

牛乳とエタノールによる凝固物の生成

班員 岡本 幹登、木元 博規、高島 光、堀田 達琉
担当教員 清水 宏一

キーワード：凝固物 カゼイン ラクトース 結晶化

There is a phenomenon where when you put ethanol into milk, coagulate is formed in it. Although it is known as the alcohol test, the components of the coagulate have not been researched well. In our research, we found out that the major components of the coagulate are casein and lactose, and that lactose appear in the state of crystal.

1 はじめに

牛乳にエタノールを加え凝固させる、アルコールテストという方法が知られている。しかし、アルコールテストで生成する凝固物については、牛乳中のタンパク質がアルコールによる脱水によって凝固したものであることは明らかになっているが、凝固物の成分について詳しく調べられている研究はほとんどない。そこで、この凝固物の成分を明らかにすることを目的に研究を行った。

2 実験方法と結果

実験 1：凝固物の生成する条件

目的

凝固物の生成について、エタノールの量と、振とう回数による関係を調べる。

方法

- ① 牛乳にエタノールを加えた。
- ② 凝固物が生成しているか確認した。

条件

牛乳—無調整牛乳、無脂肪牛乳 5mL

エタノール—5, 10, 15, 20mL

容器の振とう回数—0, 10, 20 回

※牛乳にエタノールを加えた後、常温で放置した。

※エタノールの濃度は 99.5%のものを、牛乳は賞味期限内のものを使用した。

※無脂肪牛乳を用いた実験では、脂肪の影響

を考えないこととする。

結果

すべての条件において、無調整牛乳、無脂肪牛乳ともに、エタノールを入れてすぐに凝固物の生成が始まり、1日後には見かけ上変化はなくなった(図1)。



図1 生成した凝固物

実験1の結果より、以降実験の条件は次のようにする。

牛乳—無調整牛乳、無脂肪牛乳 5mL

エタノール—10 mL、99.5%

振とう回数—10回

実験 2：牛乳の成分量との比較による凝固物の主成分の推定

目的

凝固物の主成分を明らかにする

方法

- ① 牛乳にエタノールを加え、振とうした。
- ② 1日後に、①で生成した凝固物をろ過した。
- ③ ②でろ過した凝固物を1日乾燥させ、凝固物の質量を精密ばかりで測定した。

結果

無調整牛乳—凝固物の質量0.397g (5回の平均値)

表 1 無調整牛乳の成分

無調整牛乳	5mL
タンパク質	0.170g
脂質	0.195g
炭水化物	0.243g
食塩相当量	0.005g
カルシウム	0.006g

成分の組み合わせと質量

タンパク質+脂質	=0.365g
タンパク質+炭水化物	=0.413g
脂質+炭水化物	=0.438g
タ+脂+炭	=0.608g

牛乳の成分が上澄みに残っている可能性を考慮すると、凝固物の質量より成分の組み合わせの質量が大きくなければいけない。そこで、この条件を満たす組み合わせは、「タンパク質と炭水化物」、「脂質と炭水化物」、「タンパク質と脂質と炭水化物」という3つの組み合わせである。

無脂肪牛乳一凝固物の質量0.348g（5回の平均値）

表 2 無脂肪牛乳の成分

無脂肪牛乳	5mL
タンパク質	0.170g
脂質	0.195g
炭水化物	0.243g
食塩相当量	0.005g
カルシウム	0.006g

成分の組み合わせと質量

タンパク質+脂質	=0.213g
タンパク質+炭水化物	=0.503g
脂質+炭水化物	=0.310g
タ+脂+炭	=0.513g

無脂肪牛乳でも無調整牛乳の場合と同様に考えると、「タンパク質と炭水化物」という組み合わせが考えられる。

考察

結果より、凝固物の主成分は、「タンパク質と炭水化物」と考えられる。

さらに、牛乳のたんぱく質の80%がカゼイン、炭水化物の99.9%がラクトースであるため、凝固物の主成分はカゼイン、ラクトースだと考えられる。

実験 3：顕微鏡による凝固物の形態の観察

目的

凝固物を顕微鏡で観察し、凝固物の形態を確認する。

実験 3-1：凝固物の観察

方法 3-1

生成した無調整牛乳の凝固物の一部分を、容器からそのまま取り出し、光学顕微鏡（株式会社内田洋行 D-EL4）を用いて観察した。

結果 3-1

透過光による顕微鏡の観察では、実験開始後すぐでは、白い凝固物（図 2）が観察されただけであったが、実験開始後 1 か月のものでは黒い塊が観察された（図 3）。



図 2 実験開始後すぐ（透過光）



図 3 実験開始後 1 か月（透過光）

実験開始後 1 か月のものの反射光による観察では、光を反射して白く光り、角張っている凝固物がみられた（図 4）。また実験開始後 2 か月のものでは、さらにその凝固物が大きくなっている（図 5）こともわかる。

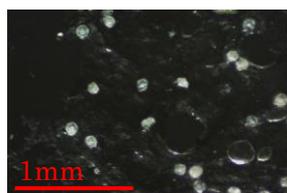


図 4 実験開始後 1 か月（反射光）



図 5 実験開始後 2 か月（反射光）

考察3-1

光を反射し白く光った凝固物は、時間が経過するにつれ大きくなり、また角張っていたことから、この凝固物は結晶だと推定される。

実験 3-2：糸を加えての観察

方法 3-2

結晶であれば、糸を核の代わりとして結晶が析出すると考え、牛乳にエタノールを加える際に糸を入れ、その後糸の周りに光を反射する凝固物が析出するか観察した。

結果 3-2

光を反射する凝固物は、糸の周りに析出した。

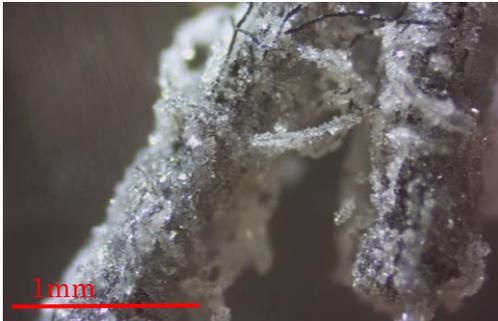


図 6 実験開始後 1 週間（糸あり、反射光）

考察 3-2

糸の周りに結晶が析出したことより、この凝固物は結晶といえる。また、凝固物中では結晶になる物質が、牛乳中より高濃度で存在していると考えられる。

実験 4：結晶の成分の推定

目的

結晶がラクトースであるかどうか確認する。

実験 4-1 アカディを用いての観察

方法 4-1

牛乳中のラクトースがあらかじめ分解され、無調整牛乳と比べ約 2 割程度しかない乳飲料（アカディ）を用いた。

- ① アカディにエタノールを加え、さらにそのとき、糸も加えた。
- ② 1 週間後に糸を取り出した。
- ③ 取り出した糸を顕微鏡で観察した。

※今回コントロールとして、無調整牛乳でも実験を行い、結晶の形態を比較した。

結果4-1

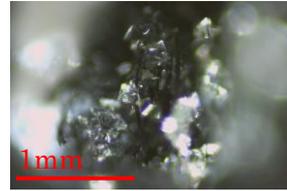


図 7 無調整牛乳の場合

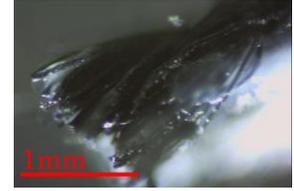


図 8 アカディの場合

無調整牛乳では、糸の周りに光を反射する凝固物が析出していることが確認できたが、アカディでは、糸の周りに光を反射する凝固物は確認できなかった。

考察 4-1

無調整牛乳では結晶が観察され、アカディでは、結晶が観察できなかったため、この結晶はラクトースだと考えられる。

実験4-2：ラクトース溶液を用いての実験

方法4-2

- ① ラクトース溶液を作った。
- ② ラクトース溶液にエタノールを加え、結晶が析出するか確認した。

条件

蒸留水—2mL

ラクトース—0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g

※ラクトースの溶解度は0.216g/mL

結果4-2

ラクトース	析出の有無	濃度
0.05g	△	2.4%
0.10g	△	4.7%
0.15g	○	6.9%
0.20g	○	9.0%

△チンダル現象 ○肉眼で確認

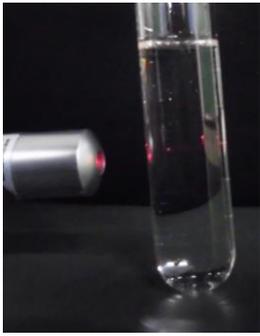


図9 チンダル現象



図10 結晶の析出

ラクトースが0.05g、0.10gのとき肉眼では結晶は確認できないが、レーザーを照射すると結晶が確認できた。

「ラクトース水溶液の濃度」が「牛乳のラクトースの濃度」以上のとき、すべての条件で析出した。

考察

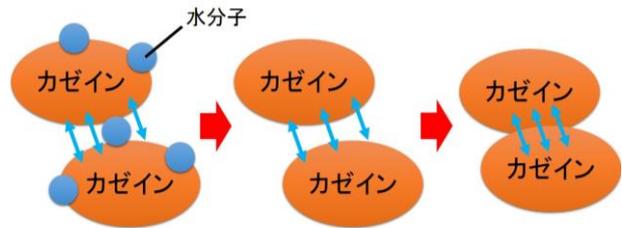
牛乳2mLに含まれるラクトースの量は、0.080gであり、結果から、牛乳よりラクトースの量が少ない0.05gのラクトース水溶液から析出したため、結晶がラクトースだということがわかった。

エタノールを加えることによって、親水性の高いエタノールにラクトースの水分子が奪われ溶解度を超え、その超えた分が析出する。

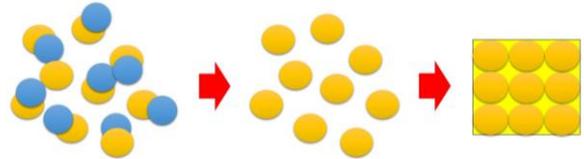
3 凝固物生成の仕組みの考察

牛乳にエタノールを加えると凝固物が生成する仕組みとして、次のように考えられる。牛乳にエタノールを加えると、親水性の高いエタノールがカゼイン、ラクトースに水和している水分子を奪う。それによって、カゼインのコロイド同士が凝集、ラクトースでは、濃度が大きくなることで析出したラクトース分子が規則正しく配列することによって結晶化する。

カゼインの場合



ラクトースの場合



4 結論

牛乳にエタノールを加えると、カゼインとラクトースを主成分とした凝固物が生成する。また、凝固物中には、ラクトースが結晶となって析出している。

5 参考文献

- (1) 日本甜菜製糖株式会社飼料事業部低酸度二等乳

http://www.nitten-feed.jp/tec_news/950/

- (2) 牛乳凝固の化学

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/3/9/3_9_458/_pdf

- (3) 牛乳の栄養成分と働き

<http://www.nara-gyunyuya.com/contents/gyunyuy/seibun/seibun.htm>