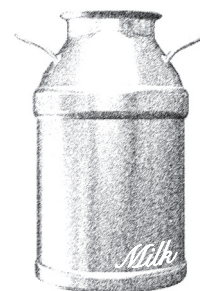


## 牛乳の脂肪の神秘性と加熱殺菌による影響

「ミルクの乳脂肪の不思議と加熱殺菌による変化」

齋藤 忠夫 (SAITO Tadao)

(東北大学名誉教授)



Key Words: 乳脂肪, トリアシルグリセロール, トランス型脂肪酸 (トランス酸), バクセン酸, CLA, UHT 殺菌

今月は、牛乳に含まれる糖質である乳糖に次いで二番目に多い成分であり、女性のダイエットの大敵とも考えられています「乳脂肪」の特徴とその神秘性について解説します。日本では脂肪分を除いていない全脂肪乳（全乳）を一般家庭では購入していますが、肥満者の多いアメリカでは一番売れているのは実は全乳ではなく脱脂乳なのです。メキシコやアメリカでは、低所得者層ほど肥満が深刻な割合で増えており大きな社会問題となっています。アメリカでは一時期、乳脂肪中の「トランス型脂肪酸」が問題視され、ホテルから一斉にバターが消えたこともありました。アメリカ人は脂肪の摂取も多く、乳脂肪量にとくに神経質な一面があるようです。

乳脂肪は、乳成分の中でも一番ナゾの多い成分です。あわせて、乳脂肪は生乳を強い温度条件で加熱殺菌すると悪い影響を受けると考えられている様ですが、皆さんの誤解と心配を払拭したいと思います。

### 1. 乳脂肪はトリアシルグリセロールからなり、3重の皮膜で覆われた脂肪球で存在

牛乳に含まれる栄養成分の中で糖質に次いで二番目に多いのが脂質（脂肪）です。ホルスタイン乳に

は乳脂肪が約3.9%含まれており、温和な口当たりとコクを感じます。一般的に脂肪率の高い牛乳では、脱脂乳や無脂肪乳と比較すると格段にコクによるおいしさを感じます。乳等省令での牛乳の定義は、無脂肪乳固形分が8.0%以上で、脂肪分は3.0%以上含まれていれば、「牛乳」と表示することができます。牛乳の脂肪は、乳糖と並んで仔のエネルギー源として大切な栄養成分です。脂肪はグリセロールと脂肪酸という2つの成分からできており、その化学構造は図6-1に示しました。

牛乳中の脂肪は、脂肪酸の混合物ではなく、必ずグリセロールに組み込まれた形で乳腺上皮細胞で生合成され、分泌されています。乳脂肪は、グリセロールの3つの水酸基に3つの脂肪酸のそれぞれのカルボキシル基から水が一分子脱水し「エステル結合」したトリアシルグリセロールです。以前は、トリグリセリドと呼ばれた成分でした。この成分は乳脂肪の98%以上を占めますが、どうして牛乳には脂肪酸が一つ結合したモノアシルグリセロールや二つ結合したジアシルグリセロールが存在しないのかはとても不思議です。

乳脂肪は、リン脂質とタンパク質の3重膜からな

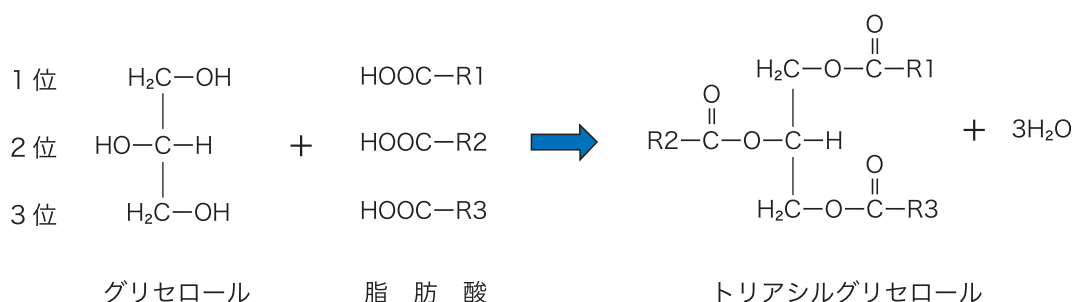


図6-1 乳脂肪の化学構造

る「脂肪球皮膜 (MFGM)」に覆われた小さな球状の形態で存在しており、牛乳が白く見える原因の一つであることはすでに述べました (第1回, 2023年第65巻10月号)。この表層のMFGMは、脂肪球同士の凝集を防ぎ、血中由来の脂肪を分解する酵素 (リパーゼ) から保護しています。乳を低温で保蔵するバルククーラーでは、とくに乳量が少ない時に生乳を強く攪拌すると、脂肪球膜が壊れて乳中のリパーゼにより脂肪分解 (リポリシス) が起こり、風味の低下や異常臭 (ランシッドフレーバー) の原因となるので注意が必要です。

日本のほとんどの牛乳は、製造工程で均質化 (ホモジナイズ) を行い脂肪球を細かく砕き、摂取後の消化性を高めてあります。この様な牛乳を「ホモ牛乳」と呼びます。一方、海外ではこの均質化処理をしていない自然のままの「ノンホモ牛乳」もあります。上に浮かんだ濃厚なクリーム層はコーヒーや紅茶に加えて楽しみ、下層の脂肪分の少ない部分は料理に使用しているそうです。また、最近ではガラス製のビンに入った牛乳は日本では少なくなりましたが、海外での牛乳ビンは脂肪の酸化を防ぐために日本のような無色透明のガラス瓶ではなく、ワインのような緑や褐色のビンに入っています。牛乳ビンから飲む牛乳は特別な美味しさを感じる人が多いようです。

## 2. ミルク中には 400 種類もの脂肪酸が存在するのに、乳脂肪には 15 種類

牛乳中には、炭素数が偶数 / 奇数の脂肪酸、直鎖 / 分岐した構造の脂肪酸、シス型 / トランス型の不飽和脂肪酸、脱水されたヒドロキシ酸など、実に「400種類以上」の脂肪酸が含まれています。とても不思議なのは、乳脂肪を構成する脂肪酸は主として「15種類」に限られている点です。どの様なメカニズムが働いて 400 種類の脂肪酸から 15 種類が選抜されているのかは、不明です。乳脂肪を構成する脂肪酸は、存在量が多い順にパルミチン酸、オレイン酸、ミリスチン酸です。さらに不思議なのは、グリセロールに結合する脂肪酸の結合位置は、ランダム (適当) ではなく一定の規則性が認められる点です。例えば、乳脂肪で一番多いパルミチン酸の 80% 以上はグリセロールの 1 位と 2 位に結合しており、オレイン酸の 70% 以上は 1 位と 3 位に結合していますが、そ

の理由は不明です。また、後述の酪酸、カプロン酸は主として 3 位に結合していますが、カプリル酸やカプリン酸の 80% 以上は 2 位と 3 位に結合しています。泌乳初期には子牛の唾液中には舌リパーゼが存在し、トリアシルグリセロールの 3 位の脂肪酸を特異的に加水分解します。従って、初乳中の乳脂肪の 3 位には、泌乳初期にとくに子牛に必要な脂肪酸が結合していることが推定されています。このように、脂肪酸の結合位置には重要な生理的な意味があるようです。

## 3. 乳脂肪は燃焼型の飽和脂肪酸で作られており太りにくい

乳脂肪は他の脂肪では例を見ない酪酸 (C4)、カプロン酸 (C6)、カプリル酸 (C8) などの揮発性低級脂肪酸 (VFA) を結合していることも特徴です。酪酸はルーメン (第一胃) 内での微生物発酵由来なので、自然界での植物性脂肪や魚油には存在していません。これらの脂肪酸は単体では決して良い香りではありませんが、熟成型チーズなどの独特の風味を出すためには必須の脂肪酸と考えられています。ちなみに、カプロン酸、カプリル酸、カプリン酸の 3 種は「カプ」がついていますが、これらはヤギ乳脂肪に多い特有な独特の匂いのする脂肪酸であり、ヤギの学名 (*Capra hircus*) にちなんで命名されています。

また、乳脂肪に結合する脂肪酸は二重結合のない飽和の中鎖脂肪酸が多く、摂取した場合でも利用されやすく体に蓄積されにくいいため、肥満の原因になりにくいと考えられます。一般に飽和脂肪酸のとり過ぎは、動脈硬化や心疾患を招くとされていますが、乳脂肪の場合は逆に多く摂るとこれらの疾病を予防することが分かりました。また、多量の牧草を食べるウシなのに、乳脂肪にはリノール酸やリノレン酸などの牧草由来の不飽和脂肪酸が少ない理由は、ルーメンでの微生物発酵により二重結合に水素添加がおり、飽和脂肪酸になってしまうからです。また、乳脂肪には魚油に含まれる EPA や DHA などの高度不飽和脂肪酸は含まれていません。

## 3. 乳脂肪中のトランス酸やコレステロールは心配無用

2006 年、トランス型脂肪酸 (トランス酸) の過剰摂取による心疾患の危険性が指摘され、乳脂肪

に約5%含まれる「バクセン酸 (C18:1 trans-11)」が当時大きく問題視されました。全米のホテルから一斉にバターが消えた時期も、この時期と重なります。一方、乳脂肪には他にもトランス酸として「共役リノール酸 (CLA, C18:2, cis-9, trans-11)」が含まれています。しかし、こちらのトランス酸には脂質代謝改善や動脈硬化抑制作用が知られています (図6-2)。一般に、液状のパーム油の水素添加を工業的に行って製造して得られた固体の「部分水素添加油脂」には、トランス酸であるエライジン酸 (C18:1 trans-9) が多量に含まれています。液体の油脂に添加する水素 (H<sub>2</sub>) は、食品添加物として厚生労働省から認可されています。また、不飽和脂肪酸に水素を付加させる水素化という反応は、水素を触媒 (ニッケル, パラジウム, 白金など) を用いて導入します。

2015年、米国食品医薬品庁 (FDA) は、工業油脂に含まれるエライジン酸は一般に安全とみなされているという意味である「GRAS (Generally Recognized As Safe)」には該当しないとし、2018年6月からはエライジン酸を多量に含む部分水素添加油脂の食品への使用を禁止しました。しかし、図6-2に示した乳脂肪に自然に含まれている2種類のトランス酸はGRASではありませんが、通常の摂取量では問題なく「大丈夫」と判定されました。

また、コレステロールはとかく悪者扱いされがちですが、実際には細胞壁やホルモンを作る際にとっても重要な脂質です。牛乳200mLに含まれるコレステロール量はわずか25mgと多くはありません。食パン1枚に塗るバター (約10g) では21mg、プロセスチーズ一切れ (20g) では16mgと、いずれも心配するほどのコレステロール量は含まれていません。日本人の成人の場合、牛乳を毎日400~600mL飲み続けても、血中コレステロールの上昇はなかったという報告もありますので、安心してお飲みください。

#### 4. 牛乳の加熱殺菌で乳脂肪は酸化するのか？

日本の牛乳の加熱殺菌は「UHT殺菌」が主流、海外は低温殺菌

生乳は加熱により殺菌することが法律 (乳等省令)

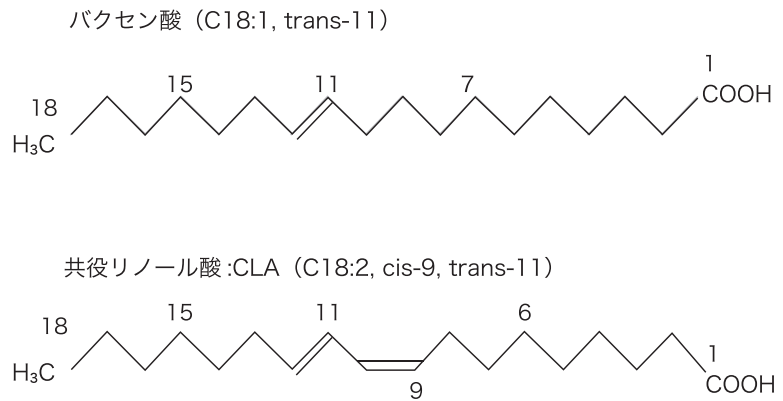


図6-2 牛乳脂肪中のトランス型脂肪酸

で決められています。それ以外の方法で殺菌しては法律違反となります。「生乳」は工場加熱殺菌して、病原菌を殺してから「牛乳」として出荷・販売されます。生乳の殺菌方法はさまざまな種類がありますが、乳等省令では7種類の方法が提案されています。日本では120~130°Cの超高温で1~3秒の短時間加熱して殺菌する「UHT (超高温瞬間殺菌)」が最も一般的です。日本の90%以上の牛乳はこのUHT殺菌が使われています。UHT殺菌は、人体に有害とされる細菌だけでなく、近年発見された耐熱性のQ熱リケッチアというウイルスや細菌、さらにはカビの胞子も死滅させることができる優れた殺菌方法です。しかし、130°Cを超える強い加熱条件により、牛乳中には人体に悪い成分 (過氧化物など) が出来るのではないかと疑問を持つ方も沢山いらっしゃるようです。海外ではチーズ用の乳も殺菌するためにUHT殺菌よりも低温で殺菌する牛乳が多く存在します。

しかし、UHT殺菌は、外気 (酸素) と直接触れない密閉装置のプレートの中で行われるため、乳脂肪の酸化は起こらず心配はいりません。乳の加熱殺菌には、63°Cで30分加熱や72°Cで15秒加熱する低温殺菌法もありますが、一部の耐熱性細菌や芽胞は完全に殺すことはできません。自然環境には未知の有害細菌が存在する可能性がありますので、直接飲む牛乳はしっかりと殺菌した方が望ましいと考えられます。また、UHT殺菌は高温で処理するので、タンパク質や乳糖が反応して多少の焦げ臭が発生しますが、それを牛乳の良い香りと受け取られる方もいます。また、熱で少し変性したタンパク質は、消化性も向上していますので、牛乳のUHT殺菌は推奨されるべきだと思います。