

ナチュラルチーズの製造法

佐々木 正 弘*

(雪印メグミルク株式会社 札幌研究所, 〒065-0043 札幌市東区苗穂町 6-1-1)

Overview of cheese waking

MASAHIRO SASAKI

(MEGMILK SNOWBRAND Co., Ltd Sapporo Research Laboratory, 6-1-1, Naebocho,
Higashi-ku Sapporo-shi, Hokkaido, 065-0043, Japan)

要約

八千年前から製造されていたと推測されるナチュラルチーズは、世界中で1000種類以上あると言われている。一方、各種製造法については、製造工程の原理が共通する部分が多い。本稿では、製造法の定義を出発点として製造工程の原理に基づく分類を試みた。

ナチュラルチーズは、乳たんぱく質を凝固させた凝乳からホエイを除いたもの、または熟成したものと定義されている。原材料は、乳、凝固剤（レンネット）のほか、乳酸菌、食塩が使用されることが多く、カビなどの微生物が使用される場合もある。基本的な製造工程は、標準化、殺菌、乳酸菌・凝固剤添加、凝乳、切断、ホエイ排除、加温、成形・型詰、加塩、熟成、包装であり、その機構の概要が科学的に解明されている。ホエイ排除の方法は、使用する製造器具に影響されるため、この方法の違いを基準として、ホエイ滲出タイプおよびホエイ強制排除タイプ、また、凝固を酸で行う酸凝固タイプ、温湯でカードを練る工程のある混練タイプの4つに分類して概説した。

はじめに

ナチュラルチーズは、様々な家畜の乳から製造されており、古くは8000年前にチグリス・ユーフラテス川流域（現在のイラクの一部）で作られていたと推察されている。その後、ヨーロッパに伝わったナチュラルチーズの製造技術は、18世紀までは各農家が代々受け継いできた技術であり、その工程が科学的に解明されたのは18世紀終わり以降である¹⁾。

ナチュラルチーズの種類は世界中で1000種類以上あると言われている²⁾。ナチュラルチーズの多様な風味と組織は、製造法はもちろん、製造場所の風

土・環境などにも影響されて形成される。このように、地域に特徴的な製造法を守っているチーズには、地理的表示であるGIマークがつけられ、付加価値の高い商品となっている^{※1)}。一方、製造法は、各ナチュラルチーズにおける作業は異なるが、製造工程の原理は共通する部分が多く、体系的に分類することが可能である。

本稿では、ナチュラルチーズの多様性を製造工程の科学的原理に基づき、大きく4つに分類して概説する。なお、対象は、ナチュラルチーズ製造の原理がわかりやすい、工房レベルで行う工程を中心とし、大規模生産に用いられる製造装置による製造法

* Tel : 011-704-2611
E-mail: msasaki@meg-snow.com

※1 GIについては、本号に木村純子氏の解説が掲載されているので参照されたい。

は取り上げない。また、科学的研究が多い西洋型のナチュラルチーズを中心に紹介し、本文中で単にチーズと表記した場合は、ナチュラルチーズを指すものとする。

1. ナチュラルチーズの定義

ナチュラルチーズの定義は、ナチュラルチーズ製造を科学的に考える基礎になるものであり、新しいナチュラルチーズを開発するうえでも必要不可欠な知識である。

日本におけるナチュラルチーズの定義は、食品衛生法の「乳及び乳製品の成分規格等に関する省令（通称乳等省令）」で定められている。その記載部分を表1に示す。基本的な定義は、第2条17に示されており、ナチュラルチーズは、乳（バターミルク、クリームも可）のたんぱく質を凝固剤（酵素など）で凝固させた凝乳からホエイ（乳清）を除いたもの、またはそれをさらに熟成したものである。それを概略すると図1となるが、定義からの製造法は非常に単純なものである。また、異なる製造法であっても、結果として化学的、物理的および官能特性を満たせばナチュラルチーズと分類される。例えば、乳を限外濾過膜などで濃縮して先に水分を取り除いてから凝固させて製造するUFチーズが、その代表例である。

ナチュラルチーズに使用できる添加物は、一般の食品と同様に、食品衛生法で定められている、指定添加物、既存添加物、天然香料、一般飲食物添加物である。

一方、国際的なナチュラルチーズの定義は、FAO/WHO 合同食品規格委員会（Joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, CAC）内の乳・乳製品部会（Codex Committee on Milk and Milk Products, CCMMP）で作成された、Codex General Standard for Cheese（CODEX STAN 283-1978）で定められている。本規格は、CODEX STAN A-6-1973. Adopted in 1973. Revision 1999, Amendments 2006, 2008, 2010, 2013と呼ばれていた。本規格は、FAO（国連食料農業機関）ホーム

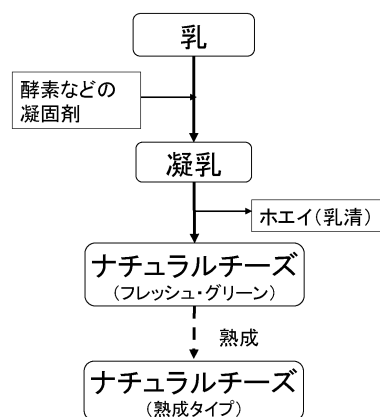


図1 定義に基づくナチュラルチーズ製造の概略図

表1 ナチュラルチーズの定義（乳等省令より）

ナチュラルチーズ（第2条17）	<p>1. 乳^{※1}、バターミルク（バターを製造する際に生じた脂肪粒以外の部分をいう。以下同じ。）、クリーム又はこれらを混合したもののほとんどすべて又は一部のたんぱく質を酵素その他の凝固剤により凝固させた凝乳から乳清の一部を除去したもの又はこれらを熟成したもの。</p> <p>2. 前号に掲げるもののほか、乳等^{※2}を原料として、たんぱく質の凝固作用を含む製造技術を用いて製造したものであつて、同号に掲げるものと同様の化学的、物理的及び官能特性を有するもの。</p>
※1 乳（第2条1）	生乳、牛乳、特別牛乳、生山羊乳、殺菌山羊乳、生めん羊乳、成分調整牛乳、低脂肪牛乳、無脂肪牛乳及び加工乳をいう。
※2 乳等（第1条）	乳及び乳製品 ^{※3} 並びにこれらを主要原料とする食品。
※3 乳製品（第2条12）	クリーム、バター、バターオイル、チーズ、濃縮ホエイ、アイスクリーム類、濃縮乳、脱脂濃縮乳、無糖練乳、無糖脱脂練乳、加糖練乳、加糖脱脂練乳、全粉乳、脱脂粉乳、クリームパウダー、ホエイパウダー、たんぱく質濃縮ホエイパウダー、バターミルクパウダー、加糖粉乳、調製粉乳、発酵乳、乳酸菌飲料（無脂肪固形分三・〇％以上を含むものに限る。）及び乳飲料をいう。

ページ中のコーデックス規格 (Codex Alimentarius) に記載されているが、本規格は、乳等省令の内容とほぼ同じである。なお、コーデックス規格では、カゼインたんぱく質よりもホエイたんぱく質の比率が多い場合、ホエイチーズ (CODEX STAN 284-1971) という規格に分類され、一般のチーズ規格と区別されている。

2. ナチュラルチーズの種類

ナチュラルチーズの定義からすると製造法は単純であるが、ナチュラルチーズは1000種類以上存在

するため、これまでに多くの研究者が、ナチュラルチーズの体系的な分類を提案している。チーズの組織を基準とする方法、乳の凝固方法を基準とする方法、熟成の指標を基準とする方法などである³⁾。

製造法を紹介する前に、本章ではナチュラルチーズの種類を1989年にチーズ&ワインアカデミー東京が初めて紹介し、日本で広く使用されている7つのタイプに分類して説明する。この概略図を図2、各タイプの代表例を図3に示す。

まず、乳の種類により大別される。山羊乳は特徴的な風味をもつため、これを使用したナチュラル

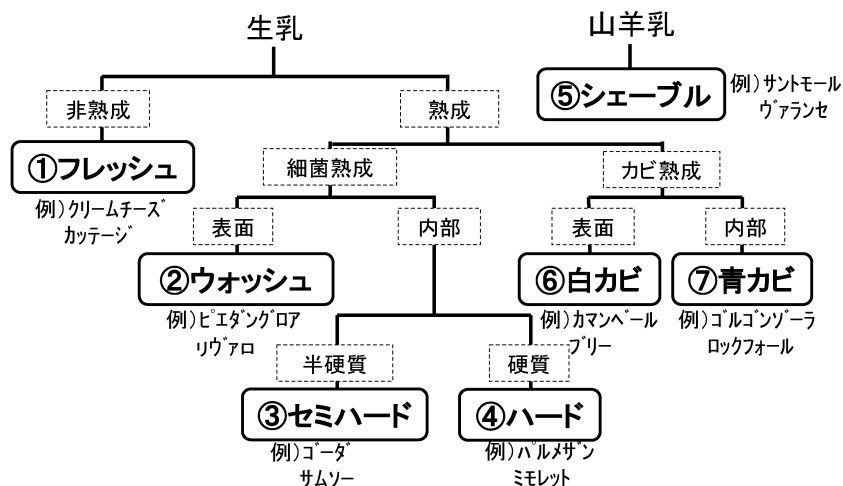


図2 ナチュラルチーズの7つのタイプ

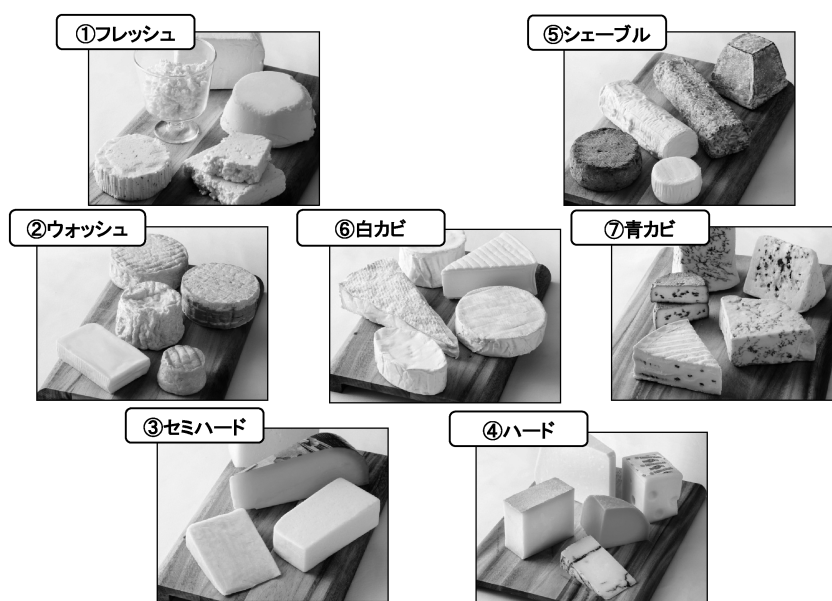


図3 各タイプの代表的なナチュラルチーズ (写真はチェスコ株式会社 HP より引用)

チーズは、シェーブルタイプとして別に取り扱われる。サントモール、ヴァランセなどがその代表例である。

次に、牛の乳（生乳）を使用するナチュラルチーズは、大きく非熟成タイプと熟成タイプに分けられる。非熟成タイプはフレッシュタイプとして分類される。フレッシュタイプは、製成品中水分が高いものが多く、爽やかな酸味のある柔らかな組織をもつチーズが多い。クリームチーズ、カッテージが代表例である。

熟成タイプは、細菌熟成とカビ熟成に分類される。細菌熟成は、主として表面を熟成させるタイプと内部を熟成させるタイプに分けられる。前者はリネンス菌 (*Brevibacterium linens*) などによって表面から熟成したウォッシュタイプであり、硫黄系物質の香りの強いチーズである。ピエダンゴア、リヴァロなどが含まれる。一方、後者は主に乳酸菌による熟成タイプで、さらに水分含量によりセミハードタイプとハードタイプに分類される。両タイプの境界はチーズ中の水分含量38%を目安としている。セミハードタイプはゴダ、サムソー、ハードタイプはパルメザン、ミモレットが代表例である。

カビ熟成は、表面を白カビで熟成させる白カビタイプと内部を青カビで熟成させる青カビタイプに分けられる。白カビタイプは、チーズ表面が白カビ (*Penicillium camemberti* など) で覆われており、白カビのたんぱく質分解酵素がカゼインを分解してアンモニアを生成したり、乳酸菌が生成した乳酸を白カビが資化するためにチーズ組織が軟化している。カマンベール、ブリーがその代表例である。青カビタイプでは、青カビ (*Penicillium roqueforti*) がチーズ内部にマーブル状に繁殖して熟成に関与している。ゴルゴンゾーラ、ロックフォールなどのブルーチーズがその代表である。

3. 原材料およびその役割

ナチュラルチーズの原材料は、ナチュラルチーズの定義からみると、乳（バターミルク、クリームも可）と酵素などの凝固剤の2つである。しかし、

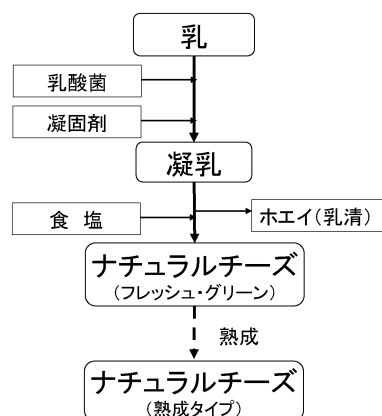


図4 一般的なナチュラルチーズ製造の概略図

これ以外に、ほとんどのナチュラルチーズの製造に乳酸菌が使用されている。さらに、風味形成などの理由により食塩を使用しているナチュラルチーズが多い。そのため、図1の定義に基づく概略図に、乳酸菌と食塩を原材料に加えた図4のような製造法が一般的である。本章では、この原材料について概説する。

3-1 乳

乳はナチュラルチーズを製造する上で、たんぱく質、脂肪、乳糖を供給する最も重要な原材料である。その供給源は、乳牛が最も多いが、世界的には、水牛、山羊、羊などからも多くのナチュラルチーズが製造され、最近では、ラクダ乳から製造されたチーズも中近東で市販されている。また、乳牛の品種によっても生乳の特徴が異なる。つまり、乳牛には、ホルスタイン種、ジャージー種、ブラウンスイス種などがあり、それぞれ、たんぱく質、脂肪、乳糖の組成が異なる。さらに、同じ品種であっても、飼育環境、特に飼料が異なると、たんぱく質、脂肪、乳糖の組成が変化する。例えば、牧草よりも濃厚飼料を多く給餌するほうが、生乳中の脂肪含量が増加する。

生乳中のたんぱく質は、生乳全体の3.4%を占め、主に4種類のカゼインおよび各種ホエイたんぱく質で構成されている。カゼインは、 α_1 カゼイン、 α_2 カゼイン、 β カゼインおよび κ カゼインで構成され、粒子径が約100 nm のミセル構造をとっ

ている⁴⁾。

ミセル構造の説明としては、Schmidt が唱えたサブミセルモデル⁵⁾と Holt が唱えたナノクラスターモデル⁶⁾がある。サブミセルモデルは、親水部分を有する κ カゼインが表層に、疎水性の高い、 α_{S1} カゼイン、 α_{S2} カゼインおよび β カゼインが内部に位置するサブミセルという構造をとり、サブミセルがコロイド状リン酸カルシウム (CCP) で結合してミセル構造をとるといふモデルである。一方、ナノクラスターモデルは、サブミセル構造をとらず、核がリン酸カルシウムのナノクラスター (CCP とほぼ同じ) で構成されており、その周りに各カゼインが存在している。青木らの総説では、両モデルの詳細な比較が行われており、海外ではナノクラスターモデルを支持する研究者が主流となっているが、両モデルともナチュラルチーズ製造などの加工中に起こる現象を説明するためには不十分とされている⁷⁾。

ホエイたんぱく質には、 β -ラクトグロブリン、 α -ラクトアルブミン、免疫グロブリン、血清アルブミン、ラクトフェリンなどがある。ホエイたんぱく質は、全たんぱく質の20%程度を占め、カゼインとは異なりカルシウム存在下でも水溶性である。そのため、ホエイ排除の工程でその大部分がカードから流出する。

脂肪は、全体の3.9%程度含まれており、中性脂肪であるトリアシルグリセロールが主成分である。

乳糖は、全体の4.8%程度を占める、乳成分で最も含量の高い固形成分である。乳糖は、グルコースとガラクトースから構成される二糖類であり、乳酸菌が乳酸を生成するための原料物質である。

3-2 乳酸菌

乳酸菌は、製造から熟成終了までの各工程において重要な役割を果たしている。

製造中において乳酸菌は、乳に含まれる乳糖から乳酸を生成してチーズ製造用に含有成分を標準化した乳(以下チーズ乳)の pH を低下させることにより、酸性域に最適 pH があるレンネットの反応を高めて凝乳を促進させる。また、乳酸菌は凝乳後において

もカードの pH を低下させ、シネレシス (カードが収縮し、ホエイを排出させる働き) を高めることにより、カード中のホエイ排除を促進させる。pH が低下するとカードを形成しているカゼインミセルの CCP が溶解し、チーズ物性に影響を与える。このようにチーズ乳に添加される乳酸菌は、乳酸などの酸生成によりチーズ製造を開始させることから、スターターと呼ばれている。

また、乳酸菌は、凝乳から熟成に渡って風味形成に貢献する。凝乳から型詰めまでの工程中においては、乳酸による酸味形成の他に、ジアセチル、アセトイン、アセトアルデヒドなどの香気成分を生成するジアセチルラクチス菌 (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*) のような乳酸菌もスターターとして利用される。また、ゴード、チェダーのような熟成タイプにおいては、乳酸菌のもつたんぱく質分解酵素 (プロテイナーゼおよび各種ペプチダーゼ) が、カゼインからのうま味、甘味、苦味のあるペプチドおよびアミノ酸の生成に関与し、チーズの風味形成に貢献している。特に、ペプチダーゼは、様々な種類のものが数多くの研究者により乳酸菌から発見、同定されている^{8,9)}。

さらに、乳酸菌による pH 低下は、チーズ中の有害菌の生育を抑制する。

乳酸菌は、表 2 に示すように、最適生育温度により、中温性乳酸菌と高温性乳酸菌に大きく分けられる。中温性乳酸菌は、最適生育温度が25~30°C の乳酸菌であり、スターターとしてよく用いられるものは、ラクチス菌およびクレモリス菌の2菌種で構成される O スターター (表 2 中 No. 1, 2)、O スターターの2菌種にジアセチルラクチス菌およびロイコノストック菌を加えた4菌種混合の LD スターター (表 2 中 No. 1~4) がある。また、O スターターにジアセチルラクチス菌を加えた3菌種で構成される D スターター (表 2 中 No. 1~3)、O スターターにロイコノストック菌を加えた3菌種混合の L スターター (表 2 中 No. 1, 2, 4) も市販されており、使用目的によって選択する。例えば、味わい豊かな熟成風味を求める場合は LD タイプ

表2 ナチュラルチーズ製造に使用される基本的な乳酸菌

No.	中温性乳酸菌（最適生育温度25～30℃）	特 徴
1	ラクチス菌 <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	• ホモ発酵であり，乳酸生成能が高い
2	クレモリス菌 <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>cremoris</i>	• ホモ発酵であり，乳酸生成能が高い • アルギニンから NH ₃ を生成する
3	ジアセチルラクチス菌 <i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> biovar. <i>diacetylactis</i>	• ホモ発酵であり，乳酸を生成する • クエン酸を資化し，ジアセチル，アセトイン，アセトアルデヒド，CO ₂ ，酢酸などを生成する
4	ロイコノストック菌 <i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>cremoris</i>	• ヘテロ発酵であり，乳酸以外にエタノール，CO ₂ などを生成する • クエン酸を資化し，ジアセチル，アセトイン，アセトアルデヒド，CO ₂ ，酢酸などを生成する
No.	高温性乳酸菌（最適生育温度40～45℃）	特 徴
5	サーモフィルス菌 <i>Streptococcus thermophilus</i>	• ホモ発酵であり，乳酸を生成する
6	ブルガリクス菌 <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	• ホモ発酵であり，乳酸生成能が非常に高い
7	ヘルベティカス菌 <i>Lactobacillus helveticus</i>	• ホモ発酵であり，乳酸生成能が非常に高い • アミノペプチダーゼ活性が強い

乳酸菌のホモ発酵：ブドウ糖からほとんど乳酸を生成する（80%以上）

乳酸菌のヘテロ発酵：ブドウ糖から乳酸を生成するのは50～80%

を，爽やかな酸味を付与したい場合はOタイプを使用することが多い。

高温性乳酸菌は最適生育温度が40～45℃の乳酸菌であり，スターターとして用いられるものは，表2中のNo. 5～7に示すとおり，サーモフィルス菌，ブルガリクス菌およびヘルベティカス菌である。高温性乳酸菌がスターターとして使用されるチーズは，製造工程で水分をできるだけ排除するため，加温工程の温度を52～55℃にする必要がある，エメンタルおよびパルメザンなどのハードチーズである¹⁰⁾。また，高温性乳酸菌は，カードの温度を60℃付近にして温湯で練る混練工程のあるバスタフィラータタイプでも使用される。

一方，酸生成の目的以外にも，乳酸菌を追加で添加する場合がある。このような乳酸菌は，アジャクスターターと呼ばれ，主に風味の増強および改良などに用いられる。アジャクスターターの使用は，近年のチーズ製造の近代化に伴ってチーズの風味が淡白になってきていることが大きな理由の一つである。つまり，近年のチーズは，チーズ製造の衛生環境が良くなり，製造環境から混入したと考え

られる，スターター以外の様々な乳酸菌（非スターター乳酸菌，NSLAB）が熟成中に増殖することが少なくなっている。そのため，衛生管理の行き届いた製造環境で製造したチーズは，NSLAB由来の風味が乏しくなっているのである。アジャクスターターは，かつての味わい深い風味のチーズ，または昔ながらの環境で製造されている農家製チーズを，衛生的かつ安定的に製造するために重要な技術でもある。ヘルベティカス菌（表2中のNo. 7）は，うま味などの風味増強として，ゴードおよびチェダーなどに使用されるアジャクスターターの代表例である。

その他，乳酸菌のスターターとともに特別な微生物をアジャクスターターとして添加するナチュラルチーズもある。エメンタル，グリュエールにはプロピオン酸菌（*Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii*）を添加してプロピオン酸による甘味をチーズに付与している。

3-3 凝固剤

乳を固める方法は，大きく3つに分かれる。酵

表3 レンネットの種類

種類	酵素	風味への影響
子牛（カーフ）レンネット	キモシン，ペプシン	少量のペプシンを含むため熟成中のたんぱく質分解にも関与し，複雑な風味を形成する。なお，ペプシン含量が多くなると苦味を生じる
微生物レンネット	カビ（ <i>Rhizomucor miehei</i> ）由来の酸性プロテイナーゼ	凝乳活性を持つが，キモシンに比べると基質特異性が低い（多くの部位を切断することから，子牛レンネットに比べると熟成中に苦味を生じやすい
発酵レンネット	キモシン 大腸菌，酵母，麴カビから発酵生産されている	酵素は100%キモシンであるため，凝乳活性が高く，苦味ペプチドの生成がほとんどない

素剤，酸および熱による凝固である。ここでは酵素剤について説明する。

乳を固める酵素剤はレンネットと呼ばれ，表3に示す3種類が主に使用されている。子牛レンネット（カーフレンネット）は，子牛の第四胃の乾燥物から抽出した酵素剤である。主成分はたんぱく質分解酵素であるキモシンであり，子牛の週齢が高くなるにつれて別のたんぱく質分解酵素であるペプシンの割合が増加する。この割合が20%以上となると，苦味のあるペプチドが熟成中に増加し，チーズの風味に影響する。子牛レンネットは古来から使用されている実績もあり，品質の高い熟成タイプのチーズを製造するために必要と信じられている。なお，BSE（牛海綿状脳症）発生の影響で2004年よりEU産の子牛レンネットは輸入禁止となっており日本では使用できなかったが，2011年に解除となっている。

微生物レンネットは，リゾムコール・ミーハイ（*Rhizomucor miehei*）というカビから抽出された酵素剤で，凝乳活性の本体は酸性プロテイナーゼである。このレンネットは，カビ由来の他のたんぱく質分解酵素も含むため，凝乳活性がやや低く，カゼイン中の他の部位も加水分解するため，子牛レンネットに比べると熟成中に苦味が生じやすい傾向にある。しかし，近年この欠点を改良した微生物レンネットが市販されており，多くのナチュラルチーズで使用されている。

発酵レンネットは，キモシンの遺伝子を酵母，麴菌および大腸菌などの微生物に組み込み，その微生物

を培養することによってキモシンを生産する方法で製造された酵素剤であり，含まれる酵素はキモシンのみである。そのため，凝乳活性が高く，熟成中の苦味を生じにくい。発酵レンネットは，微生物レンネットとともに動物由来ではなく，宗教的問題および動物擁護的批判がないため，欧米各国で幅広く使用されている。

この他，スペインやポルトガルの一部地域では，チョウセンアザミのおしべ由来の植物性レンネットを用いたチーズも製造されている¹¹⁾。

3-4 食塩

多くのナチュラルチーズには，塩化ナトリウムを主体とする食塩が添加されている。食塩は，塩味をチーズに付与して風味を良好にする。また，製造から熟成期間中にかけて，雑菌や有害菌の生育を抑える働きがある。さらに，カード中に残存しているホエイの滲出を促進する働きがある。一方，クワルク，フロマージュブランのような熟成させないフレッシュタイプのチーズには，食塩を添加しないものもある。なお，日本では食塩は添加物ではなく，醤油などと同じく食品として扱われている。

3-5 その他

ナチュラルチーズの種類によっては，乳酸菌以外の微生物を添加することがある。第2章で説明したとおり，ウォッシュタイプではリネンス菌，白カビタイプでは白カビ，青カビタイプでは青カビを添加してそれぞれ特徴のある風味，組織，外観を創出

している。

また、レッドチェダーおよびミモレットのようなオレンジ色のナチュラルチーズには、アナトーというベニノキの種子から抽出した植物由来色素が添加され、心理的なおいしさを演出している。

4. 基本製造工程およびその役割

ナチュラルチーズは、凝乳からホエイをどの程度排除するかによりその製造法が変わる。本稿では、そのホエイ排除の方法に基づいてホエイ滲出タイプおよびホエイ強制排除タイプに大きく分類し、その他、主にスターターの生成する乳酸で凝固させるチーズを酸凝固タイプ、カードを温湯で練る工程のあるチーズを混練タイプ(パスタフィラータタイプ)として別に取り扱おう。その種類別概略図を図5に示すが、本章では、まず各製造工程について概説する。

4-1 標準化

標準化は、ナチュラルチーズの種類により原料乳中の脂肪およびたんぱく質（特にカゼイン）を調整

する工程である。一部のフレッシュチーズを除き、脂肪とたんぱく質含量の組成を決めることができるのは、この工程のみである。この工程により、原料乳の季節変動や乳牛の品種および飼育の差による成分の違いを一定にすることができる。

脂肪およびたんぱく質の調整方法は、原料乳の全部または一部をクリームセパレーター(遠心分離機)で脱脂乳とクリームに分離し、脱脂乳またはクリームを原料乳に加えて行うことが一般的である。例えば、原料乳の脂肪分が3.8%である場合、チーズ乳を脂肪分3.0%に調整するには適量の脱脂乳を加え、チーズ乳を脂肪分4.5%に調整するには適量のクリームを加える。一般的に、ハードチーズなどの長期熟成タイプのチーズは、熟成期間中における脂肪の酸化による風味不良を避けるため、脂肪分を2.0~3.0%としたチーズ乳を使用するが多い。

一方、クリームセパレーターを使用しないで原料乳の脂肪分を低減させる方法として、パルメジャーノレジャーノ^{※2}などで行われている、クリームの自然分離を利用する方法がある。原料乳を殺菌前に冷却なしのタンク(15~30℃)で1晩程度放置す

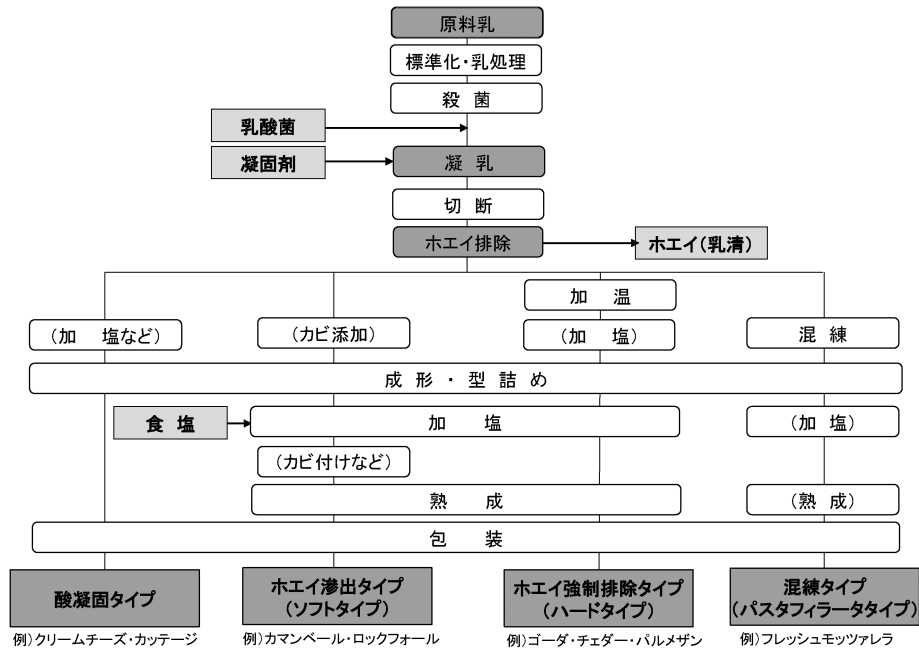


図5 種類別ナチュラルチーズの製造法

※2 本稿では、PDO(原産地呼称保護)であるパルメジャーノレジャーノ(イタリア, 1996年登録)と広く知られているパルメザンを区別している。

ると、自然なクリーミング現象によりクリーム層が上部に集まる。このクリーム層が混入しないように液体部分を回収することにより、脂肪分2~3%のチーズ乳に調整することができる。この方法は、簡便に行える原料乳の脂肪調整法であるが、未殺菌の原料乳を冷却なしで放置するため、有害菌および毒素の検査を行い、品質管理を厳重にすることが必要である。

4-2 乳処理

均質化とは、均質機（ホモゲナイザー）を用いて乳中の脂肪球を微細化する処理である。ナチュラルチーズでは、均質処理をしないことが一般的だが、目的に応じて均質化する場合もある。

Davis は、Marquardt が実施した実験結果¹²⁾を引用し、乳に2500~4500 psi (176~317 kgf/cm²) で均質化を行うと、チーズの組織がなめらかとなり、ホエイ中への脂肪損失が減少することを紹介している。また、乳の均質化は、滑らかさが要求されるクリームチーズ、ブルーチーズ、ソフトタイプのチーズ（カマンベールなど）に有効であり、乳全体を均質化しなくてもクリームだけの均質化で充分としている。一方、高压で均質化すると、カードの弾性が低下してホエイ排除が遅延する。そのため、Davis は、最適な均質圧は500~1000 psi (35.2~70.3 kgf/cm²) の範囲であるとしている¹³⁾。

その後の研究で、ホエイ排除が遅延する（シネレシスの速度が低下する）理由は、微細化した脂肪球がバラカゼインのネットワークに存在することで、そのネットワークの収縮を妨害するためと推察されている。

滑らかさ以外に脂肪酸由来の風味が必要な、ブルーチーズのようなチーズの場合には均質化を行う。これは、均質化により脂肪球が小さくなり、脂肪球の表面積が増大することで水系にあるリパーゼと脂肪の反応が高くなり、その結果、遊離脂肪酸量が増えることを利用している¹⁴⁾。

4-3 殺菌

牛乳などの殺菌条件は、食品衛生法の乳等省令により、「保持式により摂氏63度で30分間加熱殺菌するか、又はこれと同等以上の殺菌効果を有する方法で加熱殺菌すること」と規定されており、ナチュラルチーズに使用する乳も一般的には同条件による加熱殺菌が基本である。保持式（バッチ式）による63°C、30分間の加熱は、低温長時間殺菌（LTLT）と呼ばれ、肺炎を引き起こす肺炎双球菌、Q熱を引き起こすリケッチア（*Coxiella burnetii*）などの公衆衛生細菌を死滅させる条件である。殺菌プレート機などによる連続式殺菌の場合は、72°C、15秒で加熱処理する高温短時間殺菌（HTST）を用いる。この殺菌工程により、乳中微生物を最小限とすることによってナチュラルチーズの風味を安定化させることができる。特に重篤な疾患を引き起こすステリア・モノサイトゲネス（*Listeria monocytogenes*）は、2014年からナチュラルチーズ（ソフトおよびセミハードタイプ）1gあたり100個以下と成分規格が乳等省令で厳密に定められている

殺菌条件を厳しくするとさらに乳中の微生物を減少させられるが、レンネットを使用する場合は、90°C、10分以上の加熱殺菌を行うと凝固が困難になる。この理由は、熱に不安定なホエイたんぱく質（ β ラクトグロブリンおよび α ラクトアルブミン）がその殺菌条件により変性し、カゼインミセルの表層に位置する κ -カゼインと結合しやすくなり、 κ -カゼインにおけるレンネット凝固に関わる酵素反応を妨害するためと考えられている。が、未だに詳しい機構は解明されていない。

かつては、すべてのナチュラルチーズが未殺菌の乳から製造されていた。現在でも、ヨーロッパの小さなチーズ工房はもちろん、南ヨーロッパでは、工場生産品のチーズが未殺菌乳から製造されている例がある。スイスエメンタルチーズ、グリュエール、コンテ、バルメジャーノレジャーノおよびグラナパダーノなどである¹⁵⁾。これらの伝統的なチーズは、今でも未殺菌乳を使用することにより、古来からの風味を伝承している。

レンネット凝固を行うナチュラルチーズの場合、超高温殺菌（UHT）などの方法を使用すると凝乳が柔らかくなるため、低温殺菌が一般的である。しかし、衛生面でのメリットを考えると、超高温殺菌した乳からのチーズ製造を試みる研究は少なくない。なお、酸凝固、熱凝固で製造するチーズでは必ずしも低温殺菌は必要ない。酸凝固を行うフレッシュチーズなどは高温殺菌で保存性を高めている。

4-4 乳酸菌・補助剤の添加

殺菌したチーズ乳は、製造温度まで冷却する。製造温度が30℃付近であれば中温性乳酸菌、35℃以上であれば高温性乳酸菌をスターターとして使用するのが基本である。脱脂乳で1晩培養したバルクスターター、または市販のDVSスターターをチーズ乳に添加する。添加量は、製造中におけるpH低下とカード中の水分のバランスを考慮して設定する。例えば、乳酸菌の添加量が過剰な場合には、乳酸生成量が通常よりも増加してカード中のホエイを目標量排出する前にカードpHが低下するため、高水分または酸味の強いチーズとなる。なお、風味形成目的で添加するアジャクトスターターも、スターターと同時期に添加する。

補助剤として、レンネットを添加するチーズには塩化カルシウムを添加する。これは、0.01%程度の塩化カルシウムをチーズ乳に添加すると、レンネット凝固が強固なものになるからである。古くから経験的に知られているこの現象については、次項で説明する。

また、酪酸菌（*Clostridium butyricum*）による風味異常および膨張を防ぐために、熟成タイプのチーズでは、硝酸塩（硝酸ナトリウムまたは硝酸カリウム）を添加することがある。

4-5 凝乳

レンネットを凝固剤として使用すると、弾力のある凝乳が形成される。レンネットは、西洋型の多くのナチュラルチーズで使用されている。レンネットによる凝乳は、レンネット中の凝乳酵素が、乳中で

ミセル構造をとるカゼインのうち、 κ カゼインの親水性部分を切断することでカゼインミセルの疎水性度が高まり、周辺にある脂肪球も一緒に抱き込んで凝集することにより起こる。詳しくは、まず第一段階として、カゼインミセルは、レンネットによる酵素反応により、 κ カゼインの親水性部分のカゼインマクロペプチド（CMP）を遊離して、疎水性度の高いパラカゼインミセルとなる。第二段階として、このパラカゼインミセルが、20℃以上の条件で、疎水結合により凝集する。なお、第二段階は酵素反応ではなく化学反応である。その凝固機構のイメージを図6に示す。また、塩化カルシウムを添加すると、カゼインミセル表面のマイナス電荷がカルシウムイオンで封鎖され、カゼインミセルの疎水性が高まるため、比較的高いpHでも凝固する（図6参照）。

凝乳は、乳酸菌によって生成される乳酸などの有機酸によっても発生する。この酸凝固の機構は、以下のとおりと考えられている。乳酸菌の生産する乳酸などにより乳中のpHが低下するにつれて、カゼインミセルの表面電荷が低下して疎水性度が高まる。これによって凝集する力が増加する。一方、pHが低下するにつれて、CCPが徐々に可溶化し、pH 5.6～5.2になるとCCPが完全に可溶化してカゼインの水和が高まる¹⁶⁾。しかし、疎水性度はカゼインの等電点であるpH 4.6まで増加するため、この領域で酸凝固が発生する。以上のとおり、酸凝固はpH 5.2～4.6の領域で発生する。また、酸凝固は、レンネット凝固に比べて組織がもろい。酸凝固中にCCPを失ったカゼインミセルの構造は不安定になると予想されるが、外観的には酸凝固前のカゼインミセルと大きな相違はない。これは弱い相互作用が働いているためと考えられている¹⁷⁾。

熱による凝固は、 β ラクトグロブリンなどのホエイたんぱく質とカゼインミセルが結合することで生じる。

4-6 切断（カッティング）

本工程は、凝乳をカードナイフで切断すること

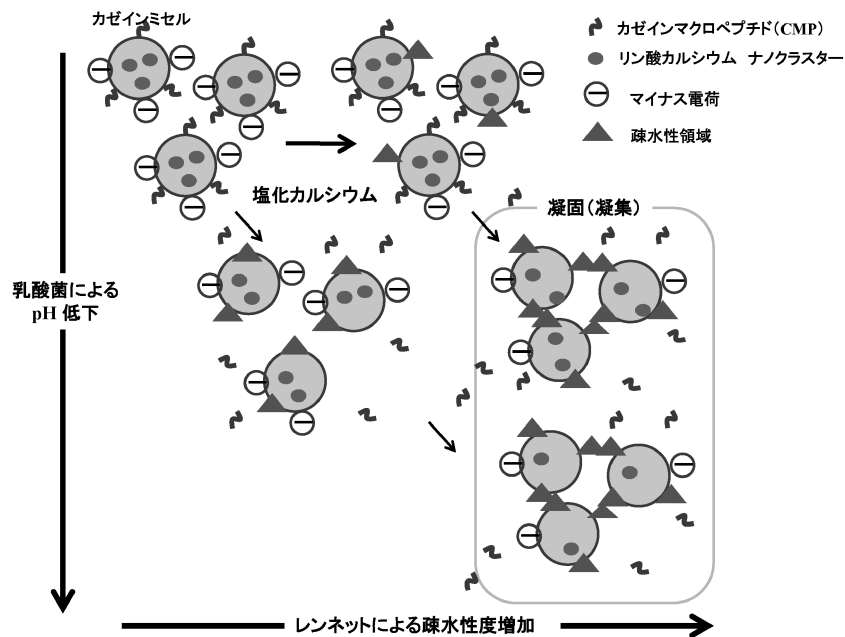


図6 レンネット反応による凝固のイメージ
(堂迫氏による提供の図を一部追記)

で、凝乳の表面から水分（ホエイ）を滲出させるために行う。切断の時期およびサイズによりチーズ中の水分量を制御する重要な工程である。例えば、水分が多く、柔らかいチーズを作る場合は、切断時期を遅らせて硬く凝固させた後に、大きなサイズで切断することで水分をより多く含んだカードができる。一方、水分が少なく、硬いチーズを作る場合は、切断時期を早めて柔らかい凝固状態で切断し、切断サイズを小さくすると水分の少ないカードとなる。なお、切断サイズによってカード中の水分が異なることから、凝乳を同じ大きさに切断することが水分のムラの無い、つまりチーズ組織の一定なチーズを製造するポイントである。

4-7 ホエイ排除

ホエイ排除は凝乳から一定のホエイを排除する工程である。カードの水分量によりナチュラルチーズの風味、組織および外観が決まるため、本工程は、最も重要な作業である。また、排除の方法によって使用する器具も異なる。そのため、ホエイ排除法を3つに分けて説明する。

攪拌法は、カードレーキ（大きなしゃもじ・へら

などでもよい）を用いてサイコロ状に切断された凝乳またはカードを崩さないように攪拌してホエイを排除させる。この凝乳またはカードからホエイを排除するためには、シネレシスの速度を制御する必要がある。この制御因子は、カゼインとカルシウムの濃度、ホエイ pH、加温（クッキング）温度、カード・ホエイ混合物の攪拌速度および時間である¹⁰⁾。この中で、切断から成形・型詰までの工程における制御因子は、ホエイ pH、加温温度および攪拌速度である。例えば、カードからホエイをできるだけ排除したい場合、乳酸菌の酸生成によりホエイ pH を低下させ、加温温度を上げ、攪拌を速く行くと硬いカードとなる。

堆積法は、主にブルーチーズ、ゴードチーズなどの、適度な硬さのナチュラルチーズを製造する際に用いられるホエイ排除法である。この方法は、凝乳を切断・攪拌後にカード粒を集めると、それらが結着してカードの固まりとなり、このカードを保温して pH を低下させて適度にホエイを排除させる。また、堆積法は、カードを結着させて緻密な組織を形成させる働きもある。

カマンベールのようにチーズ組織の柔らかいナチ

ュラルチーズを作る場合、切断した凝乳を攪拌なしで型(フープまたはモールド)に移し、型の中でカードの自重および pH 低下で発生するシネレシスによりホエイを滲出させる方法がある。型に入ったカードの天地を反対にする、反転と呼ばれる作業を繰り返す、カード中水分の偏りを防ぎながら徐々にホエイを滲出させる。本稿ではホエイ滲出法と呼ぶこととする。

この他、ホエイ排除としては、カードを攪拌後または堆積後に型詰めし、型に入ったまま荷重をかけてホエイを強制的に排除する方法を圧搾(プレス)という。この作業も、カードの水分の偏りを防ぐために反転・圧搾を数回繰り返す。

4-8 加温(クッキング)

加温(クッキング)は、シネレシスを促進させてホエイ排除を行うための重要な工程であり、80°C程度の熱湯を直接加えたり、ジャケット付チーズバットでは、ジャケットに蒸気または熱湯を加えてジャケット加温を行い、チーズバット内のカード・ホエイの温度を上げる。例えばゴードの場合、凝乳から切断までを30°C前後で行い、加温は30分程度の時間をかけて徐々に37~40°Cまで到達させるのが一般的である。

4-9 混練

混練は、pHが5.2付近になったカードを60~70°Cの温水で練り、プラスチックカードと呼ばれるモチ状の組織を形成する工程である。この工程により、パスタ・フィラータと呼ばれる、モッツァレラ、ストリングチーズなどにみられる特徴的なチーズの組織が形成される。カード pH 5.2 付近は、カゼインミセル中の CCP が溶解する条件である。これによりカゼインミセルの構造が不安定になり、カゼインミセルが疎水結合により連なっているカードも不安定となり、カードに流動性が生じると考えられるが、詳しい機構は分かっていない。

4-10 成形・型詰

ホエイ排除を終えたカードは、モールドまたはフープに入れて型詰めする。パスタ・フィラータタイプのチーズは、丸めたり引き伸ばしたりして球状または棒状に成形する。柔らかなフレッシュチーズは、一般的にカップ容器に充填される。ゴード、チェダーなどの硬いチーズは、型詰めした後も圧搾によりホエイを強制的に排除する。

4-11 加塩

加塩方法には、チーズをブラインと呼ばれる飽和食塩水に型詰め後に漬けて加塩するブライン浸漬法、型詰め後のチーズ表面に食塩を直接塗って加塩する乾塩塗布法、型詰め前の細かいカードに食塩を混合して加塩するドライソルト法がある。ブライン浸漬法はゴード、乾塩塗布法はブルーチーズ、ドライソルト法はチェダーがそれぞれの加塩方法の代表例である。加塩は、シネレシスを促進させ、カード中のホエイを滲出させる。そのため、添加した食塩の一部がホエイとともに流出するため、ドライソルト法では流出量を考慮して食塩を添加する必要がある。

4-12 カビ添加およびカビ付け

青カビタイプのチーズでは、型詰め前に青カビの胞子を添加する。また、型詰め後、青カビの生育に必要な酸素を供給するために、チーズに2~3センチ間隔で貫通した穴を開ける、穿孔という作業を行う。

一方、カビがチーズ表面を覆っている白カビタイプのチーズでは、ブライン加塩後に白カビの胞子を噴霧するカビ付けの工程を行う。リネンス菌がチーズ表面を覆っているウォッシュタイプのチーズでは、リネンス菌を含む食塩水に浸漬する工程を加える。

4-13 熟成

熟成は、熟成タイプのチーズの風味、組織および外観を決定する重要な工程である。カードは、周囲の臭気を吸収しやすいので、臭気を遮断できるブラ

スチックフィルムに包装しない限りは、専用の10～20℃に制御できる冷蔵庫または部屋を設ける必要がある。また、チーズ表面が乾かないように湿度制御できる環境が必要となる。

熟成中は、乳、レンネット、スターターおよびカビ由来の酵素により、乳中のたんぱく質、脂肪、乳糖、乳酸などが分解され、分解物がさらに反応し、呈味・香気を形成する。また、たんぱく質の分解は、チーズ組織にも影響を及ぼす。詳細は、総説^{18~21)}を参考にされたい。

このように、熟成中は複雑な酵素反応によって風味・組織が変化するため、この酵素反応を制御するには熟成温度が重要な因子となる。伝統的には、チェダーは6～8℃、ゴードは12～14℃、パルメジャーノレジャーノは18～20℃、カマンベールは14℃で2週間、4℃で2～4週間などとされているが²²⁾、チーズの呈味・香気バランスを制御できるのであれば、目的に応じて熟成温度を変更することは可能である。

4-14 包装

包装は、製造したナチュラルチーズを消費者に届けるまでの風味、組織および外観を維持する重要な役割をもつ。水分を多く含む、柔らかいチーズはカップ容器などに詰めて包装する。ソフトタイプの柔らかいチーズは、外観、特に形が維持できるような容器に入れて包装する。硬く、形くずれの少ないチーズは、適当な大きさにカットし、プラスチックフィルムで包装する。いずれの包装においても、チーズの品質を維持するために、カビなどの微生物による汚染および光による酸化を防ぐ必要がある。そのために酸素および光を制御することが重要であり、酸素対策には真空包装、脱酸素剤の使用、光対策には遮光性フィルム、外箱などの使用が特に有効である。

5. 種類別ナチュラルチーズの製造法

図5に示すとおり、酸凝固タイプ、ホエイ滲出タイプ、ホエイ強制排除タイプおよび混練タイプ

(パスタフィラータタイプ)に分けて説明する。このように分類した理由は、小規模生産においてホエイ排除の方法が異なると使用する器具が変わるためである。

5-1 酸凝固タイプ

この製造法の特徴は、酸凝固で凝乳させることである。酸凝固の組織は、レンネット凝固に比べてもろく、凝乳切断後の強い攪拌は難しいため、水分を多く含むカードとなる。また、カードpHがカゼインの等電点の4.6付近であり、酸味の強い風味となる。ホエイ排除法は、凝乳を切断して攪拌する方法以外に、不織布などで包んで排出させる懸垂法が用いられる。機械を使用する場合は、連続遠心分離機(クワルクセパレーター、クリームチーズセパレーターなど)でホエイを排除する。代表例は、クリームチーズ、カッテージなどである。なお、酸凝固チーズの回収率を高めるため、通常1/10～1/100という少量のレンネットを添加する場合がある²³⁾。

5-2 ホエイ滲出タイプ

この製造法は、水分を比較的多く含む、組織の柔らかいナチュラルチーズの製造に用いられる。カード中の水分量を多くするため、シネレシスが促進する加温工程は行わない。代表例は、カマンベール、ブルーチーズなどである。例えば、カマンベールの場合、チーズ乳にレンネットを添加して凝乳を生成させ、凝乳をカードナイフで大きく(3cm程度)のサイコロ状に切断してフープに移し、定期的に反転を繰り返してカードの自重とpH低下でホエイを滲出させる。この作業を1晩程度行くと水分を適度に含む、離水の少ないカードとなる。このカードをブライン加塩後、表面を適度に乾燥させてから白カビを接種して3～4週間熟成させるとカマンベールとなる。一方ロックフォールなどのブルーチーズは、カマンベールよりも目標水分値が低いため、切断後の攪拌法および堆積法により、カード中水分を調整する。

5-3 ホエイ強制排除タイプ

この製造法は、組織の硬いチーズに用いられる。また、長期間熟成させるほとんどのチーズがこのタイプに分類される。カード中のホエイを多く排除するために、加温（クッキング）によりシネレンスを促進することに特徴がある。また、凝乳の切断サイズを小さくしたり、攪拌速度（頻度）を高めたり、攪拌時間を長くすることで、カード中のホエイをより多く排除させる。ゴータ、チェダー、パルメザンがこのタイプの代表例である。例えば、ゴータの製造法の概略は次のようになる。乳を殺菌冷却し、乳酸菌を添加後、レンネットを加えて凝乳させる。この凝乳をカードナイフなどで1 cm 角程度のサイコロ状に切断し、攪拌、加温するとホエイが排除されてカードができる。このカードを型に詰め、圧搾によりさらに強制的にホエイを排出させる。このカードをブライン中で加塩を行い、3 ヶ月以上熟成させてゴータが完成する。

5-4 混練タイプ

混練タイプは、混練工程のあるチーズで、フレッシュモッツァレラ、プロボローネなど、発祥はイタリア原産のものがほとんどである。例えば、フレッシュモッツァレラは、加温工程まではホエイ強制排除タイプと同様な製造工程でカードを作成した後、カードを結着させる堆積法を行い、pH 5.2 付近になるまで堆積する。そのカードを混練工程によりモチ状に伸びる工程とした後、少量ずつ引きちぎって球状に成形し、塩水に浸漬して包装する。

おわりに

以上のとおり、ナチュラルチーズの製造法は、ナチュラルチーズが1000種類存在する割には共通部分が多く、その多様性は、使用するスターターおよび微生物、チーズの水分含量、チーズ pH の違いによって形成されている。本稿は、筆者の限られた知識でまとめたため、一部にこの分類に当てはまらないチーズが存在するのはご容赦いただきたい。

TPP11 および EPA の合意結果を受けて、国産

ナチュラルチーズは海外品と真っ向から競争する時代が確実に到来する。近年、日本のチーズ製造者数（チーズ工房を中心として）が増加し、国際コンクールでも優秀な成績を収め、ヨーロッパのチーズと遜色ない評価を受けたチーズ工房も出現し始め、国産ナチュラルチーズ製造技術がレベルアップしている。また、北海道の複数のチーズ工房が製造したチーズを、共同熟成庫でモール温泉水を用いてウォッシュしながら熟成させたラクレットも昨年より発売され、海外でも評判となっている。さらに、農水省も補助事業などにより国産乳製品の競争力強化に向けて支援を行っている。

本稿が、少しでも国産ナチュラルチーズ製造技術のレベルアップに役立つことを願っている。

引用文献

- 1) Scott, R. *Cheesemaking Practice*, Applied Science Publishers Ltd, 1-2 (1981)
- 2) Sandine, W. E. and Elliker, P. R. J. *Agric. Food Chem.* **18**, 557-562 (1970)
- 3) McSweeney, P. L. H., Ottogalli, G. and Fox, P. F. *Cheese*, Fourth Edition: Chemistry, Physics and Microbiology, Elsevier Academic Press, 781-808 (2017)
- 4) Holt, C. *Int. Dairy J.* **60**, 2-13 (2016)
- 5) Schmidt, D. F. *Developments in Dairy Chemistry 1. Proteins*, Elsevier Applied Science Publishers, 61-86 (1982)
- 6) Holt, C. *Adv. Protein Chem.* **43**, 63-151 (1992)
- 7) 青木, 水野, 木村, 堂迫 *Milk Science* **66**, 125-143 (2017)
- 8) Kunji, E. R. S., Mierau, I., Hagting, A., Poolman, B. and Konings, W. N. *Antonie van Leeuwenhoek* **70**, 187-221 (1996)
- 9) Upadhyay, V. K., McSweeney, P. L. H., Magboul, A. A. A. and Fox, P. F. *Cheese*, Third Edition: Chemistry, Physics and Microbiology, Academic Press, 391-433 (2004)

- 10) Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. and McSweeney, P. L. H. *Fundamentals of Cheese Science*, An Aspen Publication, 138–152 (2000)
- 11) 阿久澤 チーズを科学する CPA (チーズプロフェッショナル協会), 49–63 (2016)
- 12) Marquardt, J. C. *Milk Dealer*, Oct., 80 (1929)
- 13) Davis, J. G. *Cheese*, Vol. 1 Basic Technology, Churchill Livingstone, 148–161 (1965)
- 14) Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. and McSweeney, P. L. H. *Fundamentals of Cheese Science*, An Aspen Publication, 169–205 (2000)
- 15) Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. and McSweeney, P. L. H. *Fundamentals of Cheese Science*, An Aspen Publication, 10–18 (2000)
- 16) van Hooydonk, A. C. M., Boerrigter, I. J. and Hagedoom, H. G. *Neth. Milk Dairy J.*, **40**, 281–296 (1986)
- 17) Horne, D. S. *Int. Dairy J.* **9**, 261–268 (1999)
- 18) McSweeney, P. L. H. and Sousa, M. J. *Lait* **80**, 293–324 (2000)
- 19) Hassan, F. A. M., Abd El-Gawad, M. A. M and Enab, A. K. *Research on Precision Instrument and Machinery* **2(2)**, 15–29 (2013)
- 20) 井越 現代チーズ学 (齋藤, 堂迫, 井越編) 食品資材研究会119–135 (2008)
- 21) 井越 チーズを科学する CPA (チーズプロフェッショナル協会), 97–127 (2016)
- 22) Fox, P. F., Cogan, T. M. and Guinee, T. P. *Cheese*, Fourth Edition: Chemistry, Physics and Microbiology, Elsevier Academic Press, 617–641 (2017)
- 23) Lucey, J. A. *Cheese*, Third Edition: Chemistry, Physics and Microbiology, Academic Press, 105–122 (2004)