

(総説)

牛乳・乳製品の調理性

水谷 令子・西村 亜希子

Cooking Property of Milk and Milk Products

Reiko MIZUTANI and Akiko NISHIMURA

1. はじめに

飲用、調理素材あるいはテーブル用となる乳類・乳製品の種類は多く、良質なタンパク質源として価値の大きい食品である。古くから牛乳やヤギ乳は、栄養価値が高いことから滋養の「保健薬」とされ、高級な食品であった。わが国の乳類の消費量は国民一人当たり年間81kg（平成1年）で⁽¹⁾、昭和5年と比べると実に30倍にもなっているが、欧米諸国に比べると少ない。

万葉時代には、天皇家や貴族の間では牛乳を煮詰めて作る加工濃縮型の乳製品である「蘇」が食されていたという⁽²⁾。また、近年発掘された長屋王の木簡には「乳」の文字もみられる⁽³⁾が乳や乳製品は庶民の口にはいるものではなく、貴重で高級な食品であった。仏教伝来後は、四つ足の獣の肉を食べる習慣がうすれていき、やがて乳は日本の食文化の表舞台から姿を消した。奈良地方の郷土料理に「飛鳥鍋」という牛乳（昔はヤギ乳だったともいわれる）と味噌で味付けした煮汁の中で鶏肉や野菜を煮る鍋料理があるが、近年になってから酪農の進んだ北海道を除いて郷土料理と呼ばれるものに牛乳を使ったものはほとんど見受けられない。これは、日本人が農耕民族であり、農業技術に家畜を伴わなかったということのほかにも宗教的な背景も影響したためと考えられる。

牛乳が庶民の食べ物として注目されるようになったのは、西洋文明が入ってきた明治以降のことである。乳・乳製品は洋風料理や菓子の調理には欠かせない素材である。すなわち、ソースのベース、プディング、アイスクリーム、カスタード、ケーキ、パンなどの主材料や副材料として使われている。乳を原料にして作られるチーズやバターも近年の生活の洋風化の波に乗って食生活を豊かにしてきた。

牛乳を調理科学の面からみれば、興味ある現象が多く、経験的に調理の中で使われてきた。一例をあげると褐変化がある。牛乳を長時間加熱したり、乳製品を長期保存すると褐色に変化する。この変化は一般には好ましくない変化であるが、ビスケット、スポンジケーキ、ホットケーキ、パンなどを調理する際には牛乳やスキムミルクを加えると焼き上がりがよく、焦げ色

がきれいに付く。牛乳が褐変するのは乳糖とタンパク質（主に β -ラクトグロブリン）による化学反応であるアミノカルボニル反応（メイラード反応）でメラノイジンが出来るためである。

また、牛乳に魚やレバーを浸しておくとし臭いにおいを取り除くことが出来る。これはコロイド粒子の表面にさまざまな物質が吸着し易い性質を利用したもので、調理操作の前処理のための乳の利用として知られている。

ここに、わが国における近代の牛乳と乳製品の調理科学的な研究報告を概説し、著者らの私見を述べたい。

2. 牛乳中での野菜の調理

牛乳中でじゃがいもを煮ると水煮の場合よりもじゃがいもが硬くなる。この現象は野菜中のペクチンが牛乳のカルシウムと結合して不溶化したためである。牛乳は、普通に加熱する程度では凝固することはないが、野菜を加えて煮ると牛乳が凝固することがある。ロウ⁽⁴⁾によるとキャベツ、トウジサ、ほうれん草、カリフラワーでは、牛乳は固まらないが、アスパラガス、いんげん豆、えんどう豆、にんじんの場合は固まり、牛乳の凝固は野菜中の有機酸とタンニンに起因し、通常少量の重炭酸ナトリウムを添加することで防止できる。

河村ら^(5~8)による各種野菜の搾汁を牛乳とともに加熱して、その凝固性を調べた一連の研究がある。例えば、キャベツではカルシウムとマグネシウムの含有量の多いものほど牛乳を凝固させ易い。また、煮熟した野菜から搾汁した場合（ペクチナーゼを不活性化した場合）には牛乳の凝固が抑えられる。ほうれん草に含まれるシュウ酸は牛乳の熱凝固を抑制し、ゆでた後に磨碎した野菜では凝固成分が減少するので牛乳の凝固をしにくくする。玉葱の場合は炒めた後に磨碎すると凝固が起こりにくい長時間炒めると逆に凝固し易くなるという。

これらの研究は、牛乳の熱凝固と野菜成分との関連を調べたもので、複合系での実験であるためはっきりした関係は掴めていない。しかし、カルシウム、マグネシウム、鉄イオンで牛乳の凝固が促進され、ペクチンとシュウ酸は凝固を抑制するものと考えられる。また、タンニンや有機酸が多いと牛乳は凝固し易くなるようである。

3. 牛乳を利用したゲルの調理

プディング、ババロア、ブラマンジェ、牛乳羹などの調理では、牛乳は卵、ゼラチン、デンプン、寒天とともに主要な材料となり、これらから作るゲルの性質に影響を及ぼす。

高橋ら⁽⁹⁾はさまざまなでんぷんに牛乳を添加したブラマンジェを作り、アミログラムとレオロメーターを用いてゲルの物性における牛乳添加の影響を検討している。じゃがいもでんぷんでは牛乳添加により糊化開始温度が高くなり、最高粘度は著しく低下した。牛乳の構成成分を個々に検討した結果、カゼインの影響が大きく、油脂とラクトースの影響は僅少であった。し

かし、レオロメーターによる測定では油脂、カゼインともに硬さ、付着性などテクスチャーに影響を及ぼした。

寒天を用いたゲルの場合、牛乳の添加量が多いほど硬さ、もろさが低下する一方凝集性が増し、離漿が減少する。この牛乳羹の安定性、すなわち寒天液の結合力の強さは、牛乳成分のうちカゼインと脂肪が関与していると考えられる⁽¹⁰⁾。

プディングは牛乳と卵を加熱して調理したゲルである。経験上では、牛乳の配合割合が多いときは内部温度の上昇が早く、すだちやすいが、温度管理を適当にすれば軟らかく、きめの細かいプディングが得られる。また、高野ら⁽¹¹⁾は、とうもろこしでんぷんを用いた牛乳ゲルの力学的性状が破断応力、破断エネルギーともに小さいことを報告している。これらの事実から推測すると、カゼイン、脂質などの牛乳成分は、ゲルの構造を形成する網目の足の長さや密度に大きな影響を与えていると考えられる。

4. ソースベースとしての牛乳

牛乳は脂肪球とカゼインミセルが分散したコロイド溶液であり、口触りがよく、コロイド粒子の反射光線が分散されて白く見えるので、ホワイトソースやクリームスープの調理に用い

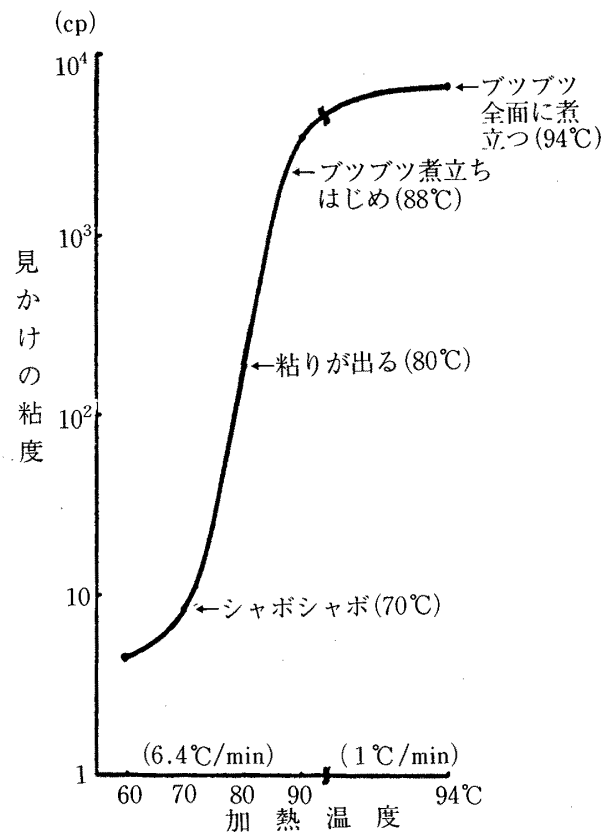


図1 ホワイトソースの加熱過程における粘度変化

120°Cで調製したルーに牛乳を加えて作ったホワイトソースの性状である。煮立ち始めた状態では、まだ沸点に達してはいない。粘稠性を持ったホワイトソースを加熱するには真の温度を見きわめることが重要である。

られる。ホワイトソースの調理上の性質は、主いでんぷんや小麦粉に起因するが、主材料は牛乳であり、牛乳成分との関係も大きいので牛乳の調理として考えてみた。

ホワイトソースの流動特性に関しては中浜ら^(12~14)の研究がある。加熱過程における見かけ上の粘度と観察される性状をみると図1のようで、ホワイトソースは90℃から95℃まで加熱しないとでんぷんが十分糊化されず、舌触りが悪く生っぽいソースになる⁽¹⁵⁾。

赤羽によると、120℃で加熱したルウを80~30℃まで冷まし、それに60℃の牛乳を加えて攪拌すると分散性のよい「ダマ」が少ないホワイトソースを調理することが出来る⁽¹⁵⁾。

ホワイトソースの流動曲線は、チキソトロピー塑性流動性挙動を示し、剛性率は約50dyne/cm²である。剛性率が示されることからホワイトソースはゆるい構造体であると考えられ、最大応力に達するまでは主に弾性体として挙動し、この最大応力を越えるとその構造が破壊され、それに伴って応力が減少する性質をもつ。そして、ホワイトソースを60℃から20℃に冷却すると剛性率、降伏応力がともに増大する⁽¹⁴⁾。

ホワイトソースのアミログラムをみると、牛乳を加えたものは水やブイヨンを加えたものに比べて粘度が著しく高くなり⁽¹⁵⁾、前述のゲルに関する研究と併せて考えると、でんぷんで作られるソースの網目構造の形成や密度に乳成分が大きく影響していると思われる。

5. 乳製品の調理

a. チーズの場合

わが国で市販されているチーズの大部分はプロセスチーズであるが、最近では国産のゴーダ、カマンベール、カテージなどのほかに外国産のナチュラルチーズも市販されるようになった。

プロセスチーズはナチュラルチーズを粉砕し、加熱溶解した後、乳化剤など副材料を添加して乳化し、充填・包装したものである。チーズはオードブルやサンドイッチに使われたりそのまま食べることが多いが、発酵食品独特の風味を生かした菓子やチーズ料理の主材料となるとともに調味料としても用いられる。

高橋ら⁽¹⁶⁾はナチュラルチーズを用いてチーズスフレを作り、チーズを粉砕したときの粒子の大きさ、ホワイトソースへの分散性、チーズの溶け具合などがスフレの風味に与える影響を検討している。それによるとチーズの粉砕された粒子サイズはチーズの水分量、熟度で異なるが、粒子サイズ、溶け易さなどは出来上がったスフレの風味への影響はほとんどない。スフレの風味はチーズの種類と熟度で決まり、ゴーダチーズの5ヵ月熟成したものが最良であり、プロセスチーズから作ったスフレには苦みを感じられたという。

b. クリームの場合

ホイップ用クリームは通常40~50%の脂肪率である。ホイップ用クリームは泡立て後の色調、保形性、オーバーラン（ホイップクリームの容積増加率）、肌の良否がクリームの品質評価の

対象となる。

ホイップ過剰になり安定性を失ったクリームは、脂肪球が凝集してバター状の脂肪層と液状の乳清層とに分離する。

最近、乳脂肪のみからなるクリーム（生クリーム）以外に、乳脂肪を植物油脂で一部あるいは全部置換したクリームが市販されている。松本ら⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾の研究では、生クリームより混合クリームの方がオーバーラン値が高く保形性もよく、最高オーバーランを過ぎた後の転相変化も緩慢であった。また、混合クリームでは操作時の温度上昇の影響が強く表れ、15℃での攪拌ではオーバーランが著しく低下し、泡立つまでの時間は乳脂肪比率が多いものほど短かった。

クリームを泡立てるには、10℃以下がよく、攪拌速度が早すぎても、遅すぎても気泡性が悪くなる。砂糖はある程度攪拌してから加えるとオーバーラン値が高くなる⁽¹⁹⁾。一方、低温で泡立てると脂肪球が凝集し易く、安定度の高い泡となるが、高温の泡立てでは脂肪球皮膜が壊れ泡立ち難くなるだけでなく、出来た泡の安定性も低い。また、過度の攪拌も泡の安定性は低下する⁽²⁰⁾。

野田は⁽²¹⁾はホイップ過程における粘度変化やSEM観察から、ホイップクリームのエマルシ

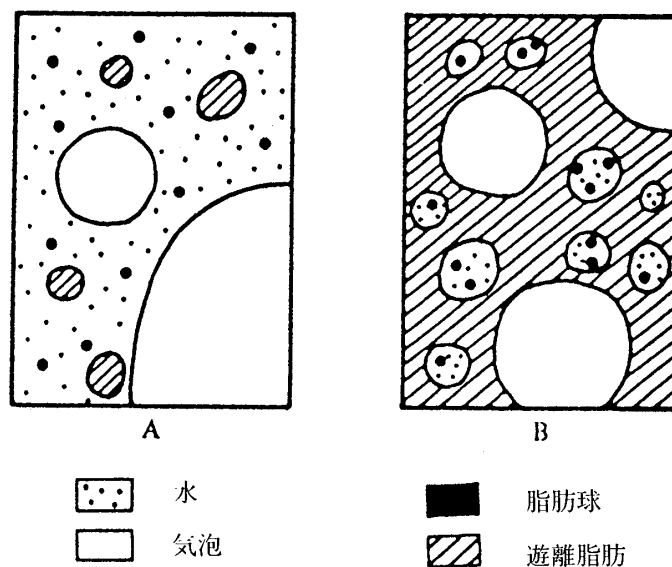


図2 ホイップクリームの分散状態の模式図

AはO/Wエマルション、BはW/Oエマルションで、クリームの物性と構造観察から推測するとホイップされたクリームはAとBの混合系であると考えられる。

ョン型はO/Wの柔構造とW/Oの剛構造の混合型であると考え、図2のようなモデルを示した。ホイップされたクリームでは個々の脂肪球は遊離脂肪により束縛された状態になり、一種の網目構造を形成している。その網目構造はホイップ初期に比べて最大オーバーラン値を示すところで3～4倍に増える。ホイップクリームの保形性には気泡の混入とともに遊離脂肪が大きく寄与する。すなわち、遊離脂肪がバインダーとなり、脂肪球同志が凝集して三次元網目構

造を形成することにより流動性がなくなり保形性が発現するといっている。

6. 終わりに

他の食品には稀なコロイドの形態をとる牛乳は、調理操作においてさまざまな変化を生じる。おいしさは従来の「味」だけで表現されるものではなく、「食感」いわゆるテクスチャーが大きく寄与するが、ゼリーやソースでは牛乳が食品の物理的性状に大きな影響を与えていることは明らかである。しかし、近年の研究報告を振り返ってみると、意外に牛乳・乳製品に関するものが少なく、調理現象を説明する実験においても充分とはいえない。その中で、野田らの研究は、電子顕微鏡を使ったミクロ構造を観察することによって相におけるクリーム of 構造成分とクリームの保形性との関係をよく説明していると思われる。

牛乳・乳製品の調理科学的分野の研究は、香り、凝固といった食品化学的なアプローチと、口触りに関係する食品物性の面からの研究があるが、どちらもまだ未解決な部分が多く、今後の研究が望まれる。

参考文献

- (1) 食糧栄養調査会編, 食料・栄養・健康, p126, 医歯薬出版 (1991)
- (2) 石川寛子編著, 食生活と文化, p42, 弘学出版 (1989)
- (3) 奥村彪生, 調理科学, 24, 67 (1991)
- (4) 木原芳次郎, 松元文子訳, ロウの調理実験, p387, 柴田書店 (1964)
- (5) 河村フジ子, 松崎紀子, 家政誌, 25, 270 (1974)
- (6) 松本睦子ら, 家政誌, 26, 243 (1975)
- (7) 河村フジ子, 松崎紀子, 家政誌, 26, 340 (1975)
- (8) 河村フジ子, 森紀子, 家政誌, 27, 479 (1976)
- (9) 高橋節子, 福場博保, 家政誌, 25, 450 (1974)
- (10) 白木まさ子, 貝沼やす子, 家政誌, 28, 525 (1977)
- (11) 高野美幸ら, 家政誌, 36, 861 (1985)
- (12) 大澤はま子, 中浜信子, 家政誌, 24, 359 (1973)
- (13) 赤羽ひろら, 家政誌, 28, 299 (1977)
- (14) 赤羽ひろら, 家政誌, 30, 845 (1979)
- (15) 川端晶子, 家政誌, 13, 53 (1962)
- (16) 高橋節子, 家政誌, 25, 181 (1974)
- (17) 松本睦子, 河村フジ子, 家政誌, 28, 442 (1977)
- (18) 松本睦子, 河村フジ子, 調理科学, 11, 43 (1978)
- (19) 平野雅子ら, 家政誌, 22, 124 (1971)
- (20) 平野雅子ら, 家政誌, 22, 12 (1971)
- (21) 野田正幸, 食品の物性 第12集, p 195, 食品資材研究会 (1986)