

ホイップクリームの性状に関する研究(3)

ホイップクリームの構造とその安定性

誌名	ミルクサイエンス = Milk science
ISSN	13430289
著者名	山口,和美 石下,真人 鮫島,邦彦
発行元	日本酪農科学会
巻/号	50巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 55-59
発行年月	2001年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



原 報

ホイップクリームの性状に関する研究

—第3報：ホイップクリームの構造とその安定性—

山口和美・石下真人・鮫島邦彦

(酪農学園大学酪農学部食品科学科)

Studies on the Some Properties of Whipping Cream —3: Microstructure of Whipping Creams and Their Stability

Kazumi Yamaguchi, Makoto Ishioroshi and Kunihiko Samejima

Department of Food Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu-shi 069-8501, Japan

Summary

In this study, the effects of sugar and skim milk on the microstructure and the stability of whipping milk or compound cream, were investigated by means of a cryo-SEM, a dynamic rheometer and DSC.

The results were obtained as follows:

1. Fat globules were aggregated continuously on the surface of large air bubbles in whipping cream. The size of fat globules increased by whipping.
2. It was observed that the addition of sugar or skim milk served to decrease the diameter of bubbles.
3. Storage modulus (G') of whipping cream decreased with increasing of temperature, and the lowest G' was obtained at about 40°C.
4. T_c (conclusion temperature) of the endothermic transition of whipping cream was at about 40°C. This indicates that the solid fat melted at that temperature.

Key word: ホイップクリーム whipping cream, 動的粘弾性 dynamic viscoelasticity, レオロジー rheology

緒 言

クリームはホイッピングクリーム（以下ホイップクリームと略す）として菓子のトッピングなどに広く利用されている。クリームはホイップ操作によって様々な固さに仕上げることができるが、過度の泡立てによりクリーム中の脂肪球が粒状に結合し、気泡が消失しホエー（乳清）が分離する¹⁾現象が認められており、ホイップ加減が難しい。前報^{2)~3)}では、ホイップクリームの顕微鏡観察を行い、物性の経時的变化を報告し、ホイップクリームの構造は気泡界面に存在する脂肪の種類（動物性・植物性）が保形性に寄与していることを明らかにした。また、経時的観察では乳脂肪クリームは植物性クリームよりも脂肪球の形状と色調の変化が著しいことを認めた。

一般的に、ホイップクリームはクリームに糖類10%程度添加した後、泡立てることが多く、この糖類添加の

理由にはホイップクリームの泡立ちの安定性や風味上（甘味）の効果が挙げられている。クリームにスキムミルクを添加すると起泡性が影響を及ぼすとも考えられている⁴⁾。このように、ホイップクリームの保形性に影響する要因には温度、脂肪の量や種類、糖類や蛋白質などの関与が推察でき、これらの要因が相互作用し、泡立てた時の空気の混入によって特有の構造を形成しているといえる。一方、ホイップクリームの構造解明に対するアプローチとして野田⁵⁾は、マクロな物性値から推定する方法と構造の直接観察から推定する方法を挙げており、菊地⁶⁾もホイップクリームの微細構造をCRYO法によって示している。

そこで、本報ではホイップクリームの構造について、走査型電子顕微鏡を用いてその微細構造を観察し、脂肪の種類および糖類・スキムミルク添加の影響を検討した。

材料および方法

1. 試料の調製 試料原料は市販の乳脂肪クリーム（乳脂肪分47.0%）及び植物性クリーム（無脂乳固形分3.5%，植物性脂肪分40.0%）を用いた。ホイップクリームの調製方法は、前報³⁾に準じてクリームを5℃冷蔵庫内でハンドミキサーを用いて泡立てた。試料は絞り袋で絞り出した時、尖端の保形性が良好な状態（つのが立つ固さ）に調製した（オーバーラン80～120%付近）。

なお、試料は乳脂肪クリーム、植物性クリーム、乳脂

肪クリーム+グラニュー糖10%添加，乳脂肪クリーム+スキムミルク（蛋白質含量1%添加）を用いた。

2. 実験方法

1) 微細構造の観察

ホイップクリームの構造は走査型電子顕微鏡（Scanning electron microscope; SEM, Hitachi S-2460）クライオシステムを使用し、凍結直接観察により加速電圧3～5 kVで観察した。本報では前報³⁾に準じてホイップクリームを液体窒素で凍結させ、切断後にSEMで観察した。脂肪球径および気泡径は走査型電子顕微鏡で観察

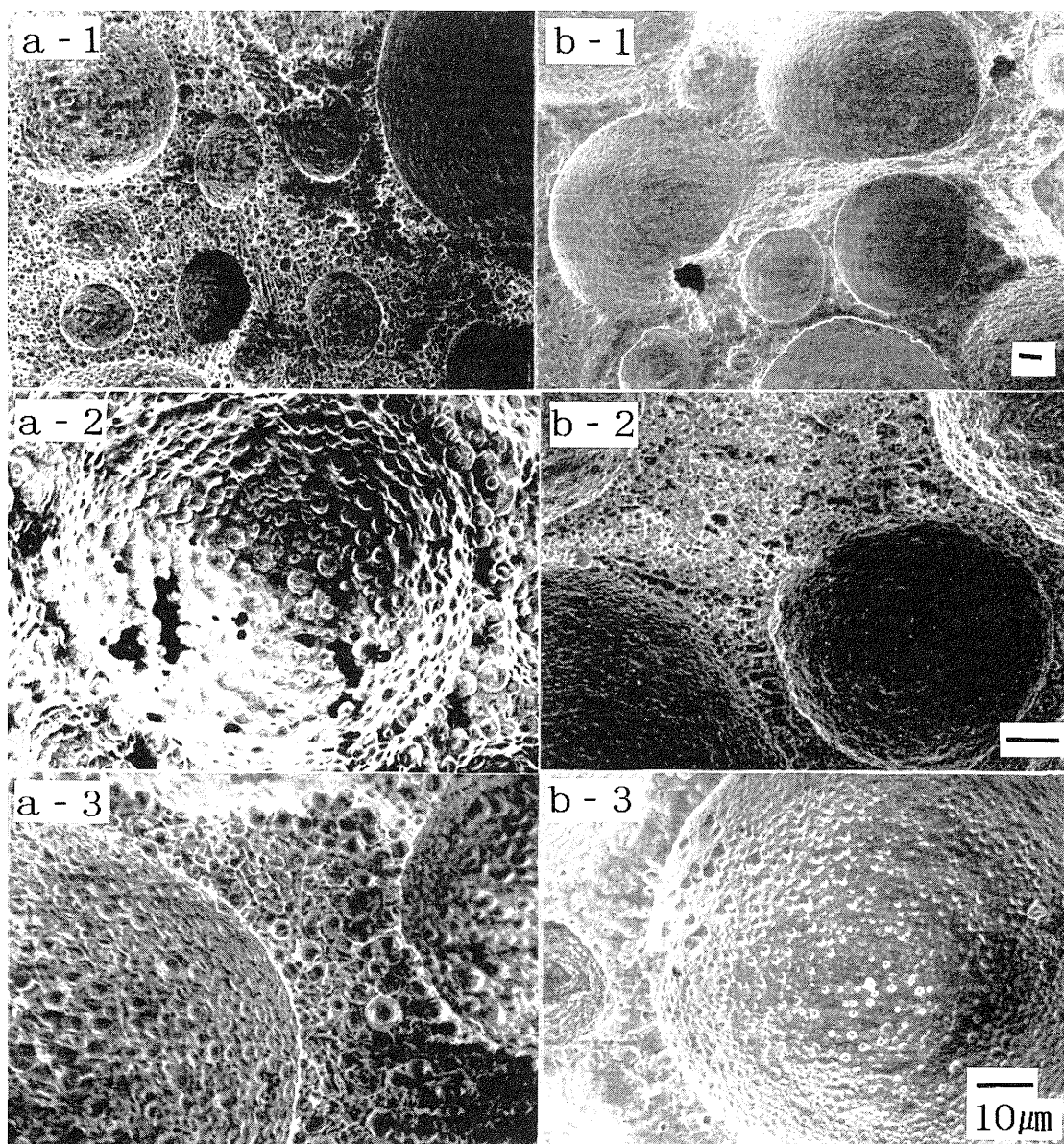


Fig. 1 Scanning electron micrographs of whipping creams
(a) : milk creams (a-1 : $\times 400$, a-2 : $\times 1000$, a-3 : $\times 1250$)
(b) : compound creams
(b-1 : $\times 400$, b-2 : $\times 1000$, b-3 : $\times 1250$)

した写真を用いて、1試料について約200~300個の球径を計測した。野田⁷⁾はホイップ経過による気泡径について述べており、そこで、野田の方法⁸⁾に準じて体積平均径を求めることにした。体積平均径は次式のとおりである。

$$D_v = (\sum(D_a)^3/n)^{1/3}$$

D_v : 体積平均径 (μm),

D_a : 計測した気泡の径 (μm), n : 個数

2) 動的粘弾性の測定

動的粘弾性は東洋精機製 Rheograph-sol を用い、前報³⁾に準じて測定し、貯蔵弾性率 (G') を求めた。

3) 示差走査熱量分析 (Differential scanning calorimetry: DSC)

示差走査熱量分析は、セイコー電子株式会社製熱分析システム EXSTSAR6100 を使用した。試料はホイップ前のクリームを約50 mg 秤量し、リファレンスは蒸留水を用いてアルミカプセルに密封後、温度範囲 0~50°C、昇温速度 2°C/min で測定した。

実験結果および考察

1. 微細構造の観察

1) ホイップクリームの走査型電子顕微鏡像

Fig. 1 に乳脂肪 (a-1~a-3) および植物性 (b-1~b-3) クリームを泡立てた時の走査型電子顕微鏡像を示した。これらの倍率はさまざまであるが (400~1250倍)、いずれも大きな球である気泡と小さな球である脂肪球から構成されていることを示している。気泡の様子は400倍での観察によれば、大きさが様々な球状を呈している (a-1 と b-1)。乳脂肪クリームは気泡膜が部分的に黒くなっており (a-2)、植物性クリームの気泡には認められなかった (b-1~3)。菊地⁶⁾によれば、脂肪球の網目構造の中で黒く見える部分は、凍結乾燥工程で水分が抜けた孔であると報告している。脂肪球は、気泡界面上に存在するものと気泡周辺部の連続相に分散しているものに大別することができる。気泡界面上に存在する脂肪球径は高倍 (1000~1250倍) によって乳脂肪クリームが植物性クリームよりも大きいことが観察でき (a-2 と b-3)、気泡周辺部の連続相に分散している脂肪球径も、乳脂肪クリームの方が大きくなった (a-2 と b-2)。菊地⁶⁾は、ホイップ操作による気泡の混入と微細化、粘性の増加と構造形成という過程を明らかにし、Goff⁹⁾は、透過型電子顕微鏡像によって脂肪球が凝集して気泡をとりかこんでいる様子を観察しており、本報では走査型電子顕微鏡像として確認することができた。

2) 脂肪球径

Fig. 2 にホイップ前後における脂肪球の体積平均径を示した。乳脂肪クリームではホイップ前 3.1 μm がホイ

ップ後 3.7 μm 、植物性クリームではホイップ前 1.7 μm がホイップ後 2.0 μm になり、ホイップ操作によって脂肪球径が大きくなっている。高脂肪クリームでは攪拌によって脂肪球が合一する¹⁰⁾と考えられ、Kokubo¹¹⁾によれば、ホイップ操作によってオーバーランが増加すると共に脂肪球径が大きくなることを報告している。本報では電子顕微鏡像として示していないが、オーバーランが少ないホイップクリーム (50%以下) では、凍結割断の際に試料の破壊が大きく、気泡膜周辺部の観察が困難であり、もろい組織であることが推察される。一方、乳脂肪球の凝集物のタイプとしては3つがあげられており¹⁰⁾、フロキュール (flocule) は房状凝集物を示し、クラスター (cluster) は脂肪球の表面層の融合、グラニュール (granule) は小粒の脂肪球の合一で大きな脂肪球を形成している状態を示す。本報においてもホイップ時間が多くなるに従ってオーバーランが増加し、脂肪球の状態もクラスターからグラニュールへの変化が考えられ、ホイップクリームの構造が強固になったと推察できる。

3) 気泡径

Fig. 3 にホイップクリームの「つのが立つ固さ」状態における気泡体積平均径を示した。気泡について野田⁷⁾によれば、ホイップ過程を4段階で示し、ホイップ完了点である stage 4 では気孔率と遊離脂肪が増加し、気泡径が減少していることを説明している。ホイップ経過

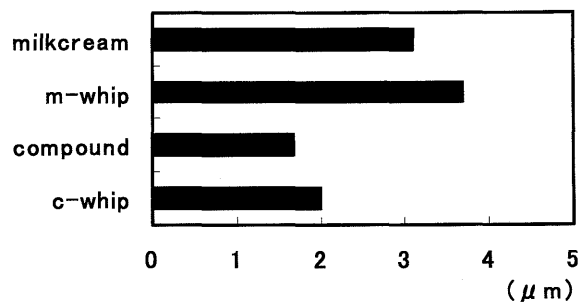


Fig. 2 Average diameter of fat globules

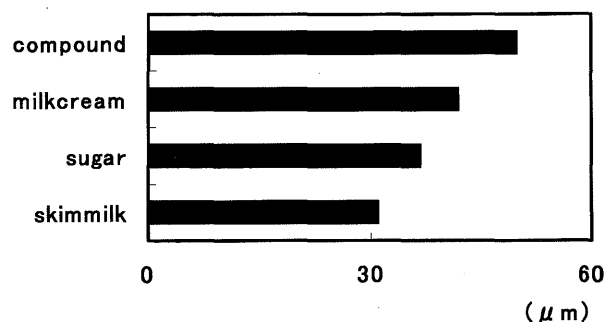


Fig. 3 Average diameter of air bubbles

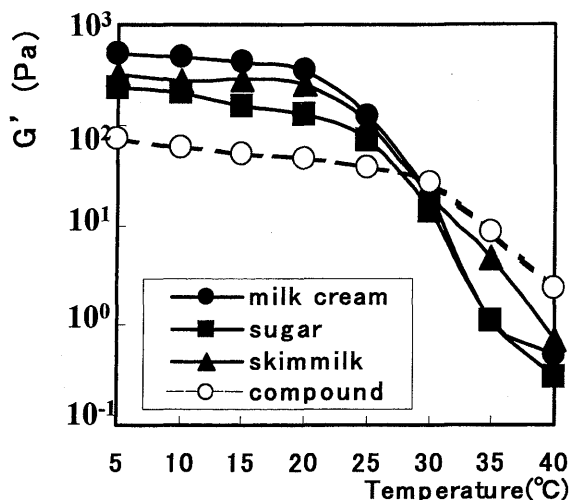


Fig. 4 Temperature profiles of storage modulus of whipping cream

とともに最初は大きな気泡が入り、細分化されることが示され、ホイップ操作によって脂肪球の凝集と気泡が小さくなることが推察できる。Fig. 3の気泡体積平均径は植物性クリームが最も大きくなり、次いで、乳脂肪クリーム、グラニュー糖添加、スキムミルク添加の順に小さくなっている。これらのことはオーバーランの経時的測定により、植物性クリームが乳脂肪クリームよりも最大オーバーランが大きくなることや、糖類を添加するとオーバーランが少なくなることとも関連していると推察する。

2. 動的粘弾性

Fig. 4にホイップクリームの貯蔵弾性率 (G') の温度による変化を片対数グラフ上に示した。ホイップクリームの動的粘弾性測定では、いずれのクリームも5°Cで最大弾性率 (G'_{max}) を示し、乳脂肪クリームが最も高く、植物性クリームは低かった。竹林¹⁾によれば、脂肪球の大きさは泡立ちと関連し、粒子が大きいほどよく泡立ってしっかりした構造になると報告しており、これはFig. 1で示した脂肪球径の様子とも一致する。Fig. 4における G' 値は5~20°Cでは比較的安定であったが、20~25°C付近になると乳脂肪クリームにおいて G' 値の低下が起こり、植物性クリームでは30~35°C付近で認められた。特に、35°C付近では乳脂肪クリームと糖類添加クリームにおける G' 値の低下が著しく、40°C付近ではいずれのホイップクリームにおいても最も低値であった。このことから、25~40°C付近での貯蔵弾性率の変化は、ホイップクリームの構造すなわち気泡および気泡界面に連続して存在する脂肪球の融解と関連すると推察できたので、次に脂肪球の融解温度について示差走査熱量分析によって比較を行った。

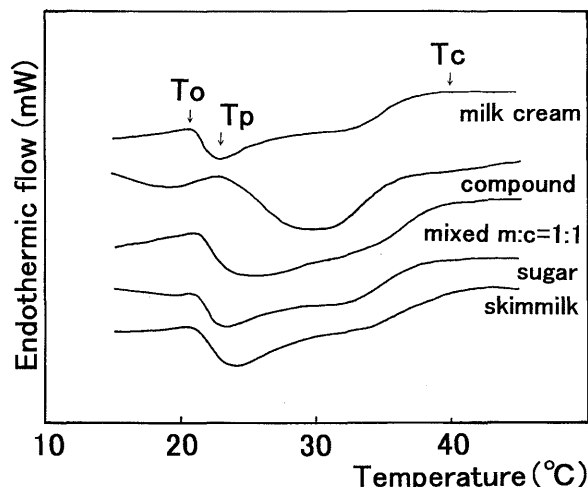


Fig. 5 DSC thermograms of creams

Table 1 Characteristics of cream derived from DSC thermogram

	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (mJ/mg)
milk cream	20.9	23.1	39.6	7.38
compound cream	22.4	29.8	39.8	10.07
mixed m : c = 1 : 1	21.1	27.0	39.8	12.02
milkcream with sugar	20.7	23.3	39.8	8.38
milkcream with skimmilk	20.2	24.1	40.9	9.89

T_o ; the onset temperature of the transition
 T_p ; the peak temperature of the transition
 T_c ; the conclusion temperature of the transition
 ΔH ; endothermic energy

3. 示差走査熱量分析

Fig. 5はDSCの測定結果を示し、Table. 1にはそれぞれ特性値を示した。Fig. 5からクリームは吸熱反応を示しており、いずれのクリームにおいても吸熱反応の終了温度 (T_c) が40°C付近を示し、Fig. 4の結果とも一致していた。乳脂肪の構成脂肪酸は短鎖脂肪酸である酪酸 (C4:0) から長鎖脂肪酸であるアラキシン酸 (C20:0)、不飽和脂肪酸もオレイン酸を中心にリノール酸、パルミトレイン酸など多岐にわたっており¹⁰⁾、融点が異なる。斎藤¹²⁾によれば、冷却クリームを加温した温度上昇中の固体脂肪の割合と液状脂肪の観察では15~20°Cで融解するトリグリセリドが多く、固体脂肪は40°C付近で融解することを示しており、この温度が融解反応の最終点であるということが解る (Table. 1)。DSCにおける吸熱ピーク面積は油脂の融解熱量に相当する¹³⁾ことから、エンタルピーを比較してみると乳脂肪クリームが7.38 mJ/mgで最も小さく、糖類添加、スキムミルク、植物性クリームの順に大きかった。融解温

度の比較では、乳脂肪クリームに糖類およびスキムミルクを添加した違いは認められなかったが、植物性クリームでは高温側にあった。したがって、ホイップクリームの構造は、気泡および気泡周辺部に分散する脂肪球が合一し、この脂肪球径や結晶脂肪の融解温度などが安定性に影響を及ぼすことが判明した。

要 約

ホイップクリームの微細構造と安定性について脂肪の種類（動物性・植物性）、あるいは糖やスキムミルク添加による影響を検討した。

1. ホイップクリームは気泡を取り囲む脂肪球が結合している構造で、ホイップ操作によって脂肪球径が大きくなった。
2. 貯蔵弾性率（ G' ）は温度上昇とともに低下し、40℃付近で最低となった。
3. 示差走査熱量分析においては40℃付近に吸熱反応の終了温度（ T_c ）がみられ、固体脂肪は40℃付近で融解することを示していた。吸熱エンタルピーは乳脂肪クリームが最も小さく、糖類添加、スキムミルク添加、植物性クリームの順に大きくなった。

文 献

- 1) 竹林やゑ子：洋菓子材料の調理科学，第11版，柴田書店，東京，p. 107, (1994).
- 2) 山口和美・中村邦男・斎藤善一・石下真人・鮫島邦彦：北畜会誌，**42**, 73 (2000).
- 3) 山口和美・石下真人・鮫島邦彦：ミルクサイエンス，**49**, 139 (2000).
- 4) 足立達・伊藤敏敏：乳とその加工，初版，建帛社，東京，p. 343, (1987).
- 5) 野田正幸：調理科学，**21**, 142 (1988).
- 6) 菊地基和：化学装置，**3**, 78 (1998).
- 7) 野田正幸：ミルクサイエンス，**48**, 171 (1999).
- 8) 野田正幸：東京農工大学学位論文1997年1月，p. 21
- 9) H. D. Goff: *J. Dairy Sci*, **80**, 2620 (1997).
- 10) 全国農協乳業プラント協会：ミルクのサイエンス，p. 228, (1994).
- 11) S. Kokubo, K. Sakurai, S. Iwaki, M. Tomita and S. Yoshida: *Milchwissenschaft*, **53**, 206 (1998).
- 12) 斎藤善一，西川 勲，三浦弘之，大橋登美男，山中良忠，細野明義，菅野長右エ門，中澤勇二，工藤 力：畜産食品加工学，川島書店，東京，p. 23, (1990).
- 13) 新谷 勲：食品油脂の科学，幸書房，東京，p. 243, (1989).