

# チーズ造りと塩類のマリアージュ

齋藤 忠夫

東北大学大学院農学研究科 教授

## 1. はじめに

乳という栄養成分に富み、それが故に多くの微生物の恰好の標的となり傷みやすい食品を、人類は加工することでその保蔵性を高めた。乳を乳酸菌により発酵させたヨーグルト(発酵乳)や長期の熟成も製造工程に含めたチーズなどはその代表例である。

チーズ造りには、さまざまな塩類が関わっているが、その代表的なイオンはカルシウムとリンとナトリウムである。

本日の講演では、チーズの製造工程や食品成分の機能発現の中で、なぜこれらのイオンからなる塩類が大切な働きをしているのかについて概説したい。

## 2. カゼインミセルとリン酸カルシウム

乳はなぜ白く見えるのか？これは、良く出される質問の代表例である。牛乳には約 3.2%のタンパク質が含まれ、pHを4.6まで下げた際に凝固するのが「カゼイン」で、凝固しないホエイ(乳清)中に含まれるのがホエイタンパク質である。カゼインは乳タンパク質の 80%を占める主成分であり、チーズはカゼインから成る。ヨーグルトでは固まっている部分がカゼインであり、チーズでは全タンパク質がカゼインである。乳中では、カゼインは、リン酸カルシウムと共にサブミセルという球状の会合体を作り、これが 1,000 個程集まると、カゼインミセルと呼ばれる巨大な会合体となり乳中に浮遊して存在する。乳中のカルシウムの約 60%は、カゼインミセルの内部でサブミセル同士を架橋している「リン酸カルシウム」として存在している(図 1)。また、残りの約 30%はリン酸塩やクエン酸塩として溶解して存在し、約 10%はイオン状態で乳中に存在している。乳が白く見えるのは、このカゼインミセル(平

均直径 160 nm)が 10 の 14 乗個/mLも乳中で浮遊しているために、入射光が乱反射するためと説明されている。

また、図 1 に示すように、カゼインを構成するアミノ酸の一つであるセリンの一部はリン酸化されており、そこにカルシウムイオンが結合しているのも、カルシウム吸収を高める機構の一つである。この様に、乳のミネラルの最大の特徴は、リンとカルシウムの存在比が「約1:1」である点であり、動物性食品としては非常に珍しい。これはカゼインミセル内のリン酸カルシウム(リンとカルシウムが1:1)の存在形態の比率を反映しているからである。

## 3. チーズの pH とカルシウム保持

ヨーグルトは乳酸菌やビフィズス菌を摂取する食品であるとすれば、チーズはカルシウムを摂る食品と位置付けられる。乳の pH は 6.5-6.7 程度であるが、ヨーグルトでは乳酸菌が増殖し、乳糖を資化して乳酸を作るために、乳の pH は 4.6 のカゼインの等電点に近づき、酸凝固す

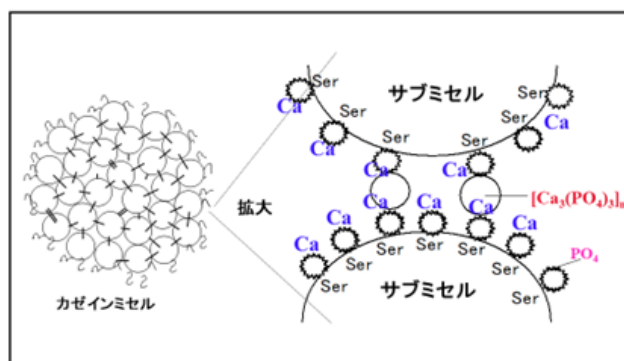


図 1. カゼインミセル中の架橋状リン酸カルシウムの存在形態

る(等電点沈殿)。

ヨーグルト中の全てのカルシウムは液体部分のホエイに溶解しているので、液体部分も利用しないとミネラルの大きな損失に繋がる。

一方、チーズでは、熟成期間中に少しずつ乳酸菌が作り出す乳酸も増えるので pH は減少して行くが、ヨーグルトの様に大きく下がることはなく、乳のカルシウムはほぼ全てがカゼインミセル中に留まり、チーズは極めてカルシウムリッチな食品となる。

#### 4. チーズの製造工程でのカルシウム添加

西洋型のチーズの一般的な製造工程を図 2 に示した。チーズは子牛が乳を摂取した際に、第4胃に存在するレンネット(主成分はキモシンと呼ばれるタンパク質分解酵素:プロテアーゼ)という酵素で乳を固め、消化吸収を高める仕組みをそのまま食品製造に応用したものである。チーズの原料乳を低温で加熱殺菌し、そこにスターター乳酸菌を加え、pH が 6.2 程度まで下がったらカルシウム塩とレンネットを加えて、乳全体を凝固させる(凝乳)。ついで、凝乳を切断し、除々に加温しながらホエイをカードから排除しカードをまとめて型詰めし、圧搾後に加塩して、熟成工程に入るのが通常である。

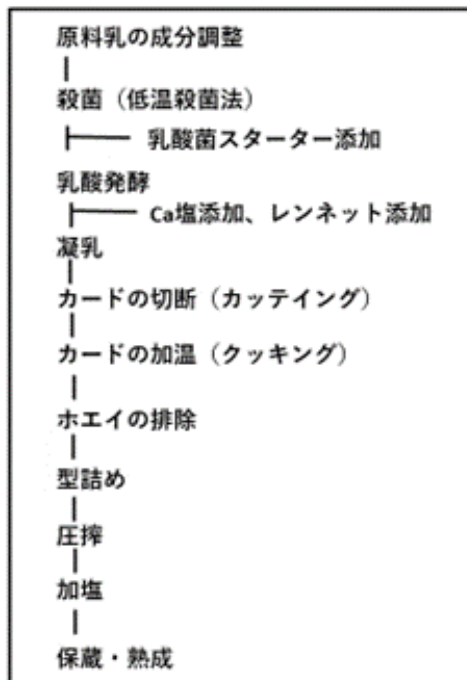


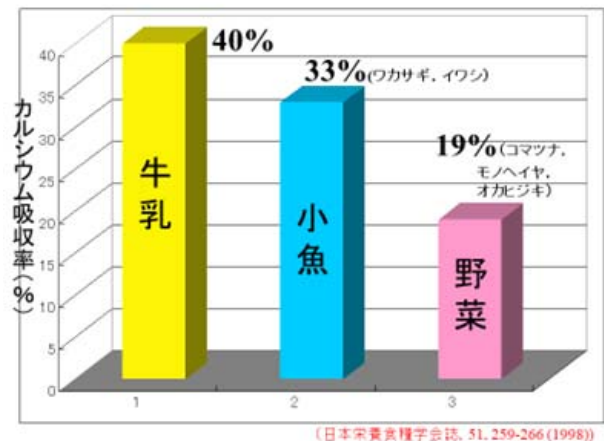
図 2. 西欧型チーズの一般的な製造方法

西洋型のチーズ製造では、凝乳酵素を使用して固めるのが最大の特徴である。チーズの原料乳は殺菌をすると、溶けていたリン酸カルシウムの一部が不溶化し、そのまま凝乳時間が遅延する。そこで、塩化カルシウムを凝乳前に添加するのが通例である。これは、レンネットによりカゼインミセル表面の  $\kappa$ -カゼインが分解され、表面から親水性のカゼイングリコペプチド(CGP)が除去されると、下から新たにカゼインに結合するリン酸基が露出してくる。このリン酸基を中和するために、カルシウム塩の特別な添加が必要である。十分量のカルシウムが存在すれば、表層は中和され、疎水性が増加してパラカゼインミセル同士で会合して、凝乳するのである。完全なる凝乳には、カルシウムイオンは必須な重要な成分である。

#### 5. チーズの高いカルシウム吸収性

牛乳のカルシウムの吸収性は約 40%と推定されている(図 3)。チーズ中のカルシウムも、同様の高い吸収性を示す。一方、小魚などでは 33%、野菜などの植物では 19%とされる。チーズは極めてカルシウム吸収性の高い食品であるが、その理由には乳という食品ならではの仕組みがある。

チーズのタンパク質はカゼインであるが、とくに  $\alpha_{s1}$ -カゼインや  $\beta$ -カゼインには、リン酸化されたセリンが多く存在し、消化過程でカゼインホスホペプチド(CPP)という高リン酸化ペプチドが生じるため、この部分にカルシウムが結合し、腸内での吸収性を高める。また、チーズにはラクトフェリンなどの乳塩基性タンパク質(MBP)が存在し、



(日本栄養食糧学会誌, 51, 259-266 (1998))

図 3. 乳・乳製品の高いカルシウム吸収性

破骨細胞の働きを抑え、骨芽細胞を活性化する。また、乳糖自体もキレート作用によりカルシウム吸収に寄与する。また、乳にはカルシウムの吸収を抑える食物繊維やフィチン酸などの成分が含まれていないことも重要である。チーズの高いカルシウム吸収性は、近年高齢者でも深刻な骨粗鬆症の予防に重要である。

チーズは牛乳の10倍量のカルシウムを含むので、日本人に慢性的に不足しているカルシウムの給源としては重要である。

## 6. チーズでの加塩の重要性

図2に示したチーズ製造工程では、熟成の前に必ず「加塩」を行う。一般的には飽和食塩水(ブライン)にグリーンチーズを浸漬して加塩を行う。チェダーチーズの様に、グリーンチーズの表面に塩を擦り込む加塩方法もある。なぜ、加塩を行うのだろうか。

加塩には、組織中のホエイを浸透圧で出す、異常発酵を防ぐ、塩味付け、有害な微生物の生育を抑制、青かびの生育制御、などが知られている。チーズは熟成に伴い、乳中に存在したプラスミン、凝乳酵素として添加したレンネット、熟成期間中の乳酸菌の菌体内からのプロテアーゼなどにより、カゼインは分解され、低分子のペプチドや遊離の沢山のアミノ酸が生成する(図4)。

カゼインを構成するアミノ酸で一番多いのはグルタミン酸であり、次いでプロリン、ロイシン、リジン、アスパラギン

酸である。従って、熟成に伴い遊離してくるアミノ酸の中で一番多いのは、グルタミン酸である。この段階で、チーズ中に十分な量のナトリウムイオンが存在すれば、グルタミン酸ナトリウムとなり、旨味成分が出来ることになる。チーズ製造の最終段階での加塩には、大量のナトリウムイオンを供給して旨味成分に誘導する重要な役割があった。

長期の熟成期間を要するハードチーズの代表であるパルメジャーノ・レッジャーノチーズでは、グルタミン酸量は1.2-1.6 g/100 mgとなり、昆布の出汁と同程度になることが知られている。この美味しさを獲得するために、長期の熟成がチーズには必要とされるのである。

## 7. グルタミン酸ナトリウムの機能性

熟成型のチーズ中に多量に存在するようになったグルタミン酸ナトリウムには、最近、新たな機能性が発見された。2000年にアメリカで旨味を感じる受容体が舌にあることが判った。2007年には、味の素(株)の研究により、この旨味受容体の候補遺伝子が口の中の味蕾の細胞だけでなく、消化管にも広く発現していることを明らかにした(図5)。

ラットの内臓感覚を脳に伝える神経は、ブドウ糖や食塩には全く応答しないが、アミノ酸の中でもグルタミン酸に特異的に反応した。旨味は口で感じたあと、胃でも感じているとすると、二度も美味しさを感じる稀有な機構が

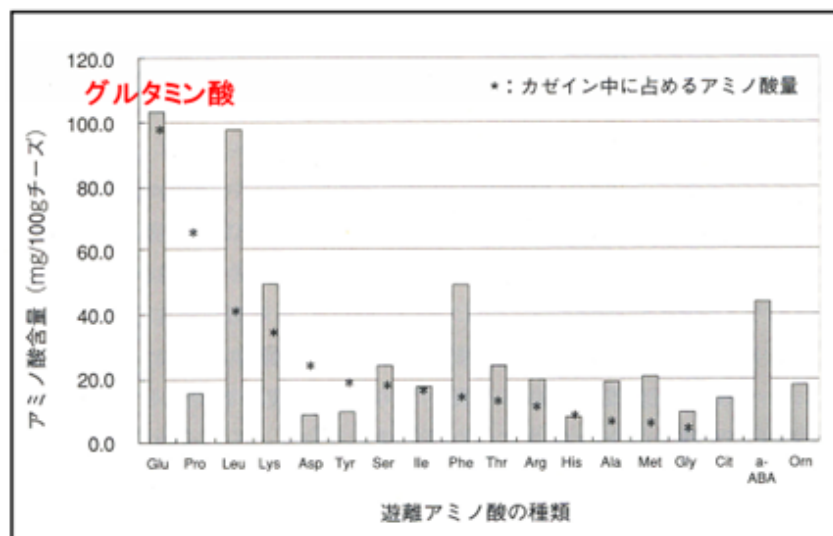


図4. チーズ熟成中に増加するアミノ酸(ゴータチーズ2-4カ月熟成の例)

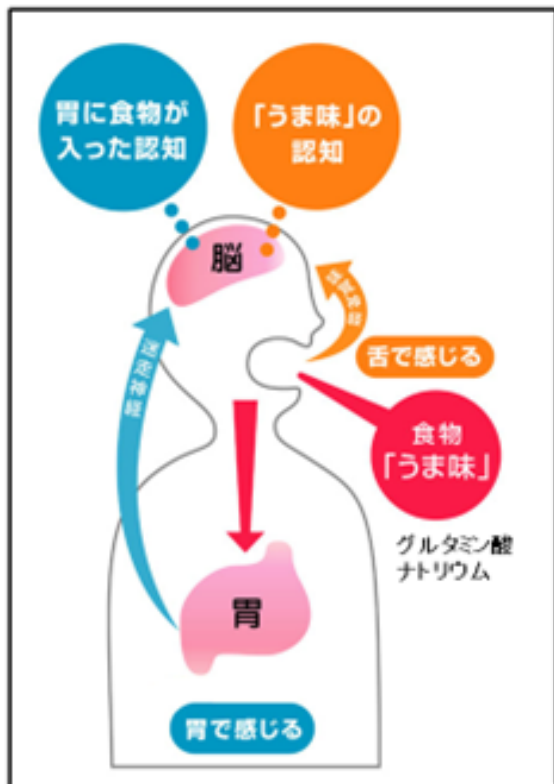


図 5. 旨味の消化に与える重要性  
(味の素(株)HP より引用)

消化過程には存在し、旨味刺激により消化液が分泌され、消化が促進することも分かった。腸管にも同受容体が存在すれば、旨味刺激により蠕動運動も活発化し、消化吸収にまでその作用は及ぶかもしれない。熟成型チーズには、沢山の旨味成分(グルタミン酸ナトリウム)が含まれているので、食品としての価値が高い。

## 8. チーズカルシウムの機能性

チーズにカルシウム含量の高いこと、吸収性が高いこと、その摂取は骨粗鬆症の予防や寛解に重要であることは前述したが、最近カルシウムにはダイエット効果も報告されている。

2004 年、米国テネシー大学の研究では、さまざまな量のカルシウムを、一方はサプリメントとして、もう一方はチーズを肥満者に与えた結果、後者でとくに体重の減少が認められた。この研究で重要な指摘は、幼児期に乳製品をきちんと摂取すると、その後 18 歳頃まで体脂肪が蓄積しにくい体質が作られる傾向があることだった。

カルシウムがメタボを防止する効果を示す機構についてはまだ不明の点があるが、脂肪細胞の代謝を抑制し、脂肪分解を促進するなどのメカニズムが推定されている。

## 9. 塩類によるプロセスチーズの物性制御

日本のチーズ消費は年々漸増傾向にはあるが、いまだ年間に 2.3 kg 程度の消費量である。これは、世界一チーズ消費量の多いフランスの 11 分の 1 である。日本人一人一日当たりの消費量に換算すると、約 6 g に過ぎない。

日本のチーズ消費の特徴は、約半分がプロセスチーズである点であろう。プロセスチーズの製造には、リン酸塩やクエン酸塩の溶融塩を乳化剤として細切したチーズに混ぜ、加熱して製造する。

図 1 で示したサブミセル間の架橋状のリン酸カルシウムのカルシウムイオンが溶融塩からのナトリウムイオンと少しずつイオン交換が進む。置換されれば結合は切れ、サブミセルはバラバラになって行き、糸曳き性が失われて行く。カゼインは乳中ではカルシウムと結合しているの不溶性であるが、溶融塩からのナトリウムイオンの供給と置換により、カゼインは水可溶性へと変化して行く。チーズ組織の pH の 5.3 前後を境として、プロセスチーズの物性も大きく変化する。この微妙な差異を利用して、スライスチーズもサラダ用とチーズトースト用を作り分けている。

## 10. おわりに

乳は、それ自体にカルシウム含量が極めて高く、その実に 60%以上はカゼインミセルにリン酸カルシウムとして架橋しているという特殊性があった。チーズの製造過程では、とくにカルシウムとリンとナトリウムというミネラルが重要な役割を担っていた。さらに、熟成におけるナトリウムイオンの役割は偉大であり、グルタミン酸ナトリウムは、単なるミネラル化合物だけでなく、消化吸収を制御している可能性もある。一般的にナトリウムや食塩は悪者扱いされる場合が多いかもしれないが、チーズ造りでは、とくに塩類の役割は大きく、不可欠の存在であることが再認識された。

また、チーズは塩分含量が高いと敬遠される場合が

あるが、最も高いブルーチーズでも 4.5%程度である。また、乳ミネラルの中でも、ナトリウムの 3 倍量のカリウムが含まれているので、ナトリウムの排除効果も期待でき、高血圧を余り気にすることはない。乳は「食品として生合成された唯一の天然物」と定義されるので、チーズも同様に特に摂取量の上限を設ける必要はない。冷蔵庫を開けて直ぐに調理をすることなくカルシウムを摂取できる食品は、乳および乳製品である。調理に時間や手間をかけるにくなった高齢者の急増する我が国では、フレイルやロコモを防止する意味でもチーズは推奨される。

### 講演者略歴

齋藤 忠夫(さいとう ただお)

東北大学大学院農学研究科 教授。1975 年東北大学農学部卒業、同年より乳業会社に勤務後、1982 年東北大学大学院農学研究科博士課程修了、農学博士。1982 年東北福祉大学助手。1988 年より1年間米国ブランダイス大学生化学部博士研究員を経て、1989 年 4 月より東北福祉大学講師。同年 11 月より東北大学農学部助教授。1997 年より東北大学大学院農学研究科准教

授を経て、2001 年より教授。現在に至る。2013 年から東北大学総長特別補佐(企画担当)。日本酪農科学会賞、日本畜産学会賞などを受賞。アジア乳酸菌学会連合(AFSLAB)会長(2014-2017 年)、日本酪農科学会(JDSA)会長(2015 年～)、日本農芸化学会フェロー(2016 年～)。1952 年生まれ。

### 参考文献

- ・「現代チーズ学」齋藤忠夫, 堂迫俊一, 井越敬司 共編, (株)食品資材研究会(2008 年)
- ・「医科プロバイオティクス学」古賀泰裕編集, シナジー(2009 年)
- ・「乳酸菌とビフィズス菌のサイエンス」日本乳酸菌学会編, 京都大学学術出版会(2010 年)
- ・「畜産物利用学」齋藤忠夫, 根岸晴夫, 八田 一編, 文栄堂出版(2011 年)
- ・「チーズの科学」齋藤忠夫, 講談社(2016 年)
- ・「チーズを科学する」NPO 法人チーズプロフェッショナル協会, 幸書房(2016 年)
- ・「ヨーグルトの事典」齋藤忠夫ら編, 朝倉書店(2016 年)