミング後のいわば「あまりもの」の有効利用という位置づけなのかもしれない。しかし、牧畜民族にとって、その生産物を、例えば血液ソーセージしかり、血の一滴まで無駄にすることなく利用するという考えに基づけば、スキミングした残りを有効利用することなど至極当然のことなのであろう。

カマンベールチーズ用のポプラ材製の容器、ロックフォールチーズの青カビの生育を制御するための錫箔包装など、チーズ熟成課程への微生物の関わりを制御する手立ては非常に興味深いものであった。

文 献

- 1) 伊藤敏敏. ミルク 至高の食品がわかる. 東京：ヒューマンウイングス LLP; 2007. 125-137.
- 2) 磯川まどか. フロマージュ 上手にチーズを選ぶために. 東京：柴田書店; 2000. 34.
- 3) 泉圭一郎. チーズ・その伝統と背景. 東京：サイエンティスト社; 2002. 65-66.
- 4) 増井和子, 山田友子, 本間るみ子ほか. チーズ図鑑. 東京：文芸春秋; 1993. 156.
- 5) 泉圭一郎. チーズ・その伝統と背景. 東京：サイエンティスト社; 2002. 86.
- 6) 磯川まどか. フロマージュ 上手にチーズを選ぶために. 東京：柴田書店; 2000. 157.
- 7) 泉圭一郎. チーズ・その伝統と背景. 東京：サイエンティスト社; 2002. 271-272.
- 8) 中江利孝. 世界のチーズ要覧. 東京：三洋出版貿易; 1982; 187~189.
- 9) 泉圭一郎. チーズ・その伝統と背景. 東京：サイエンティスト社; 2002. 341, 406.
- 10) 伊藤大和. ミルクの事典. 東京：朝倉書店(上野川修一, 清水誠, 鈴木英毅ほか編); 2009. 93.