



原料乳のホモジナイズ処理から 新しいチーズのかたちを探る

酪農学園大学 農食環境学群 准教授 栃原 孝志
酪農学園大学 農食環境学群 教授 金田 勇
北海道大学大学院 工学研究院 教授 大沼 正人

【要約】

食文化としてのチーズは約8000年の伝統があり、世界各地でその地域風土に合ったアイテムが開発されてきた。伝統に裏打ちされた製法を守ることは大変重要であるが、新しいチーズアイテムを開発するためには、これまでの伝統を見直し、タブー視されてきた製法を再検証する必要がある。本稿では、品質劣化を招くとされてきた半硬質タイプのチーズ製造工程における原料乳のホモジナイズ処理による影響を検証し、古くて新しいチーズアイテム開発が可能であることを示した。

1 はじめに

チーズは、ウシやヒツジ、ヤギなどの乳あるいは脱脂乳を凝乳酵素（レンネット）などで凝固し、ホエイを分離した食品である。栄養価が高く水分の多い乳を長期的に摂取するためには、古くから水分を除いてタンパク質や脂肪を固体化し、微生物による腐敗を防ぐ必要があった。それがチーズ製造の出発点である。人類が野生動物をならして家畜化した紀元前6000年ごろ、家畜化の発祥地である西アジアにその起源があり^[1-2]、その後、家畜の伝播に伴って東西に広がったと考えられる。東方に伝播したチーズ利用はやがてシルクロードを経て、奈良時代の日本に到達し、古代チーズ「蘇」が製造されるようになったようだが、現在の日本においては、この製法

は伝わっていない。一方、西方に伝播したチーズの製法は、ヨーロッパ、アメリカ大陸を經由し、1875（明治5）年に北海道七重官園（現在の北海道七飯町）において、日本で初めてレンネット凝固によるチーズが製造されるに至った。

本稿では、東西へ伝播したチーズ文化の概略と、今から150年近く前に日本で作られ始めたチーズ製造について、現代における小規模チーズ製造事業者（本稿ではチーズ工房と記す）による生産体制の現状、チーズ製造の概略、さらに本稿の主題である原料乳にホモジナイズ処理を施したチーズの特長について紹介する。

2 チーズ製造文化の伝播

日本へのチーズ製造技術の伝来と、現代のチーズ製造の現状

1875（明治5）年に北海道七重官園において、日本ではじめてレンネット凝固のチーズが製造されてから約150年経った国内チーズ産業は、2022年度では国内チーズ総消費量33万5610トンに対して、国内生産量4万6162トンとなった。国産チーズの割合は14.9%にとどまり、大部分は輸入チーズに頼っている現状がある^[3]。昨今の円安傾向により、輸入チーズから国産チーズへのシフトが起こる可能性もあり、国産チーズの存在感は一層高まる可能性も考えられる。現在、大手乳業メーカーだけでなく、地域に根差したチーズ工房が担う割合が増加している。年間処理生乳量が1000トンに満たないチーズ工房は06年度で106軒程度であったものが、16年度で284軒、20年度では332

軒と、ここ14年で3.1倍となった^[4]。20年度においては、工房数の8割弱がフレッシュタイプ（モッツァレラ、クリームチーズなど）を生産している。これらのチーズの特長は熟成過程を経ず、原料乳の風味と乳酸発酵由来の酸味によるクセのない味わいに仕上がる点である。また、6割弱のチーズ工房がハード・セミハードタイプ（チェダー、ゴーダなど）を生産している。保存性に優れ、熟成による濃厚で深いうまみの味わいが生み出されるのが特長である。工房で製造される「クラフトチーズ（工房チーズ）」には、比較的クセのないチーズを好む日本人向けや、特徴的な風味を好むような欧米からの観光で訪れる外国人向けなどのさまざまなニーズにマッチするものを、適切な原料乳と製造技術力で提供できる小回りの利きやすさが大きな利点であると考えられる。

3 新たなクラフトチーズ開発に向けての試行

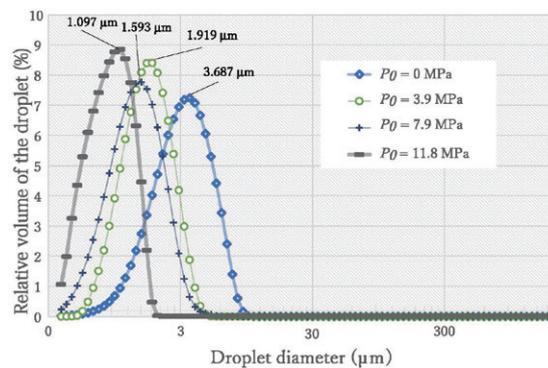
(1) 均質化処理原料乳使用の試行

われわれは、チーズ工房において新たな物性を生み出す、クラフトチーズ作りのために簡便な方法がないか模索し、その手掛かりとして、生乳にホモジナイズ処理^(注1)を施した原料乳でのゴーダチーズ製造を試み、食味特性と物性的変化、ならびにカゼインミセル^(注2)によるネットワーク成長とコロイド状リン酸カルシウムの局在の時間変化を観察した。

まず、生乳のホモジナイズ処理による効果について確認した。本稿で取り上げるホモジ

ナイズ処理で用いる機器は、プランジャーポンプと狭い流路を持つバルブ部で構成される圧力式ホモジナイザーである。サイズダウンする対象は、生乳においては主に脂肪球である。圧力式ホモジナイザーのバルブ間隙の大きさ、バルブ出口における液体の噴流速度とホモジナイズ処理後の脂肪球径との関係については福富らの研究で明らかになっている^[5]。図1はわれわれの実験において、種々の圧力 P_0 でホモジナイズ処理した生乳の脂肪球径分布（体積%）を示したものである。試料は実験当日に搾乳した生乳（酪農学園フィール

図1 ホモジナイズ処理における種々の圧力を設定した際の脂肪球径分布の変化



資料：筆者作成

ド教育研究センター（北海道江別市）産、脂肪率4.28%、無脂乳固形分率8.89%）を60度に加温したものである。ホモジナイズ処理の入口圧力 P_0 を3.9、7.9、および11.8メガパスカルとした。対照試料としてホモジナイズ処理前の生乳を用意し、すべての試料を圧力式ホモジナイザーに1回通過させた。試料を保温状態で速やかにLaser Diffraction Particle Size Analyzer (LS I3 320, Beckman Coulter) に供した。圧力をかけない ($P_0=0$ メガパスカル) で測定した生乳はおおむね0.4 ~ 10マイクロメートルの範囲に分布し、最頻度値は3.687マイクロメートルであった。一方、 $P_0=3.9$ メガパスカル ($\cong 40\text{kgf/cm}^2$) においては、5マイクロメートル以下の範囲に収束し、最頻度値は1.919マイクロメートルとなり、 $P_0=11.8$ メガパスカル ($\cong 120\text{kgf/cm}^2$) においては、それぞれ2マイクロメートル以下、1.097マイクロメートルとなった。

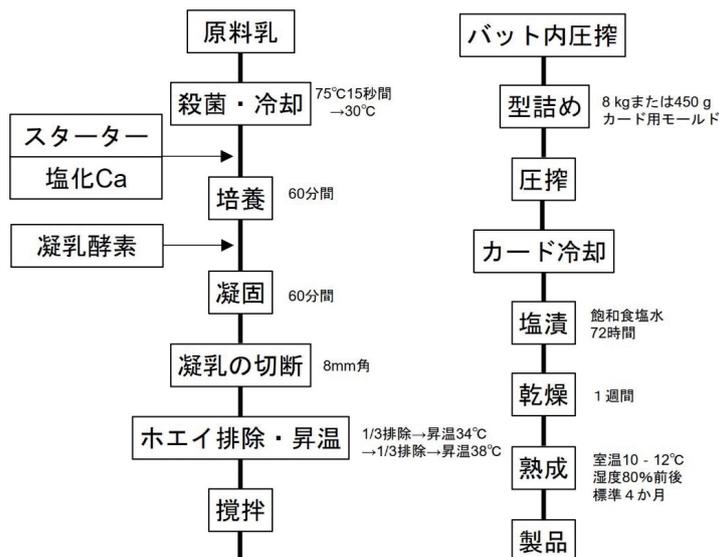
熟成中の脂肪酸分解によるフレーバー発生を促進させる目的でブルーチーズの原料乳のホモジナイズ処理を行う例がある。その場合は脱脂乳とクリーム（脂肪分25%）に分離した後、クリームを均質化し、加熱殺菌前に脱脂乳とクリームを混合する。この際の圧力は一般には5.2 ~ 17メガパスカルである^[6]。

ただし、これ以外にチーズ用の原料乳の均質化活用例は多くはない。理由としては、ホモジナイズ処理が脂肪球をカードへ取り込まれやすくし、ホエイへの脂肪損失が少なくなり、レンネット凝固の時間が延長してカード硬度が低下することから品質の低下を引き起こすことが指摘されている^[7-8]。われわれは、ゴダ原料乳へのホモジナイズ処理によって引き起こされると考えられてきた品質低下について、現在の流通技術によってその進行速度はある程度抑えられると考え、あえてホモジナイズ処理によって生み出される物理特性、食味特性の解明に焦点を絞った。

初めに、実験に用いたモデルチーズ（ゴダ）の製造工程について説明する。その詳細については既報^[9]を参照することとし、アウトラインのみ説明する（図2）。

原料乳は酪農学園フィールド教育研究センターにおいて前々日午後から当日朝にかけて生産されたホルスタイン種生乳を使用し、乳製品製造場に受け入れ後、直ちにろ過した。プレート式熱交換器で60度まで予備加温し、均質機を通過させ（圧力は特に断りのない限り、 $P_0=3.9$ メガパスカル）、その後75度15秒間殺菌の後、30度まで冷却してチーズバットに投入した。この原料乳の処理において、脂肪分の標準化は行っていない。冷却した殺菌乳に4種混合乳酸菌スターター（CH-N11、クリスチャンハンセン社）培養液を加え培養した。塩化カルシウムおよび液体レンネットNATUREN（クリスチャンハンセン社）を加えて凝固させた凝乳をカードナイフで切断し、攪拌、ホエイ排除と加温を行いながら38度まで温度を上昇させた。カード粒が適度な硬さ（掌中で握り、手を開いて軽くほぐした際に、結着するようなかた粒が見られなくなるまで）になるまで攪拌を継続

図2 ゴーダ製造工程の概略



資料：引用文献 [9] を一部改変

し、その後カード粒をバット内で圧搾し、モールドに充填して圧搾を数時間継続した。モールドのサイズは実験に応じて使い分けた。翌日まで冷水でカードを冷却し、その後飽和食塩水に一定期間浸漬して、熟成庫（室温10～12度、湿度80%）内で乾燥・熟成を行った。熟成期間中、必要に応じてサンプリングして一般成分分析などに供した。このチーズは熟成終了後までフィルムでの被覆を行わなかった（写真1）。カードが形成されて間がなく、塩水に浸漬されていたので表面が白っぽく見えるが、時間経過に伴い熟成が進行すると表面が褐色を帯びてくる。なお、硬質系チーズの製法には原料乳をホモジナイズ処理するということは一般には認識されていないので、^[10]これ以降は前述のゴーダの製法に基づき調製したチーズをモデルチーズと称する。



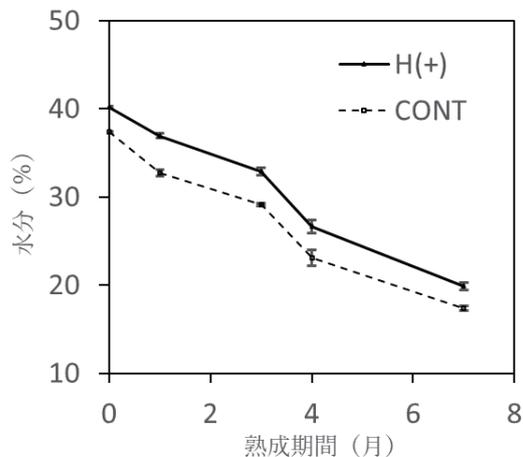
写真1 乾燥初期のモデルチーズ（ゴーダ）

(注1) 液体に分散する不溶物質のサイズを物理的衝撃によって小さくすること。
 (注2) カゼインの分子が集合して形成したコロイド粒子。

(2) ホモジナイズ処理原料乳で作成したモデルチーズの水分分析

図3には、熟成期間中のモデルチーズ（原料乳にホモジナイズ処理を施した/施していないもの）の水分量を示した。モデルチーズの測定方法は常圧加熱乾燥法を用いた。実際はホモジナイズ処理を施した原料乳で調製し

図3 熟成期間におけるモデルチーズ水分の推移



資料：筆者作成

注1：熟成期間は0～7カ月。

注2：n=3。

たモデルチーズの水分（%）、点線はホモジナイズ未処理のモデルチーズの水分を表す。エラーバーは標準偏差を示す。水分は熟成開始当初（0カ月）からホモジナイズ処理原料乳のモデルチーズが3%程度高い値を示し、熟成期間中はその傾向が継続した。

(3) ホモジナイズ処理原料乳で作成したモデルチーズの色差測定と食味検査

牛乳にホモジナイズ処理を施すと脂肪球は細分化され、脂肪球径は減少する。UHT（超高温瞬間殺菌）牛乳に関しては、均質圧力を高めることによって、乳の白色度や屈折率が高まることから知られている^[11]。ホモジナイズ処理によって、乳中に分散する脂肪球は個体当たりの体積は減少しつつも、個数は増大することからより白くなるものと思われる。ホモジナイズ処理の有無によるモデルチーズの色差測定を行ったところ、ホモジナイズ処理したモデルチーズは他方に比べ、L*（明度）が有意に高値（ $p < 0.05$ ）であった。また同様にa*（赤み↔緑み）では赤みが、b*（黄み↔青み）ではホモジナイズ処理しない原料乳で調製したモデルチーズの方が黄みの傾向が強いことも分かった。写真2に示すように、ホモジナイズ処理をした方がやや明るい色合いであることがわかる。なお、これら試料はいずれも熟成6カ月のものであり、この試料と同じロットの試料の色味を色差計で測定した。

ホモジナイズ処理の効果が熟成後のモデルチーズに食味評価に影響するか、大学生を対象に官能評価を行った（図4）。被験者は31人（男性13人、女性18人）であり、平均年齢は 21.2 ± 1.3 歳であった。エラーバーは標準偏差を表す。検査項目は「風味」「硬さ」「な

めらかさ」「好き嫌い」の4項目とした。ホモジナイズ処理を施さない原料乳で調製したモデルチーズに対して、処理を施した原料乳で調製したそれに対する評価を±2点の範囲で被験者が採点する評価法を採用し、結果を対応のあるt検定、Wilcoxonの符号付き順位検定を採用し、集計分析を行った。結果は、風味については両者ともに評価点においては、有意な差は認められなかった。硬さはホモジナイズ処理原料乳を用いたモデルチーズが有意に低い値（ $p < 0.01$ ）であり、反対に、なめらかさは有意に高い値（ $p < 0.01$ ）となった。好き嫌い、すなわち総合的な評価においては有意に高い値（ $p < 0.01$ ）となった。好き嫌いの総合的な評価では、被験者の中でマイナスの評価（すなわち、ホモジナイズ未処理モデルチーズを好むと評価したもの）を与えた者が2人にとどまったことは特筆でき

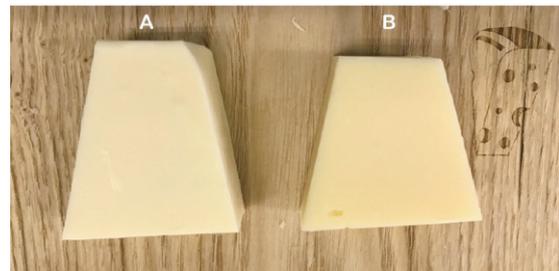
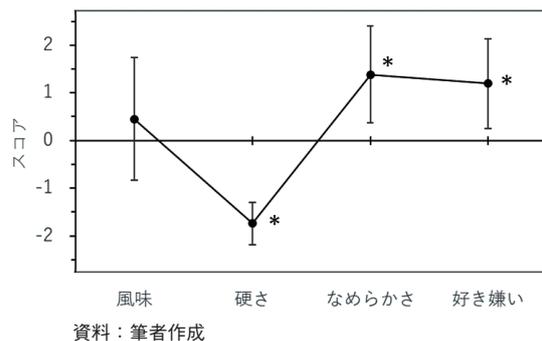


写真2 ホモジナイズ処理した原料乳で調製したモデルチーズ（A）と不処理乳で調製した対照チーズ（B）の色味の比較

図4 原料乳にホモジナイズ処理を施すことによるモデルチーズの官能評価への影響



る。具体的なコメントでは、ホモジナイズ処理のモデルチーズは、「なめらかであり、口の中で溶けて口全体に広がるような感じ」と

いうものや、「市販のプロセスチーズ」に近いという回答があった。

4 結論

生乳にホモジナイズ処理を施したゴーダタイプのモデルチーズを調製し、当初から推定されていたように無処理チーズに比べ水分含量が高いこと、さらにその傾向は熟成期間を通して維持された。また、この水分が高めのチーズは、大学生パネルで官能評価してもらったところ、他方に比べ非常に好まれる傾向にあった。かつて、保存環境が現在より劣っていた時代では、チーズ含水量の高さは品質劣化の大きな原因と考えられた。

しかし、現在の保冷・流通体制においては、

かつて忌避された手段が新たな特性を持ったチーズを生み出す製法として認識される可能性が高い。ホモジナイズ処理にはホモジナイザー（均質機）が必要で、多くの飲用乳製造業者に設置されていると思われるが、チーズ工房では必ずしも設置されているわけではない。このことは大きな課題であるが、卓上小型化したホモジナイザーも市販されており、汎用性の高い機器として認識されてくれば、本製法もチーズ工房において普及することが可能であろう。

5 おわりに

われわれは従来の製法という伝統にとらわれない、むしろタブー視されていた方法にどのような特性が秘められているか、自由な発想で新しいクラフトチーズ開発を検討してきた。本稿については、原料乳に対してホモジナイズ処理するという点でのチーズの諸特性について述べた。わが国では「ザラザラ」や「しっとり」など、食感を表す多くの言葉がある通り、他国に比べて食感を重視する嗜好や文化がある。多くの食品加工の分野では最も重要な要素である「香気成分」や「うまみ成分」については最新の機器分析技術が導入されている。一方、「食感」については力学物性的な評価をいかに食感に結び付けるかの研究が進められているものの、食感を直接支配している各構成成分の微細組織、すなわち「混ぜり方」についての研究は電子顕微鏡観

察に限定されてきた。電子顕微鏡は多くの「混ぜり方」の情報が得られるが、一方では観察試料調製上、水を含む系をそのまま見ることは難しい。そのため、水がない状態は物質の変化過程を継続的に捉えること、例えば熟成などの長期の物質・構造変化を捉えることが難しい。筆者らは原料乳にホモジナイズ処理を施したモデルチーズのレオロジー特性^(注3)については、熟成開始後8週間にわたり動的弾性率と破断強度、周波数依存性を測定することで解析し、特に熟成10日目あたりにチーズ微細構造の変化が起きていることを確認しているが^[12]、示唆されるカゼインミセル構造およびそれらで構成されるネットワーク構造変化については、継続的な観察が必要である。

われわれは、酪農学園大学で調製したモデ

ルチーズを、移動時間1時間圏内にある北海道大学に設置されているモリブデン線源を用いたX線小角散乱装置で、非破壊的にゆっくりした熟成反応をその場で観測（スローオペランド観測）することによって形態変化を解析している^[13-15]。この解析機器は主に鉄鋼材料の構造解析に用いるのであるが、チーズカード調製初期、すなわち熟成初期におけるカードのナノ構造変化を解析することが可能

である^[16]。国産チーズのフロントランナーであるクラフトチーズに食品構造工学の知見を「かける」こと（ナチュラルチーズ × 食品構造工学）で旺盛な国内需要に応え、今後、さらに日本独特の嗜好にも適合し得る新チーズ開発技術が確立できると考える。

（注3）レオロジー（rheology）は物質の流動と変形を扱う科学領域であり、レオロジー特性はその科学領域で得られる物質の特徴（粘度や弾性、ひずみの大きさなど）を指す。

謝 辞

本研究は独立行政法人日本学術振興会（JSPS）科研費JP20H02926の助成を受けたものです。モデルチーズの官能評価については、酪農学園大学食物利用学研究室の宮崎早花講師に多大なご協力を賜りました。加えて、北海道内にある多くのチーズ工房関係者に、本研究遂行に当たって多大なご助言を賜りました。書面をもって厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 大谷元. 1.1 チーズの起源と歴史. 現代チーズ学. pp 3-13. 食品資材研究会. 東京. (2008).
- [2] 平田昌弘. ヒトとミルクの1万年. 岩波書店. 東京. (2014).
- [3] 農林水産省畜産局. 令和4年度チーズの需給業の結果概要. (2023).
- [4] 北村徹弥, 玉井明雄. 国産ナチュラルチーズの現状と都府県チーズ工房などの動向. 参照日: 2023年9月3日, 参照先: 畜産の情報. (2022).
https://www.alic.go.jp/joho-c/joho05_002074.html
- [5] 福富純一郎, 住友尚志, 吉村圭央, 重光亨, 一宮昌司. 圧力式ホモジナイザーの乳化メカニズムに関する研究. 日本機械学会論文集 (B編). 79 (806), 156-166. (2013).
- [6] 足立達. 第7章乳製品の製造と貯蔵. 乳とその加工. pp111-132. 建帛社. 東京. (1997).
- [7] Maxcy, R.B., Price, W.V., Irvine, D.M. Improving curd-forming properties of homogenized milk. J. Dairy Sci., 38 (1), 80-86. (1955).
- [8] Peters, I.I. Cheddar cheese made from pasteurized milk homogenized at various pressures. J. Dairy Sci., 39 (8), 1083-1088. (1956).
- [9] 栃原孝志, 竹田保之. ナチュラルチーズ製造のメカニズム. J. Jpn. Soc. Colour Mater., 91 (6), 179-184. (2018).
- [10] 田中穂積. II. 乳・乳製品各論 3. チーズ. ミルクの事典. pp97-115. 朝倉書店. 東京. (2009).
- [11] 岩附慧二, 松井洋明, 溝田泰達, 外山一吉, 住正宏, 富田守. UHT牛乳の物理化学的性状および官能特性に及ぼす均質圧力の影響. 日本食品科学工学会誌, 48 (2), 126-133. (2001).
- [12] Kaneda, I., Kaneko, S., Tochihara, T., Ohnuma, M. Effect of homogenization treatment of raw milk on the rheological properties of gouda type cheese during the ripening period. Nihon Reorogi Gakkaishi, 51 (2), 55-63. (2023).
- [13] 岡部尚輝, 大沼正人, 金田勇, 栃原孝志. 原料乳へのホモジナイズ処理がゴーダチーズのナノ構造に与える影響. 日本食品科学工学会第68回大会講演集, 68, 144. (2021).
- [14] 大沼正人. 食品ナノ構造の非破壊スローオペランド解析. 参照日: 2023年9月3日, 参照先: ロバスト農林水産工学国際連携研究教育拠点研究シーズ集: <https://robust.eng.hokudai.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2021/03/22-eng.pdf>
- [15] 那須田祐子, 大沼正人, 古坂道弘, 原かおる, 石田倫教. Nanostructure analysis of dairy products. 日本食品科学工学会誌, 67 (6), 186-192. (2020).
- [16] 那須田祐子, 大沼正人, 栃原孝志, 金田勇, 柴田章吾, 原かおる. チーズ作成初期過程のナノ構造変化. 日本食品科学工学会第66回大会講演集, 66, 159. (2019).