

チーズの過去、現在、未来

誌名	ミルクサイエンス = Milk science
ISSN	13430289
著者名	田中,穂積
発行元	日本酪農科学会
巻/号	58巻3号
掲載ページ	p. 177-182
発行年月	2009年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ショートレビュー

平成21年度日本酪農科学シンポジウム編

「I. 乳・乳製品の過去・現在・未来」

チーズの過去，現在，未来

田中穂積

(雪印乳業株式会社 チーズ研究所)

1. はじめに

中世期以降，ヨーロッパにおけるチーズ製造は，農家による小規模な家内産業であったが，19世紀後半になると工場での大規模な生産が始まる。この時期，チーズ製造技術を大きく発展させる科学的な研究や技術開発が行なわれ，チーズの製造は“勘から技”に変化を遂げている。

本報告では，チーズの誕生から今日の工業化につながる歴史的発展について概説し，次いでチーズ製造を取り巻く最近の技術と方向性について紹介する。

2. チーズの誕生【紀元前6000年頃～ローマ帝国時代】

チーズは人類が作った最も古い食品のひとつであるが，その起源は人類が野生動物を飼い馴らして家畜とするようになった紀元前6000年頃に遡ると考えられている。

1) 自然発生的な「酸凝固チーズ」

乳を器に入れて暖かいところに置くと，乳が固まり白い柔らかい凝固物となる。この凝固物を「小さな穴の開いた素焼きの鉢」や「目の細かい籠」に入れて，液体(ホエイ)を分離して「酸凝固のチーズ」をつくり，そのまま，または乾燥させて食べていたと考えられている。

もちろん，当時の人々はこのチーズ製造に乳酸菌が関与していることは知らずに「酸凝固チーズ」を作っていたものと思われる。

記録として残るものとしては，紀元前3500年頃にメソポタミアに都市国家をつくったシュメール人の神殿の跡から発見された石版装飾に，チーズのような乳製品を製造している描写が残っている。ご興味のある方は，鶴田文三郎先生の著書「チーズのきた道」のブックカバーをご覧ください¹⁾。この石版装飾は，チーズ製造に関わる“最古の記録”の一つと考えられている。

2) 中近東で偶然に発見された「レンネット凝固チーズ」
凝乳酵素(レンネット)を用いたチーズの発見は，紀

元前1400年頃のアラビアの民話に，その原理をみることができる。『アラビアの商人が，砂漠を横断する長旅に備え，子羊の胃袋で作った水筒に山羊のミルクを入れ出かけました。一日の長旅を終えて，水筒を開けたところ，驚いたことに水筒の中のミルクは“白い塊”と“透明な液体”になっていた。』この民話は，レンネット凝固チーズの製造原理をあまりにも見事に言当てている。そのため，後世につくられたものではないかと疑われたりしているが，中近東を中心とする西アジアで，仔ウシや仔ヒツジの胃袋には，牛乳を凝固させる作用があることが偶然発見され，世界中に伝播していったものと考えられている。

ただし，インド方面に伝わったものは，宗教的な理由から仔ウシレンネットを用いない「植物レンネット凝固チーズ」や「酸凝固・加熱凝固型のチーズ」となり，乾燥地帯である中央アジア・モンゴル方面へ伝わったものは，短期間で乳の栄養成分を回収して，遊牧民が持ち運びできる「酸凝固・加熱濃縮・乾燥型のチーズ」が主流となったものと考えられる。

3) イタリアで技術確立された「レンネット凝固チーズ」

中近東で発見された「レンネット凝固チーズ」は，紀元前1000年頃に，エトルリア人によって，北イタリアのポー河流域に伝えられ，イタリアで技術確立されている。ローマ時代の著述家コルメラ(Columella)は，西暦50年にその著書“De Re Rustica”(農業論)の中で，“高品質のハード系チーズを製造するための要点”，“衛生管理の重要性”について詳しく記載している^{2,3)}。その内容の抜粋を表1に示す。

ローマ時代には，チーズは遠征時の兵士の食糧として持ち運ばれ，兵士が遠征先でチーズを製造したことから，チーズ製造技術はイタリアから欧州全体に広まっていった。

3. チーズ製造技術の継承【中世～19世紀前半】

西暦476年の西ローマ帝国滅亡後は，修道院の中で僧侶たちによってチーズ製造技術が受け継がれ発展を遂げ

表-1 *Columella* のチーズ製造法^{2,3)}

- ① 原料として新鮮な乳を用いる
- ② 凝乳酵素として仔牛や仔山羊レンネットを用いる
(野アザミの花, ニセサフランの種, イチジクの樹液, 青いパイナップルの抽出液も使用できる)
- ③ 乳を入れた桶を暖かい所に置く
- ④ 凝乳を切断した後, 熱湯でシャワーリングする
- ⑤ カードができた後, 籠に移し早くホエイを排除する
- ⑥ ホエイ排除を促進するために, 重石で圧搾する
- ⑦ 暗冷所で清潔な棚板の上で, 塩を振り掛ける
- ⑧ 簀に乗せ, 風や陽の当たらない所に置き乾燥させる

ている。最古のウォッシュタイプと知られるマンステール (munster) が668年に, マロワール (maroilles) が961年に, 白カビタイプのブリー (brie) が14世紀に製造されている。また, フランス革命によりイギリスへ逃亡する途中の牧師から, チーズ製造の指導を受けた農婦が1791年にカマンベール (camembert) を開発したとされている。英国では1540年にチェダー (cheddar), 1750年にスチルトン (stilton) が製造されている。

このように, チーズはその誕生から長い歴史の中, 乳文化圏で, 兵士や僧侶から農夫や農婦へ, そして親から子へ, 子から孫へ, その製造技術が伝承・継承されてきた。微生物学的な知識や科学的な情報が無い時代に, 自然の乳酸菌や動物または植物由来の凝乳酵素を“経験と勘”を頼りに“上手に”使いこなしていた。

例えば, イタリアで1200年頃から作られているパルメジジャー, レッジャーノ (parmigiano reggiano) は, 今でも伝統製法を守り, 一晩かけて乳脂肪を自然分離した脱脂乳に, 前日のホエイを乳酸菌スターターとして添加してチーズを製造している。また, フランスのAOC (Appellation d'origine contrôlée) チーズの多くは, 現在もそれぞれが定めた伝統的な製法で作られている。

4. 工業化と製造技術の進歩【19世紀後半～20世紀前半】

19世紀後半に入り, 英国や米国ではチーズ工場が稼動し始めている。この時期に, チーズの工業化を支える画期的な発明や研究が行なわれ, チーズ製造技術が大きく進歩している。チーズの工業化に貢献した「6つの技術」について概説する。

1) 低温殺菌法の導入 (1870年)

フランスの細菌学者ルイ・パスツール (Louis Pasteur) は, ワインの異常発酵を防ぐために, 50～60℃で数分間加熱することで, ワインの品質を損ねることなくワインを腐らせる有害菌を殺すことができることを発見している。この低温殺菌法が, チーズ分野に広く応用されるようになったのは20世紀に入ってからである

が, 低温殺菌法の導入によりチーズの品質が著しく向上した。

原料乳に入り込む病原菌のなかで, いちばん熱に強い結核菌を殺菌できる条件が, 60℃・10分であったことから, 当時, 余裕をもって63℃・30分間という低温殺菌法が用いられた。その後, 72℃・15秒間も63℃・30分間と同じ殺菌効果があることが証明され, 大規模チーズ工場では72℃・15～30秒間で原料乳を殺菌するようになった。

2) レンネットの商業化 (1870年)

デンマークのクリスチャン・ハンセン (Chr. Hansen) は, レンネット製剤を商業化している。これにより微生物汚染の少ないレンネットの入手が可能となった。また, レンネットの力価を測定し, その力価に合わせて, レンネットの添加量を調整することにより, 所定の時間に, 安定した凝乳をつくることが可能となった。

3) 遠心式クリーム分離機の発明 (1877年)

スウェーデンのデ・ラバル (De Laval) は, 乳脂肪分と無脂乳固形分との比重差を利用し, 遠心力により乳脂肪と脱脂乳に分離する装置を発明した。このクリーム分離機の発明により, 脂肪率を調整した乳を用いて, F/TS (全固形分中脂肪率) が一定のチーズを製造できるようになった。また, 従来, スキミング (脂肪の自然分離) で部分脱脂乳を得ていたが, それに要する時間の短縮と労力の削減を可能にする画期的な発明であった。

4) 乳酸菌の純粋培養スターターの導入 (1890年)

米国のコーン (Conn) とデンマークのストーク (Storch) の研究成果により純粋培養した乳酸菌をスターターとして使用することが可能となった。従来「サワーミルク」や「前日のホエイ」を使用していたが, 純粋培養した乳酸菌スターターを使用することによりチーズの製造工程が安定化し品質が向上した。

5) 「酸度測定方法の導入」(1899年)

英国のロイド (Lloyd) の開発した酸度測定法により, チーズ製造工程を酸度で管理する手法が開発された。酸度で製造工程を管理するレシピ (製造作業表) がつくられ, チーズの品質が安定し, チーズ製造技術を確実に伝承できるようになった³⁾。

6) プロセスチーズの誕生と発展 (1911年)

スイスのゲルバー (Gerber) とステトラー (Stettler) が, 郷土料理のチーズフォンデュをヒントに, 1911年にプロセスチーズの開発に成功している⁴⁾。1850年以降, ヨーロッパではナチュラルチーズの工業化が始まりチーズは過剰生産となっていたが, ナチュラルチーズは一定期間を過ぎると過熟となって風味が低下する。そのような状況の中, 保存性が優れ, 遠距離輸送が可能なプロセスチーズが開発され, 広域でのチーズの販売が可能となった。

5. 現在のチーズ製造技術【20世紀後半～】

20世紀後半に入り、大量のチーズを効率良く生産する連続式の生産システムが開発され、大型のチーズ工場に導入されている。また、その生産システムに対応できるスターター供給技術、レンネット供給技術、風味改良する微生物の活用技術なども合わせて進んでいる。以下に、代表的「5つの技術」の開発と発展について概説する。

1) 連続生産方式の開発

チェダーの連続式生産システムの例として、図1に『連続式チェダーチーズ製造システム』を示す。このシステムでは、まず殺菌乳を「チーズタンク」中で凝固させ、切断、攪拌してカードを作り、隣の「チェダー用カード製造機」に送り込む。チェダー用カード製造機では、最初に大部分のホエイを分離した後、カードは多段式のベルトコンベアで運ばれながら、チェダリングされ、加塩される。その後、カードは成形機に送り込まれ、自重でブロック状に成形されて袋詰される。そして、袋詰されたチーズを真空包装するという一連の製造システムである⁵⁾。この連続式チェダー製造システムは豪州、米国、英国などのチェダー生産国をはじめ、日本にも導入されハード系チーズの製造に用いられている。

図2に、ソフトチーズ用連続式カード製造機を示す。この装置の外観は、大きなベルトコンベアである。その大きな樹脂製のベルトをU字型に変形させて溝をつくり、その溝を複数のステンレス製の隔離板で仕切り、その中で凝乳をつくり、切断し、攪拌してカードを連続的に製造し、型詰する装置である^{6,7)}。この装置は、フランスの大型カマンベール工場をはじめ日本にも導入されソフト系チーズが効率良く生産されている。

2) 乳酸菌スターターの供給技術の発展

世界的な乳酸菌供給会社として、DSM社、DANISCO社、Chr. Hansen社などが知られている。図3に、

乳酸菌スターター供給形態の推移を示す⁹⁾。従来は、DRI-VACと呼ばれる継代培養型で、バルクスターターをつくるために植え継ぎが必要なタイプであった。その後、REDI-SETと呼ばれる一代培養でバルクスターターをつくれるものが開発され普及した。しかし、このREDI-SETは、バルクスターターをつくるための設備として培養タンクが必要であること、バクテリオファージに汚染されるリスクがあることなどから、その後、DVS (Direct Vat Set) と呼ばれる直接チーズバット投入型（濃縮スターターの凍結乾燥品）が開発され、現在主流となっている。

そして、最近では大規模工場向けに、より生産性を高めたEASY-SETと呼ばれるDVSスターターが開発され供給されている。

3) 凝乳酵素製造技術の発展

従来、凝乳酵素は、カーフ（仔ウシ）レンネット（calf rennet）が主流であったが、現在は微生物レンネット（microbial rennet）が主流となっている。また、世界的には、遺伝子組換え技術で生産されたレンネット（recombinant chymosin）が普及している。

表2に、現在供給されているレンネットの種類とチーズの風味への影響を示した。

カーフレンネットは、仔牛の第4胃から抽出するこ

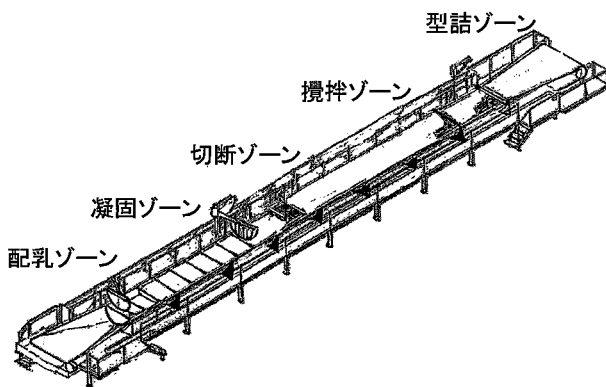


図2 ソフトチーズ用連続式カード製造機

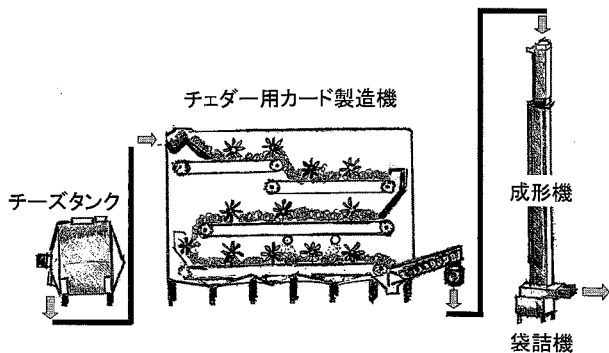


図1 連続式チェダー製造システム

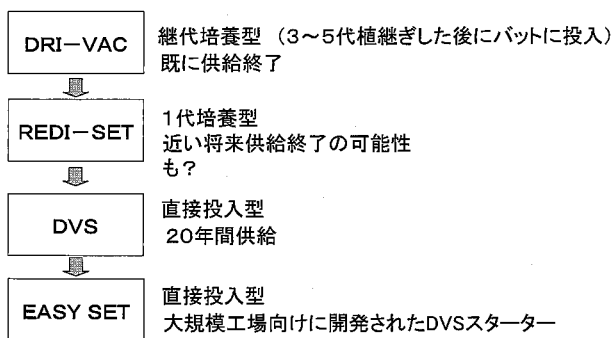


図3 乳酸菌スターター供給技術の発展⁹⁾

とから、凝乳作用のあるキモシン (chymosin) の他に、夾雑酵素であるペプシン (pepsin) などが含まれる。夾雑酵素が多い場合には、チーズに苦味が出やすい傾向がある。

微生物レンネットは、1960年代に開発され販売されているもので、日本でもっとも普及しているレンネットである。微生物レンネットは、リゾムコール・ミイハイ (*Rhizomucor miehei*)、リゾムコール・プシラス (*Rhizomucor pusillus*) などが作る酸性プロテイナーゼであり、凝乳活性を持ちタンパク質分解活性も高いことから、チーズに苦味がやすい欠点があった。しかし、2000年代に入り改良が進み、苦味の発現がより少ないものが供給され使用されている。

1990年代に入り遺伝子組換えレンネットが実用化されている。DSM 社からマキシレン (Maxiren) や Chr. Hansen 社からカイマックス (CHY-MAX) が販売されている。遺伝子組換えレンネットは、キモシン100%

あることから、チーズに苦味が生じにくく、また雑味の少ない風味となる。

2007年時点では、カーフレンネット、微生物レンネット、遺伝子組換えレンネットの世界市場でのマーケットシェアは、それぞれ15%、40%、45%となっている。世界では確実に、微生物レンネット、遺伝子組換えレンネットを評価しており、将来的には、レンネットの選択枝もこの2つになる可能性があると言われている⁷⁾。

4) 膜利用によるチーズ製造システムの開発

限外濾過 (Ultrafiltration) を活用したチーズ製造システムとして、1969年にフランスの国立農学研究所 (INRA) などによって開発された、白カビ系チーズを連続的に製造できる M. M. V. System を図4に示す。図の左側は、従来の伝統的な製造工程であり、牛乳をチーズバットに入れ、乳酸菌、レンネットを添加して、凝乳をつくり、型 (モールド) にカードを分注してチーズを作る製法である。

一方、右側が、M. M. V. システムを活用した製造工程である。牛乳を限外濾過で5倍に濃縮した後、濃縮液 (リテンテート) にレンネットを添加し、そのまま容器に充填し、凝固させるシステムである。両者の比較をすると M. M. V システムの方が、ファインカード (微細カード) の発生がない、ホエイタンパク質を製品に取り込める、製品重量を一定にできる、チーズバットなどの大きな設備が不要などのメリットがある⁸⁾。図5に、このシステムを用いて製造されているフランスのギオートー (GUILLOTEAU) 社製の“パヴェダフィノァ”と呼ばれる白カビタイプのチーズを示す。このチーズは日本でも購入できる。

表-2 レンネットの種類と風味への影響

タイプ	酵素名	風味への影響
仔ウシレンネット (Calf rennet)	キモシン, ペプシン	ペプシン含量が多い (10~20%) 場合、苦味を生じやすい
微生物レンネット (Microbial rennet)	<i>Rhizomucor miehei</i> などの酸性プロテイナーゼ	凝乳活性を持つが、熟成中キモシンと異なる部位も切断することから、仔ウシレンネットに比べ苦味がやすい
遺伝子組換えレンネット (Recombinant chymosin)	キモシン	キモシン100%であることから苦味を生じにくく、雑味のない風味となる

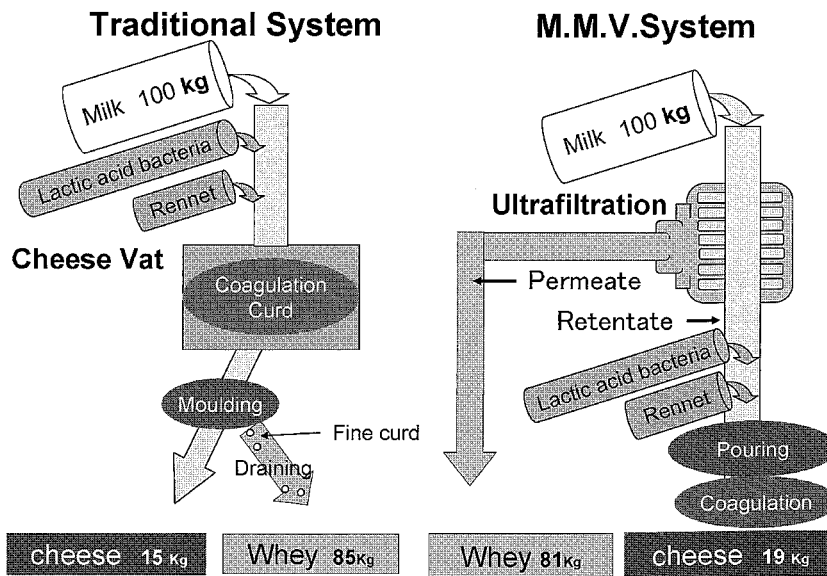


図4 UF膜利用によるチーズ製造システム

パヴェダフィノア (Pave d' Affinois)

形状:角盤状 (6cm×6cm, h:5cm, w:150g)

F/TS:45%

熟成:最低2週間

原産国:フランス

乳種:牛乳(殺菌乳)



図5 M. M. V. System で生産されたチーズ

表-3 熟成促進用アジャンクトカルチャー

使用菌株	主な効果
<i>Lactococcus</i> 属の菌株	フレーバー強化, 苦味低減
<i>Lactobacillus</i> 属の菌株	
<i>Lb. helveticus</i>	フレーバー強化, 苦味低減
<i>Lb. helveticus</i> <i>Lb. acidophilus</i>	ナッティー様, スウィート様, ミート様のフレーバー付与
<i>Propionic acid bacteria</i>	ナッティー様, スウィート様のフレーバー付与

5) 熟成促進と風味改良技術の発展

最近の技術として、アジャンクトカルチャー (adjunct cultures) と呼ばれるものが開発され、乳酸菌供給会社から販売されている。これは、非スターター乳酸菌 (non-starter lactic acid bacteria) を活用して、チーズの熟成促進や風味改良を行なう技術である。

表3に熟成促進用のカルチャーを示す。半硬質または硬質チーズ用として開発された、高いアミノ酸分解活性を有する特異的な *Lactococcus* 菌株または *Lactobacillus* 菌株が含まれているカルチャーには、「好ましいフレーバーの強化」と「苦味低減」が期待できる。

チーズメーカー各社では、他社と差別化できる風味を持つナチュラルチーズを製造する手段として、独自の菌株を所有するなど、積極的な「アジャンクトカルチャー」の活用が進められている。

6. 今後求められるチーズ関連研究と技術

世界的には、これまでの多くの研究者や技術者の研究、発明、技術により、高品質なチーズを効率良く造る生産システムが構築されてきた。そして、日本の酪農地帯である北海道にも“連続式生産システム”などが導入され、この数年で、年間7万トン近い国産ナチュラルチーズを生産できる体制が整えられた。

また、“アジャンクトカルチャーを用いた日本人の嗜

好に合った美味しいチーズの開発”、“チーズの栄養、健康機能の高さ”などにより、チーズは日本人にとって身近な食品になりつつある。

このように、国産ナチュラルチーズは、日本の酪農・乳業の発展のためにも重要なアイテムであり、これから迎える日本の高齢化社会に向け、健康機能を持つチーズは注目度の高いアイテムである。

今後は、日本でも産・官・学が一体となって、“チーズが持つ健康機能の研究”や“高品質チーズで、美味しいチーズを製造するための技術開発”が一層、推進されることが期待される。

1) チーズが持つ健康機能の研究

チーズには牛乳中の乳糖を除く主要な栄養素が濃縮されているばかりでなく、様々なペプチド、アミノ酸、脂肪酸、さらには乳酸菌が産生する重要な成分(ビタミンK2など)も含まれている。

チーズがもつ優れた機能性として「骨の健康増進」や「虫歯予防」, 「メタボリックシンドロームの予防」などが挙げられ、そのメカニズムの研究が進められている。長年食べ続けてきたチーズが人間の健康維持に有用であることを、科学的に検証していくために、今後は、産・官・学が共同で「大規模介入試験」や「前向きコホート研究」を実施して、日本人に対するチーズがもつ優れた健康機能性を証明し、その機能のメカニズムを解明することが重要と考えられる。

2) 高品質で美味しいチーズを効率よく製造する技術開発

従来、高品質で美味しいチーズを、効率よく製造するために多くの研究開発や技術の構築が進められてきた。

しかし、いまだに、原料乳由来の細菌や酵素によって、チーズの風味不良や品質不良を起こす場合がある。対策として、単に原料乳の殺菌温度を高めるだけでは、レンネット凝固不良やシネレシス不良により高水分のチーズになってしまう。

日本人が求める高品質で美味しいチーズを製造するためには、“加熱時における「カゼインミセル(κ -カゼイン)」と「ホエイタンパク質(β -ラクトグロブリン)」の相互作用”など、チーズ製造技術の基本となる「乳の研究」が、さらに推進されることが必要と考えられる。

参考文献

- 1) 鶴田文三郎: チーズのきた道, 河出書房新社, 1977.
- 2) J. G. Davis: Cheese Volume I, J. & A. Churchill, London, 1965.
- 3) R. Scott: Cheese Making Practice, Applied Science Publishers, London, 1981.

- 4) Berger, W. et al.: Processed cheese manufacture A JOHA Guide (BK Ladenburg GmbH), Bransdruck GmbH, 1998.
- 5) B. Gosta: Dairy Processing Handbook, TetraPak Processing Systems AB, 1995.
- 6) 伊藤肇躬: 乳製品製造学, 光琳, 2004.
- 7) 齋藤忠夫, 堂迫俊一, 井越敬司編: 現代チーズ学, 食品資材研究会, 2008.
- 8) A. Eck: Cheesemaking, Techniqueet Documentation-Lavoisier, 1987.
- 9) Chr. Hansen 社技術資料