マヨネーズの製造に関する基礎的研究

(第5報) マヨネーズの乳化状態と安定度に及ぼす油の容積濃度、
水相中の食塩及び酢酸の影響について

押 田 一 夫*

Basic Studies on Mayonnaise Manufacturing

Part V. Effects of volume concentration of oil, sodium chloride and acetic acid in water phase on emulsion's character and stability of mayonnaise

KAZUO OSHIDA*

Globule distribution and viscosity of the mayonnaise which contains salt (0-10%), acetic acid (0-4%) in water phase and soybean salad oil (65 v/v%—inversion point) were measured.

Mean globule diameter of oil droplet and its standard deviation were calculated from percentage volume distribution. Mean globule diameter of oil droplet became smaller with the increase of oil volume concentration and became larger just before inversion point. In addition, the mean globule diameter of the mayonnaise which contains both salt and acetic acid was smaller than that of the mayonnaise which contains either salt or acetic acid.

The viscosity of mayonnaise increased with the increase of oil volume concentration but decreased just before inversion point. The viscosity of the mayonnaise which contains both salt and acetic acid was higher than that of the mayonnaise which contains either salt or acetic acid.

With the increase of oil concentration, the minimum mean globule diameter, the maximum viscosity and the phase inversion point appeared within a narrow range of oil concentration in this order.

The water phase was separated from the mayonnaise which contains either salt or acetic acid and below 80 V/V% of oil after storage for 14 days at 5°C. Lowering the oil concentration of mayonnaise, the separated volume of water phase increased. But, the water phase was not separated from the mayonnaise which contains both salt and acetic acid, or contains over 80 V/V% of oil.

The mayonnaise which contains either salt or acetic acid and below 80 V/V% of oil was very stable against vibration and did not separate oil from the mayonnaise. But, the mayonnaise which contains both salt and acetic acid, or contains over 80 V/V% of oil separated oil from mayonnaise. The higher oil concentration of mayonnaise was the more oil was separated.

(Received May 1, 1976)

マヨネーズの調製に際し、マヨネーズ中のサラダ油を容積濃度 65% から連続的に増加し、転相に至るまで乳化を継続し、その過程におけるマヨネーズのエマルジョンとしての特性、すなわち、粒度分布、粘度を測定した。また、油の容積濃度 65~90% で別箇にそれぞれ調製したマヨネーズの振動に対する安定度と、長期静置に対する安定度を測定した。

これらの粘度、粒度分布、安定度が油の容積濃度と水相中の食塩及び酢酸によって受ける影響を観察した結果、興味ある知見を得たので報告する。

実験方法

1. マヨネーズの乳化、調製

(1) ミキサー

* キューピー株式会社 (東京都渋谷区渋谷 1-4-13)
Q.P. Corporation. Shibuya-ku, Tokyo.

図1のパキュウムミキサーを使用した。攪拌用アジテーターは速度可変モーターで回転する。油の容積濃度の影響を明確にするため、攪拌中、ミキサー内の圧力を100~150 mmHg に保ち、空気泡の混入を防止し、乳化させた。

(2) 連続乳化マヨネーズ

連続乳化マヨネーズの調製法は図2に示した通りである。ミキサー内のマヨネーズ量を一定にするため、当初油濃度 65% のマヨネーズを調製し、次に計算量のマヨネーズを取り出し、油を注入しつつ攪拌して 70% マヨネーズを調製する。次に計算量のマヨネーズを取り出し、油を注入しつつ攪拌して 75% マヨネーズを調製するという操作をくり返し、次第に油濃度を上げ、ミキサー内のマヨネーズが O/W 型から W/O 型へ転相するまで続けた。

(3) 安定度測定用マヨネーズ

このマヨネーズの調製法は図3に示した通りである。連続乳化マヨネーズと異なる点は各々の油濃度と水相中

の食塩及び酢酸の濃度別に 1 パッチずつ調製したことであり、所定量の油の注入後、更に高速で 10 分間攪拌したことである。調製したマヨネーズは 100 g ポリエチレン壺及び 70 g 硝子壺に詰め、試料とした。

(4) マヨネーズの配合

表1は容積濃度で表わした安定度測定用マヨネーズの配合である。卵黄に食塩-酢酸溶液を加えた“卵黄スラリー”から、卵黄固形物以外の水分、食塩-酢酸溶液量を全水分とし、この“全水分”に対して食塩 10% で酢酸 4% になるよう食塩-酢酸溶液を予め調製し、卵黄に加えてマヨネーズを調製した。以下、“全水分”に対し食塩濃度 a%, 酢酸濃度 b% の水相は、水相中 a/b と称することとする。この食塩-酢酸溶液及び卵黄の調製法は第2報¹⁾の時と同様である。なお、油は通常の大豆

図1. パキュウムミキサー

食塩-酢酸溶液 336 ml + 卵黄 280 ml
パキュウムミキサーに投入, 100~150 mmHg, 240 rpm, 5 分攪拌
1130 ml の大豆油を 100 ml/min の速度で注入
油容積濃度 65% のマヨネーズ 1746 ml 調製終了
→65% マヨネーズの一部を取り出す
→大豆油を注入
70% マヨネーズ調製終了
→70% マヨネーズの一部を取り出す
→大豆油を注入
75% マヨネーズ調製終了
→75% マヨネーズの一部を取り出す
→大豆油を注入
80% マヨネーズ調製終了

図2. 連続乳化マヨネーズの調製法

食塩-酢酸溶液 + 卵黄
パキュウムミキサーに投入, 100~150 mmHg, 240 rpm 5 分攪拌
大豆油を 100 ml/min の速度で注入
352 rpm 10 分攪拌
100 g ポリエチレン壺と 70 g 硝子壺に充填, 5°C 保存

図3. 安定度測定用マヨネーズの調製法

表1. 油の容積濃度を異にするマヨネーズの配合

区 分	大豆油		食塩-酢酸溶液		卵 黄	
	容積 (ml)	濃度 (V/V%)	容積 (ml)	濃度 (V/V%)	容積 (ml)	濃度 (V/V%)
65	1130	64.8	336	19.2	280	16.0
70	1217	69.7	288	16.5	240	13.8
75	1305	74.8	240	13.8	200	11.4
80	1391	79.8	192	11.0	160	9.2
85	1478	84.8	144	8.3	120	6.9
90	1567	89.9	96	5.5	80	4.6

サラダ油を使用した。

2. 粒度分布

連続乳化マヨネーズまたは安定度測定用マヨネーズ 0.048 g を日科機 (株) の希薄塩化ナトリウム溶液 (約 1%) 「Isoton」で 200 ml に希釈し、5 分間室温に保存後、口径 280 μm の細孔管 (アパーチャー) を使用し、Coulter Electronics Inc., 製 Model ZB 型コールター

カウンターで粒度分布を測定した。

3. 粘度

70 g 硝子壺の試料を恒温槽で 25°C にし、東京計器 (株) 製, BH 型粘度計 (単一円筒型回転粘度計) と 7 号のローター (純円筒形) を使用し, 2 rpm または 20 rpm (ずり速度 0.4188 sec^{-1} または 4.188 sec^{-1}) で測定した。

卵黄スラリーの粘度は二重円筒型回転粘度計で、粘度測定範囲に従い計測部の内外の円筒を交換できる構造の同社製 ELD 型粘度計を使用した。計測部のローターは、コーンプレート形 (円錐平板形), ST 形 (円錐円筒形), 特形 (純円筒形) を使用し, ずり速度 4.188 sec^{-1} におけるずり応力を求め, みかけの粘度として表現した。

4. マヨネーズの安定度

(1) 油の分離

第 1 報²⁾の方法に従い, 100 g ポリエチレン壺のマヨネーズを振動速心法によって 25°C における油の分離量を測定した。

(2) 水相の分離

100 g ポリエチレン壺のマヨネーズを 5°C, 14 日間静置した時, 容器底に分離した水相の容量を測定した。

結果及び考察

1. 連続乳化マヨネーズ

(1) 粒度分布

図 4 は水相中の食塩濃度 0% で酢酸濃度 4% のマヨネーズの粒度分布を油濃度別に示したものである。粒度分布として百分率粒子数分布曲線と, 百分率粒子体積分布曲線とを示したが, 前者は粒子径に対する粒子数の百分率曲線であり, 後者は粒子径に対する粒子体積の百分率曲線である。粒子数分布曲線と粒子体積分布曲線の両者とも山型のピークを持ち, 粒子数分布曲線の山が粒子径の小さい方へかたよっている。このことは粒子径の小さい粒子数は非常に多いが, これが全体の中で占める体積は小であり, 粒子径の大きい粒子数は少ないがこれの占める体積が大部分を占めていることを示している。

水相中 5/0 の場合を図 5 に, また水相中 10/2 の場合を図 6 に示したが水相中 0/4 の場合とほぼ類似した傾向が認められ, いずれも粒子数分布曲線の山が粒子径の小さい方へかたよっている。

表 2 は粒子 1 箇当りの加重平均粒子径と標準偏差

図 4. 連続乳化マヨネーズの粒度分布

☆ 1: 水相中の食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%, 油濃度 65 V/V%
N=粒子数合計 (箇)
V=粒子体積分合計 ($\times 1000 \mu\text{m}^3$)
—— 百分率粒子体積分布曲線
----- 百分率粒子数分布曲線

図 5. 連続乳化マヨネーズの粒度分布

☆ 1: 水相中の食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%, 油濃度 65 V/V%
N=粒子数合計 (箇)
V=粒子体積分合計 ($\times 1000 \mu\text{m}^3$)
—— 百分率粒子体積分布曲線
----- 百分率粒子数分布曲線

図6. 連続乳化マヨネーズの粒度分布

☆1: 水相中の食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%, 油濃度 65 V/V%

N=粒子数合計 (箇)

V=粒子体積分合計 (×1000 μm³)

—— 百分率粒子体積分佈曲線

----- 百分率粒子数分布曲線

を示し、図7に水相中の食塩濃度及び酢酸濃度をパラメーターとし油濃度に対する平均粒子径の関係を示した。また、表3に百分率粒子体積分佈から算出した平均粒子径と標準偏差を示し、図8に水相中の食塩濃度及び酢酸濃度をパラメーターとし、油濃度に対する粒子径の関係を示した。これら表2、表3、図7、図8を比較すると、本実験の場合、粒子径のばらつきの範囲が広いマヨネーズの乳化状態を表わし、かつ、油の容積濃度の影響を比

較するには、百分率粒子体積分佈からの平均粒子径と標準偏差による方がよいと思われる。例えば、図7において水相中 0/4 で油濃度 65%, 70%, 75% の平均粒子径は水相中 10/2 の 65%, 70%, 75% の平均粒子径より小となっているが、顕微鏡写真図10 (水相中 0/4) と図11 (水相中 10/2) の 65%, 70%, 75% を比較すると水相中 0/4 の方が粒子径が大きい。百分率粒子体積分佈から算出した平均粒子径で示した図8の方が顕微鏡写真の乳化状態と傾向がほぼ一致している。また図8は、粒子径が油濃度の上昇に従い次第に小となり、転相前に急に大となる変化が明瞭に表われている。表3によれば粒子径に対する標準偏差も油濃度の上昇に従い小となり、転相前に再び大となる傾向が認められる。従って本実験の場合は粒子1箇当りの加重平均粒子径より百分率粒子体積分佈からの平均粒子径 (以下、単に平均粒子径と称す) と標準偏差で表わす方がよいと思われる。

図8によれば、水相中に食塩または酢酸が単独で存在する水相中 5/0, 10/0, 0/4 のマヨネーズは食塩及び酢酸が共存する水相中 5/4, 10/2, 10/4 に比較し、油濃度 65% から転相に至るまで全般に粒子径が大であることが認められ、図9~12の顕微鏡写真も同じ傾向が認められる。

(2) 粘度

表2. 連続乳化マヨネーズの加重平均粒子径と標準偏差

区 分*		油 の 容 積 濃 度 (V/V%)							
		65	70	75	80	82	84	86	88
0/4	粒子径 (μm)	20.8	22.9	23.2	25.5	—	—	25.3	25.1
	標準偏差	18.6	10.7	10.3	11.5	—	—	23.7	23.6
5/0	粒子径 (μm)	13.4	19.7	20.4	22.9	26.8	—	—	26.7
	標準偏差	9.8	12.8	12.0	12.8	11.2	—	—	10.3
10/2	粒子径 (μm)	26.6	24.7	24.2	21.2	19.7	17.6	18.0	14.9
	標準偏差	10.2	7.2	6.4	5.9	6.0	6.0	7.3	4.3

		油 の 容 積 濃 度 (V/V%)							
		90	91	92	93	94	95	96	97
0/4	粒子径 (μm)	—	25.7	24.7	22.3	20.4	20.2	17.6	転相
	標準偏差	—	24.7	23.6	22.8	19.5	18.8	15.2	
5/0	粒子径 (μm)	25.4	25.9	28.2	22.0	18.9	16.7	18.2	転相
	標準偏差	3.5	6.4	15.3	6.0	5.5	5.5	6.4	
10/2	粒子径 (μm)	14.2	—	16.3	転相	—	—	—	—
	標準偏差	5.2	—	7.0	—	—	—	—	

*: 0/4...水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%

5/0...水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%

10/2...水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%

表 3. 連続乳化マヨネーズの百分率粒子体積平均粒子径

区 分*	油 の 容 積 濃 度 (V/V%)															
	65	70	75	80	82	84	86	88	90	91	92	93	94	95	96	97
0/0 粒子径 (μm) 標準偏差	45.3 17.9	45.7 16.4	47.8 17.9	49.0 16.7	—	—	42.7 13.5	—	32.2 8.8	—	30.6 12.9	26.5 7.6	30.6 8.1	30.8 8.9	転相	
0/4 粒子径 (μm) 標準偏差	37.4 13.6	38.0 13.9	37.1 13.2	36.2 11.1	—	—	34.6 10.8	33.8 10.2	—	32.6 10.9	31.6 9.6	27.5 8.5	26.7 9.2	31.0 13.8	33.0 15.3	転相
5/0 粒子径 (μm) 標準偏差	42.3 18.9	45.9 17.6	42.1 16.3	43.5 15.5	—	—	39.7 11.8	35.1 10.9	33.4 8.9	32.6 10.8	28.2 8.3	27.4 8.5	24.5 8.8	22.5 8.5	24.4 7.2	転相
5/4 粒子径 (μm) 標準偏差	34.0 10.6	33.5 9.7	31.9 11.2	27.3 15.7	27.8 10.8	29.8 10.5	29.9 13.2	30.7 14.1	32.0 17.1	22.8 11.4	28.9 13.2	転相	26.3 10.6	25.9 11.3	転相	
10/0 粒子径 (μm) 標準偏差	45.3 20.6	43.0 18.3	41.7 15.7	40.6 15.0	38.9 14.2	37.6 11.5	36.3 10.9	32.2 7.3	29.3 7.3	—	27.3 9.0	26.3 10.6	24.2 10.3	25.9 11.3	転相	
10/2 粒子径 (μm) 標準偏差	35.4 8.2	30.5 7.3	28.8 6.7	25.3 6.1	25.5 8.4	23.9 9.1	—	19.1 6.2	20.6 7.9	—	25.9 10.5	転相				
10/4 粒子径 (μm) 標準偏差	29.6 8.9	28.4 8.1	29.2 9.9	27.1 8.4	28.9 10.9	26.8 9.5	23.1 7.1	24.2 8.6	26.0 9.6	—	転相					

*: 0/0...水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%; 0/4...水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%; 5/0...水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%; 5/4...水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%; 10/0...水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%; 10/2...水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%; 10/4...水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%.

図 7. 連続乳化マヨネーズの加重平均粒子径

□—□ 水相中, 食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
●—● 水相中, 食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
△—△ 水相中, 食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%

図 8. 連続乳化マヨネーズの百分率粒子体積平均粒子径

○—○ 水相中, 食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
●—● 水相中, 食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
△—△ 水相中, 食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
▲—▲ 水相中, 食塩濃度 5%, 酢酸濃度 4%
□—□ 水相中, 食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
□—□ 水相中, 食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
■—■ 水相中, 食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

水相中の食塩及び酢酸の濃度をパラメーターとし、油の濃度に対するマヨネーズの粘度の関係を図 13 に示す。粘度は油濃度の増加に従い上昇し、ある濃度を超えると急速に下降する。水相中に食塩又は酢酸が単独で存在する時は、油濃度 80% まで粘度は低いと 85% を超えると急上昇する。しかし、水相中 10/4, 10/2, 5/4 のマヨネーズは油濃度 65% においてすでに粘度が高く、濃度の増加に従い急上昇する。また、最高粘度に達する油濃度は食塩または酢酸が単独で存在する時より低いことが認

図9. 連続乳化マヨネーズの顕微鏡写真

スケール1目=3.9 μm , 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%, マヨネーズ中油濃度 65~96 V/V%

められる。

エマルジョンの粘度に影響を及ぼす要因として外相すなわち連続相の粘度, 内相の容積濃度, 内相の粘度, 分散粒子径と粒度分布等が指摘されている⁸⁾⁴⁾⁵⁾。表4に, マヨネーズの連続相である水相を形成する卵黄スラリーを調製して, そのまま静置し保存したときの粘度の経時変化を測定した結果を示す。食塩又は酢酸が単独に存在する時は水相の粘度は低い, 共存する時は高く, 経時的に粘度が上昇することが認められる。図13において, 最高粘度に達するまでのマヨネーズの粘度は水相中 10/4, 10/2, 5/4 のマヨネーズにおいては油濃度の影響の他に卵黄スラリーの粘度も影響し, 水相中 0/0, 0/4, 5/0, 10/0 のマヨネーズは卵黄スラリーの粘度の影響は弱く, 油濃度の影響が強いと思われる。

(3) マヨネーズの乳化状態

粒度分布, 粘度の測定結果と顕微鏡写真から, 乳化状態と油濃度との関係を要約し表5に示した。これによれば油濃度の上昇に従い乳化が破壊しやすい濃度が最初に現われ, 次に平均粒子径の最小濃度, 粘度の最高濃度,

表4. 卵黄スラリーの粘度

区 分*	直 後	1日後	3日後	5日後	7日後
0/0	0.75	—	—	—	0.51
0/2	0.63	—	—	—	0.63
0/4	1.18	—	—	—	0.51
5/0	1.18	—	—	—	0.63
5/4	4.74	—	—	—	122.51
10/0	0.40	0.51	0.57	0.41	0.46
10/2	2.50	6.10	138.5	198.5	238.7
10/4	23.5	160.0	363.5	453.7	489.3

・すり速度 4.188 (sec^{-1}) におけるすり応力 (dyne/cm^2) 25°C

・卵黄スラリー: 卵黄1容に食塩-酢酸溶液 1.2 容を添加し均一に混合した

* 0/0: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
 0/2: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
 0/4: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
 5/0: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
 5/4: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 4%
 10/0: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
 10/2: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
 10/4: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

O/W から W/O への転相開始が現われる。転相点における油濃度は水相中 10/4 が最低で, 水相中 5/0 及び

図 10. 連続乳化マヨネーズの顕微鏡写真

スケール 1 目=3.9 μm , 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%, マヨネーズ中油濃度 65~96 V/V%

表 5. 油の容積濃度と連続乳化マヨネーズの状態

区分*1	乳化が破かいされやすい油濃度*2	マヨネーズの粘度最大点	O/W→W/Oへ転相開始*3	転相*4	粒子径最小点	粒子径最小点における標準偏差
5/0	93	95	96	96~97	95	22.5
0/4	93	94	96	96~97	94	26.7
0/0	93	94	95	95~96	93	26.5
10/0	92	95	95	95~96	94	24.2
5/4	86	86	92	92~93	91	22.8
10/2	86	88	92	92~93	88	19.1
10/4	84	88	91	91~92	86	23.1

*1: 5/0: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%, 0/4: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%, 0/0: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%, 10/0: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%, 5/4: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 4%, 10/2: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%, 10/4: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

*2: マヨネーズが容器に附着しなくなる濃度

*3: 顕微鏡による観察

*4: ミキサー内で実際に転相した濃度

*5: 粒子径 (μm)

0/4 が最高であるが、本実験のマヨネーズの調製法では油濃度の最高は 96~97% にあり、これを超えるマヨネーズは調製できなかった。

BECHER⁶⁾ は単分散系 エマルジョン の内相の理論的最

高濃度は 74.02 V/V% であるが、粒子径が大小不均一である時と、球形粒子が変形する時はこれ以上に達することが可能であるといい、LISSAND⁷⁾ は内相の容積率に関する詳細な理論的検討を加えているが、図 9~12 に

図 11. 連続乳化マヨネーズの顕微鏡写真

スケール1目=3.9 μm 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%, マヨネーズ中油濃度 65~92 V/V%

表 6. マヨネーズの粒子径に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸の影響, 調製直後

区 分*	油 の 濃 度 (V/V%)					
	65	70	75	80	85	90
0/0 粒子径 (μm)	49.6	43.6	35.9	34.6	29.1	22.9
標準偏差	15.4	15.7	10.8	11.4	7.9	6.2
0/2 粒子径 (μm)	35.5	37.7	28.2	28.5	26.6	24.8
標準偏差	12.0	12.0	12.9	6.8	6.8	5.6
0/4 粒子径 (μm)	31.7	33.6	30.8	28.5	25.4	25.0
標準偏差	9.3	9.1	7.7	6.7	6.7	8.4
5/0 粒子径 (μm)	35.8	35.9	33.7	27.4	27.0	24.3
標準偏差	9.6	10.5	8.6	7.3	5.6	6.5
10/0 粒子径 (μm)	30.0	35.8	33.7	30.0	25.6	16.9
標準偏差	8.7	10.1	8.5	7.0	5.8	7.0
10/2 粒子径 (μm)	24.7	23.7	23.4	20.6	21.5	24.9
標準偏差	5.1	5.7	5.0	5.1	8.4	11.8
10/4 粒子径 (μm)	19.0	21.6	19.3	20.2	21.7	26.0
標準偏差	4.3	6.4	4.7	6.9	7.9	11.2

* 0/0: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%

0/2: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%

0/4: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%

5/0: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%

10/0: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%

10/2: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%

10/4: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

り, マヨネーズは多分散系で粒子の著しい変形が認められ, そのために 74.02% 以上の濃度においてもエマルジ

ョンとして存在し得ると思われる。

2. 安定度測定用マヨネーズ

図 12. 連続乳化マヨネーズの顕微鏡写真

スケール 1 目=3.9 μm , 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%, マヨネーズ中油濃度 65~91 V/V%

表 7. マヨネーズ粒子径に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸の影響, 5°C, 14 日後

区 分*	油 の 濃 度 (V/V%)					
	65	70	75	80	85	90
0/0 粒子径 (μm)	52.8	46.4	36.6	33.5	30.2	27.3
標準偏差	15.8	12.8	11.5	8.9	9.0	11.0
0/2 粒子径 (μm)	33.7	35.9	29.3	29.3	28.0	26.4
標準偏差	10.2	12.1	8.2	8.7	8.7	7.8
0/4 粒子径 (μm)	30.2	34.0	33.0	29.6	26.0	23.7
標準偏差	8.3	12.3	10.1	8.9	7.8	7.2
5/0 粒子径 (μm)	34.4	36.5	29.3	29.3	26.9	23.0
標準偏差	10.6	10.8	8.2	8.7	6.5	6.0
10/0 粒子径 (μm)	33.5	36.6	33.8	30.9	25.7	20.3
標準偏差	9.3	11.2	9.6	8.1	6.6	7.3
10/2 粒子径 (μm)	25.7	25.4	24.3	23.1	20.9	16.9
標準偏差	6.8	8.2	6.7	7.5	7.4	8.7
10/4 粒子径 (μm)	20.8	22.7	22.4	24.6	21.8	26.6
標準偏差	6.1	8.5	8.6	10.8	9.1	11.8

* 0/0: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%

0/2: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%

0/4: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%

5/0: 水相中食塩酢度 5%, 酢酸濃度 0%

10/0: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%

10/2: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%

10/4: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

(1) 粒度分布

連続乳化マヨネーズの粒度分布の表わし方に従い, 平

均粒子径と標準偏差を表 6, 表 7 に示した。また油濃度と平均粒子径との関係を図 14, 図 15 に示した。連続乳

化マヨネーズに比較し攪拌時間が10分間長いため、図8と図14を比較すると図14の安定度測定用マヨネーズは粒子径が全般に小さい。

図13. 連続乳化マヨネーズの粘度
ずり速度 $4.188 \text{ (sec}^{-1}\text{)}$, 25°C

- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
- △—△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
- ▲—▲ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 4%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
- ◻—◻ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

表8. マヨネーズの粘度と分離水相量

区 分	バキューム・ミキサー製マヨネーズ		コロイドミル製マヨネーズ	
	みかけ粘度*2	分離水相量*3	みかけ粘度	分離水相量
0/0	140	+	1315	—
0/2	195	++	2045	—
0/4	257	++	1675	—
5/0	195	+++	2150	—
10/0	221	+++	4400	—
10/2	1605	—	2500	—
10/4	2198	—	2150	—

*1 0/0: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%

0/2: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%

0/4: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%

5/0: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%

油濃度 75 V/V% のマヨネーズ, 5°C , 28 日後

*2 ずり速度 $0.4188 \text{ (sec}^{-1}\text{)}$ 25°C で測定, ポアズ

*3 + の多い程多量の水相を分離し, — は水相を分離しないことを示す

しかし表6の水相中 10/2, 10/4 のマヨネーズは油濃度 90% において表3の同濃度のマヨネーズに比し粒子径と標準偏差が大となり, 長時間の攪拌で粒子径は必ず

しも小さくならない。マヨネーズ調製直後の図14と 15°C 14日保存後の図15とを比較すると, 保存期間が短かく温度が一定で低温のためと思われるが, 平均粒子径に大きな変化は見られない。しかし水相中 10/2, 10/4 は保存後, 粒子径が大きくなるばかりか, 標準偏差も大となる傾向が認められる。

(2) 粘度

マヨネーズ調製直後の粘度と 5°C 14日保存後の粘度の測定結果をそれぞれ図16及び図17に示した。この調製直後のマヨネーズと連続乳化マヨネーズの粘度の測定結果の図13とを比較すると, 水相中 0/0, 0/2, 0/4, 5/0, 10/0 のマヨネーズの粘度は油濃度80%までは著しい差は認められないが, 80%を超えると図16のマヨネーズは粘度が高い。すなわち粘度に対する長時間攪拌の効果が認められる。しかし水相中 10/2, 10/4 の場合は油濃度80%までは

図 14. マヨネーズの粒子径に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸濃度、調製直後

○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
 ○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
 ●---● 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
 △---△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
 ■---■ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

図 15. マヨネーズの粒子径に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸濃度、4°C 14 日後

○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
 ○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
 ●---● 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
 △---△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
 ■---■ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

図 16 の方が粘度は高いが 80 を超えても粘度は左程、上昇せず変化が少くなり図 13 のそれより低くなっている。すなわち、この場合は長時間攪拌で粘度が低下する結果となっている。

図 16. マヨネーズの粘度に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸の影響

調製直後、すり速度 4.188 (sec⁻¹), 25°C

○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
 ○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
 ●---● 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
 △---△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
 ■---■ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

図 17. マヨネーズの粘度に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸の影響

5°C 14 日後、すり速度 4.188 (sec⁻¹), 25°C

○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
 ○---○ 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
 ●---● 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
 △---△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
 □---□ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
 ■---■ 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

また、図 16 と図 17 を比較し、保存による粘度の変化をみると、水相中 10/2, 10/4 以外は著しい変化は認められない。水相中 10/2, 10/4 の場合は油濃度 80% 以下のマヨネーズの粘度は保存後、高くなるが 85% 以上では保存によって粘度が低くなることが認められる。この保存後の粘度の上昇は表 4 の結果から、保存による卵黄スラリーの経時的な粘度上昇のためと考えられ、油濃度 85% 以上の粘度低下は、保存後、粒子径と標準偏差が大きくなることから、油の分散粒子を包む卵黄スラリーの薄い膜が破れエマルジョンの破壊が生じたためと推

図 18. マヨネーズの分離水相量
5°C, 14 日後

- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
- △---△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

察される。

(3) 水相の分離

水相中の食塩及び酢酸濃度の異なる油濃度 65~90% のマヨネーズを 100 g ポリエチレン壺に詰め、5°C 14 日保存後、容器底に分離した水相の容量を測定した結果を図 18 に示した。水相中 10/2, 10/4 のマヨネーズは水相の分離は全く認められないが、これ以外のマヨネーズは油濃度 80% 未満で水相を分離し、油濃度が低くなるに従い分離量は多くなっている。また、水相中 10/0 が最も多量に分離し、5/0 がこれに次ぎ、水相中 0/0, 0/2, 0/4 は分離量は比較的少量でこの 3 者間に著しい差は認められない。

表 8 は本実験の安定度測定用のパキュウムミキサーで調製したマヨネーズと、これと同一配合のものを第 3 報⁸⁾に準じ、コロイドミルに通したマヨネーズの粘度と水相分離について測定した結果である。これによればコロイドミル製のマヨネーズは粘度が著しく高く、水相を分離しない。

また、表 9 は卵黄スラリーの比重の測定結果である。食塩濃度の高い水相中 10/0, 10/2, 10/4 は比重が大であり、さらに 10/0 のマヨネーズの粘度が低いから水相

表 9. 卵黄スラリーの比重

区 分*	みかけの比重 25°C
0/0	1.001
0/2	1.008
0/4	1.016
5/0	1.042
5/4	1.043
10/0	1.058
10/2	1.066
10/4	1.072

* 0/0: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 0%
0/2: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
0/4: 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
5/0: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
5/4: 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 4%
10/0: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
10/2: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
10/4: 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

卵黄スラリー: 卵黄 1 容に食塩-酢酸溶液 1.2 容を添加し均一に混合したもの。

図 19. 油の分離量に及ぼす油の濃度と水相中の食塩と酢酸の影響

5°C 14 日後, 100 g ポリエチレン壺を 25°C, 振幅 15 mm, 500 cpm, 60 分振動

- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 2%
- 水相中食塩濃度 0%, 酢酸濃度 4%
- △---△ 水相中食塩濃度 5%, 酢酸濃度 0%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 0%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 2%
- 水相中食塩濃度 10%, 酢酸濃度 4%

の分離量が最も多くなったと思われる。また、油濃度の低いほど、分離量が多いことから、この水相分離の現象は分散相の油粒子のクリーニングであると考えられる⁹⁾。

(4) 油の分離

振動による油の分離量の測定結果は図 19 に示した通りである。水相中 10/4 のマヨネーズは油濃度の最も低い 65% においても多量の油を分離し、油濃度の上昇に

従い分離量は増加する傾向が認められる。水相中 10/2 は 10/4 に比し分離量はやや少く、油濃度 65% では分離しない。水相中 0/2, 0/4, 5/0, 10/0 のマヨネーズは油濃度 80% 未満で油は分離せず、80% を超えると分離しはじめるが少量で、水相中 10/4, 10/2 のマヨネーズに比較し安定度は高い。

水相中 0/0, 0/2, 0/4, 5/0, 10/0 のマヨネーズは油濃度 80% 未満でクリームングを起し水相を分離し、油濃度 80% を超えると油の分離を起している。これらの結果から水相中 0/0, 0/2, 0/4, 5/0, 10/0 のマヨネーズにおいては油の濃度すなわち分散相の容積率がエマルジョンの安定性に微妙な影響を与えており、本実験のマヨネーズの配合と調製法による時は、油濃度 80% 未満の時は分散相が過少で水相に容積的な余裕を生じ、80% を超える時は分散相が過剰で油の分離を起しやすくなるのであると思われる。

これに対し水相中 10/4, 10/2 のマヨネーズは粘度が高く平均粒子径が小であるが振動に対する安定度が低い。この場合は油濃度の影響よりも水相中の食塩と酢酸の影響が強く、分散した油粒子を包む卵黄スラーの薄膜の機械的強度が弱くなって振動によって破れ、油の分離が起りやすくなると思われる。

要 約

マヨネーズの水相中の食塩及び酢酸の濃度を異にする卵黄スラーに大豆油を注入し、転相するまでの粒度分布、粘度を測定し、顕微鏡写真と共に検討し次の結果を得た。

マヨネーズの乳化状態を表わす時に油濃度、食塩及び酢酸の影響を比較するには、粒子 1 箇あたりの加重平均粒子径よりも、百分率粒子体積分布から求めた平均粒子径と標準偏差による方が適当である。油の平均粒子径は油濃度が増加するに従って小となり、最小ピークを過ぎると再び大となるが、食塩及び酢酸が共存する場合は単独で存在する場合より粒子径は小であった。

マヨネーズの粘度は油の濃度を増加すると上昇し、ある濃度を超えると急激に低下し転相するが、食塩及び酢酸が共存する場合は、単独で存在する場合より油が低濃度で最大粘度に達した。

油濃度を増加すると粒子径の最小点、粘度の最大点、W/O 型への転相点がこの順序で、しかも非常にせまい

濃度範囲で出現した。

また、水相中の食塩及び酢酸の濃度と油濃度の異なるマヨネーズを別箇に調製し、安定度を測定した。

食塩及び酢酸が単独で存在する場合は油濃度 80 V/V% 以下で水相を分離し、油濃度が低いほど多量の水相を分離した。しかし 80 V/V% を超えると分離しなかった。食塩及び酢酸が共存する場合は油濃度 65 V/V% ~ 90 V/V% の全域にわたり水相の分離は認められなかった。

しかるに、食塩及び酢酸が単独で存在する場合は、油濃度 80 V/V% 以下では振動に対し極めて安定で油を分離しないが、80 V/V% を超えると油の分離量が増大し安定度が低下した。

水相中の食塩及び酢酸の濃度が高く共存する時はマヨネーズの粘度が高く、平均粒子径が小であるが振動に対する安定度は低く多量の油を分離し、この時の安定度は油濃度より食塩及び酢酸濃度の影響を強く受けた。

おわりに、本研究は東京農業大学大学院研究生として行なったもので、その間終始、御指導を賜った同学農学部農芸化学科、小原哲二郎教授に深謝します。

本報告の要旨は 1976 年 6 月、日本食品工業学会第 23 回大会(東京)で発表した。

文 献

- 1) 押田一夫：食品工誌，22，(4)，164 (1975).
- 2) 押田一夫：食品工誌，22，(4)，178 (1975).
- 3) BECHER, P.: Emulsions, Theory and Practice, Second Edition. (Reinhold Publishing Corporation), p. 61 (1966).
- 4) SHERMAN, P.: Emulsion Science (Academic Press), p. 286 (1968).
- 5) LISSAND, K. J.: Emulsions and Emulsion Technology (Marcel Dekker, Inc.), p. 39 (1974).
- 6) BECHER, P.: Emulsions Theory and Practice, Second Edition. (Reinhold Publishing Corporation), p. 101 (1966).
- 7) LISSAND, K. J.: Emulsions and Emulsion Technology (Marcel Dekker, Inc.). p. 10 (1974).
- 8) 押田一夫：食品工誌，22，(10)，501 (1975).
- 9) BECHER, P.: Emulsions Teory and Practice, Second Edition, (Reinhold Publishing Corporation), p. 150 (1966)

(昭和 51 年 5 月 1 日受理)