

## 第6章 エマルションモデルにおけるあぶらっこさの数式化

### 6.1 はじめに

前章において、あぶらっこさを客観的パラメータによって数式化することを試みたが、十分な結果は得られなかった。あぶらっこさは第2章において明らかにしたように、複数の食味要因が関与する複合的な感覚用語であることから、このような特徴をもつ感覚用語に対して最初から食物全体を対象とすることは無理があると考えられる。

そこで本章においては、でき得る限り単純なモデル系で実験を組み、あぶらっこさを客観的パラメータで数式化することを試みた。モデル食品を用いて実験を行い、あぶらっこさと食品の性状との関係を詳細に検討した。

対象として、油脂が分散している状態のモデル系を取り上げることにし、試料として水中油滴型エマルション(O/W エマルション; oil in water emulsion)を用いた。分散系のモデルとしてエマルションを用いる妥当性については松本ら<sup>158) 159)</sup>がいくつか挙げているが、本章において O/W エマルションを用いた理由はつぎのとおりである。

- ①エマルションは本来、非平衡系であるが、乳化剤の存在により相平衡部分が局在し、実在の状態を象徴するモデルになりうる。
- ②生成した分散粒子は界面張力のためほぼ完全な球形であり、分散粒子の形状からくる複雑さが無い。
- ③油脂の含量および分散状態を任意に調節できる。
- ④連続相が水相であるので、多糖類や呈味性物質を添加することにより容易に粘度や味をつけることができる。

あぶらっこさは油脂含量だけでは説明しきれず、油脂の存在状態やテクスチャーなどが関わっていると予測される。O/W エマルション系においては、油脂

含量は油相体積分率 $\phi$ で、油脂の存在状態は粒度で、テクスチャーは粘度でそれぞれ表される。そこでまず、あぶらっこの知覚に必要な油脂の最低量を調べ、さらにあぶらっこの強度評価とエマルションの $\phi$ 、粒度および粘度との関係について詳細に検討し、数式化を試みた。

## 6. 2 方法

### 6. 2. 1 試料

#### 6. 2. 1. 1 材料

試料の調製にあたっては、油相体積分率 $\phi$ 、粒度および粘度のそれぞれが可能な限り広い範囲にあり、かつ安定な O/W エマルションが得られるよう留意した。試料エマルションの材料は、つぎに示すとおりである。

#### (1)分散相（油相）：油

エマルションの材料として日常用いられる植物油の乳化性は、種類によってほとんど異ならない<sup>160)</sup>ことが知られているので、最も入手しやすいコーン油を用いた。製造後3カ月以内のコーンサラダ油（味の素製）を用い、5℃で光を遮断して保存し、試料調製時には室温に戻して用いた。

#### (2)連続相（水相）：水および増粘剤

水は蒸留水を用いた。

エマルションの粘度は、一般に油相体積分率 $\phi$ が大きいほど、また油滴の粒子径が小さいほど高い<sup>159) 161) -163)</sup>ことが知られているが、水相の粘度を高めれば、これらと関わりなくエマルションの粘度を増加させることができる。そ

ここで水相に増粘剤を用いることにした。増粘効果のある多糖類は数多く、これらの粘性特性に関する研究<sup>164) - 167)</sup>はいくつか行われている。これらの増粘剤は一般には、数種の多糖類を組み合わせることで、増粘効果および粘度の安定性はより高まると言われている。そこで本章では、特に断りのない限り、増粘剤にはキサントガム40%、タマリンドガム40%およびデキストリン20%から構成されるガムエースM（太陽化学製）を使用した。これらの多糖類の粘性特性を表6.1に記した。

### (3) 乳化剤：卵黄

乳化剤には、さまざまな乳化条件において強い乳化力を示す<sup>168) - 170)</sup>卵黄を用いることとした。卵の乳化力は長期の貯蔵により低下する<sup>171)</sup>ことを考慮し、産卵後1週間以内の卵を用いた。

割卵して卵白と卵黄を分離し、卵黄を20メッシュの篩を通して、卵黄膜を除去して用いた。

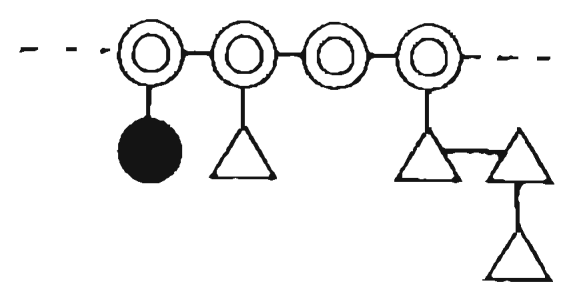
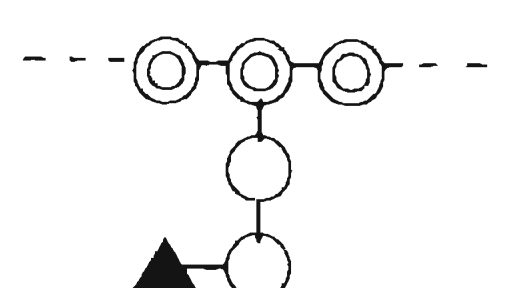
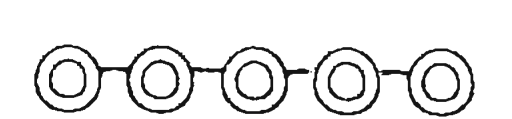
## 6. 2. 1. 2 試料の調製

### (1) あぶらっこさの知覚評価に用いる試料

あぶらっこさの知覚に必要な油相体積分率 $\phi$ を調べるための試料エマルジョンの材料配合を表6.2に示した。 $\phi$ を0、0.5、0.15、0.20、0.25、0.35および0.45、乳化剤濃度を全て15.0 V/V%とし、蒸留水を加えて100%とした。また、各 $\phi$ において、可能な限り広範囲の物性をもつ試料を調製するために、増粘剤を全体の0.5~5.0 W/V% 加えた。さらに $\phi$ が0の試料は、水相部（水および増粘剤）のみの試料（No.1,2）と水相部と乳化剤から成る試料（No.3,4）を調製し、全部で27種類のエマルジョンを調製した。

蒸留水(20.0~50.0 ml)、卵黄(0.0あるいは7.5 ml)および油(0.0~22.5 ml)で全量を50.0 ml とし、増粘剤(0.25~2.50 g)とともに200 ml のカップに入れ、

表6.1 多糖類の粘性特性

名称	タマリンドガム	キサントガム	デキストリン
平均分子量	115 000	2 400 000	900
構造	 D-グルコース(◎) 3 D-キシロース(△) 2 D-ガラクトース(●) 1	 D-グルコース(◎) 7 D-マンノース(○) 5 D-グルクロン酸(▲) 5	 D-グルコース(◎)
濃度の 粘 影響*	1.0%: 140cP 1.5%: 500cP	1.0%: 930cP 1.5%: 1 900cP	1.0%: 0cP 1.5% 0cP
pHの 度 影響	pHによる変化なし	pH1~11で安定	pHによる変化なし
塩の 挙 影響	塩による変化なし	塩により粘度増加 3%NaClで1.3~1.6倍	塩による変化なし
温度の 動 影響	加熱により粘度低下	熱に安定	熱にほぼ安定
その他	糖類, アルコール無機硫酸塩 でペクチン同様ゼリーを形成	酵素に分解されず、 安定粘度を保つ	
解性	冷水で可溶	冷水で可溶	冷水で可溶

\*: Brookfield Model LVF viscometer, 25°C 60rpm による測定

佐野征男: *New Food Ind.*, 20, (9), 20 (1978) <sup>164)</sup>

矢野正夫, 久芳啓資: *フードケミカル*, 10, 63 (1987) <sup>165)</sup> 一部より引用

表6.2 あぶらっこさの知覚評価に用いる試料の材料配合

試料 番号	φ	油		水		増粘剤		卵黄	
		体積 (ml)	割合 (V/V%)	体積 (ml)	割合 (V/V%)	重量 (g)	割合* (W/V%)	体積 (ml)	割合 (V/V%)
1	0.00	0.0	0.0	50.0	100.0	0.50	1.00	0.0	0.0
2	0.00	0.0	0.0	50.0	100.0	1.00	2.00	0.0	0.0
3	0.00	0.0	0.0	42.5	85.0	0.50	1.00	7.5	15.0
4	0.00	0.0	0.0	42.5	85.0	1.00	2.00	7.5	15.0
-----									
5	0.05	2.5	5.0	40.0	80.0	0.50	1.00	7.5	15.0
6	0.05	2.5	5.0	40.0	80.0	1.00	2.00	7.5	15.0
7	0.05	2.5	5.0	40.0	80.0	1.50	3.00	7.5	15.0
8	0.05	2.5	5.0	40.0	80.0	2.00	4.00	7.5	15.0
9	0.05	2.5	5.0	40.0	80.0	2.50	5.00	7.5	15.0
-----									
10	0.15	7.5	15.0	35.0	70.0	0.50	1.00	7.5	15.0
11	0.15	7.5	15.0	35.0	70.0	1.00	2.00	7.5	15.0
12	0.15	7.5	15.0	35.0	70.0	1.50	3.00	7.5	15.0
13	0.15	7.5	15.0	35.0	70.0	2.00	4.00	7.5	15.0
-----									
14	0.20	10.0	20.0	32.5	65.0	0.25	0.50	7.5	15.0
15	0.20	10.0	20.0	32.5	65.0	0.50	1.00	7.5	15.0
16	0.20	10.0	20.0	32.5	65.0	1.00	2.00	7.5	15.0
17	0.20	10.0	20.0	32.5	65.0	1.50	3.00	7.5	15.0
-----									
18	0.25	12.5	25.0	30.0	60.0	0.25	0.50	7.5	15.0
19	0.25	12.5	25.0	30.0	60.0	0.50	1.00	7.5	15.0
20	0.25	12.5	25.0	30.0	60.0	1.00	2.00	7.5	15.0
21	0.25	12.5	25.0	30.0	60.0	1.50	3.00	7.5	15.0
-----									
22	0.35	17.5	35.0	25.0	50.0	0.25	0.50	7.5	15.0
23	0.35	17.5	35.0	25.0	50.0	0.50	1.00	7.5	15.0
24	0.35	17.5	35.0	25.0	50.0	0.75	1.50	7.5	15.0
25	0.35	17.5	35.0	25.0	50.0	1.00	2.00	7.5	15.0
-----									
26	0.45	22.5	45.0	20.0	40.0	0.50	1.00	7.5	15.0
27	0.45	22.5	45.0	20.0	40.0	0.75	1.50	7.5	15.0

\*：コーン油，蒸留水および卵黄の合計に対して計算



エクセルオートホモジナイザー（日本精機製作所製）を用いて6 000 rpmで3分間攪拌して試料エマルジョンとした。

## (2)あぶらっこの強度評価に用いる試料

本章の主な試料については、エマルジョンの物理的性状である油相体積分率 $\phi$ 、粒度および粘度が、それぞれ可能な限り広範囲にあり、かつ安定したエマルジョンが得られる条件を、予備実験により検討し、以下のように調製した。 $\phi$ の下限は、後述の結果（P.130）より、0.35とした。また、予備実験により $\phi$  0.85になると安定なエマルジョンを形成しないことが認められたので、上限は0.80とし、0.35、0.45、0.55、0.65、0.75、0.80の6段階とした。また、分散している油滴の粒度を変えるために、攪拌速度は500～12 000 rpm の間で3あるいは4段階とした。油滴の粒度が小さくなるとエマルジョンの粘度は高くなり<sup>172)</sup>、また油相体積分率 $\phi$ が高くなると粘度は高くなるので<sup>173) 174)</sup>、 $\phi$ 、粒度および粘度がそれぞれ広範囲となるよう、水相に0.1～1.5 W/V% の濃度で増粘剤を添加した予備実験によりこれらの条件を調整して、 $\phi$ 、粒度、粘度の異なる20種類の試料を調製した。試料の材料配合と割合は表6.3に示した。

蒸留水(2.5～25.0 ml)、増粘剤(0.05～0.75 g)および卵黄(7.5 ml)の混合物に、油を15 ml/min の速度で滴下しながら、ホモジナイザーで6分間攪拌して調製した。ホモジナイザーは、低速(500 rpm)で攪拌する場合はホモジナイザー用攪拌機（井内盛栄堂製）高速(3 000、6 000、12 000 rpm)で攪拌する場合はエクセルオートホモジナイザー（日本精機製作所製）を用いた。試料調製の流れ図を図6.1に示す。調製した試料は20℃に保ち、直ちに以下の実験に用いた。

## 6. 2. 2 物理的測定

### 6. 2. 2. 1 粒度分布

表6.3 あぶらっこさの強度評価に用いる試料の材料配合および攪拌条件

試料 番号*	油		水		増粘剤		卵黄		攪拌速度 (rpm)
	体積 (ml)	割合 (V/V%)	体積 (ml)	割合 (V/V%)	重量 (g)	割合** (W/V%)	体積 (ml)	割合 (V/V%)	
351	17.5	35.0	25.0	50.0	0.75	1.50	7.5	15.0	6 000
352	17.5	35.0	25.0	50.0	0.50	1.00	7.5	15.0	6 000
353	17.5	35.0	25.0	50.0	0.25	0.50	7.5	15.0	6 000
451	22.5	45.0	20.0	40.0	0.50	1.00	7.5	15.0	12 000
452	22.5	45.0	20.0	40.0	0.50	1.00	7.5	15.0	3 000
453	22.5	45.0	20.0	40.0	0.25	0.50	7.5	15.0	3 000
551	27.5	55.0	15.0	30.0	0.20	0.40	7.5	15.0	12 000
552	27.5	55.0	15.0	30.0	0.10	0.20	7.5	15.0	12 000
553	27.5	55.0	15.0	30.0	0.10	0.20	7.5	15.0	3 000
651	32.5	65.0	10.0	20.0	0.05	0.10	7.5	15.0	12 000
652	32.5	65.0	10.0	20.0	0.05	0.10	7.5	15.0	6 000
653	32.5	65.0	10.0	20.0	0.05	0.10	7.5	15.0	3 000
654	32.5	65.0	10.0	20.0	0.05	0.10	7.5	15.0	500
751	37.5	75.0	5.0	10.0	0.05	0.10	7.5	15.0	12 000
752	37.5	75.0	5.0	10.0	0.05	0.10	7.5	15.0	6 000
753	37.5	75.0	5.0	10.0	0.05	0.10	7.5	15.0	3 000
754	37.5	75.0	5.0	10.0	0.05	0.10	7.5	15.0	500
801	40.0	80.0	2.5	5.0	0.05	0.10	7.5	15.0	6 000
802	40.0	80.0	2.5	5.0	0.05	0.10	7.5	15.0	3 000
803	40.0	80.0	2.5	5.0	0.05	0.10	7.5	15.0	500

\* : 上2桁はφを表し，下1桁は各φで粘度の高い試料から1,2,3,4とした。

\*\* : コーン油，蒸留水および卵黄の合計に対して計算

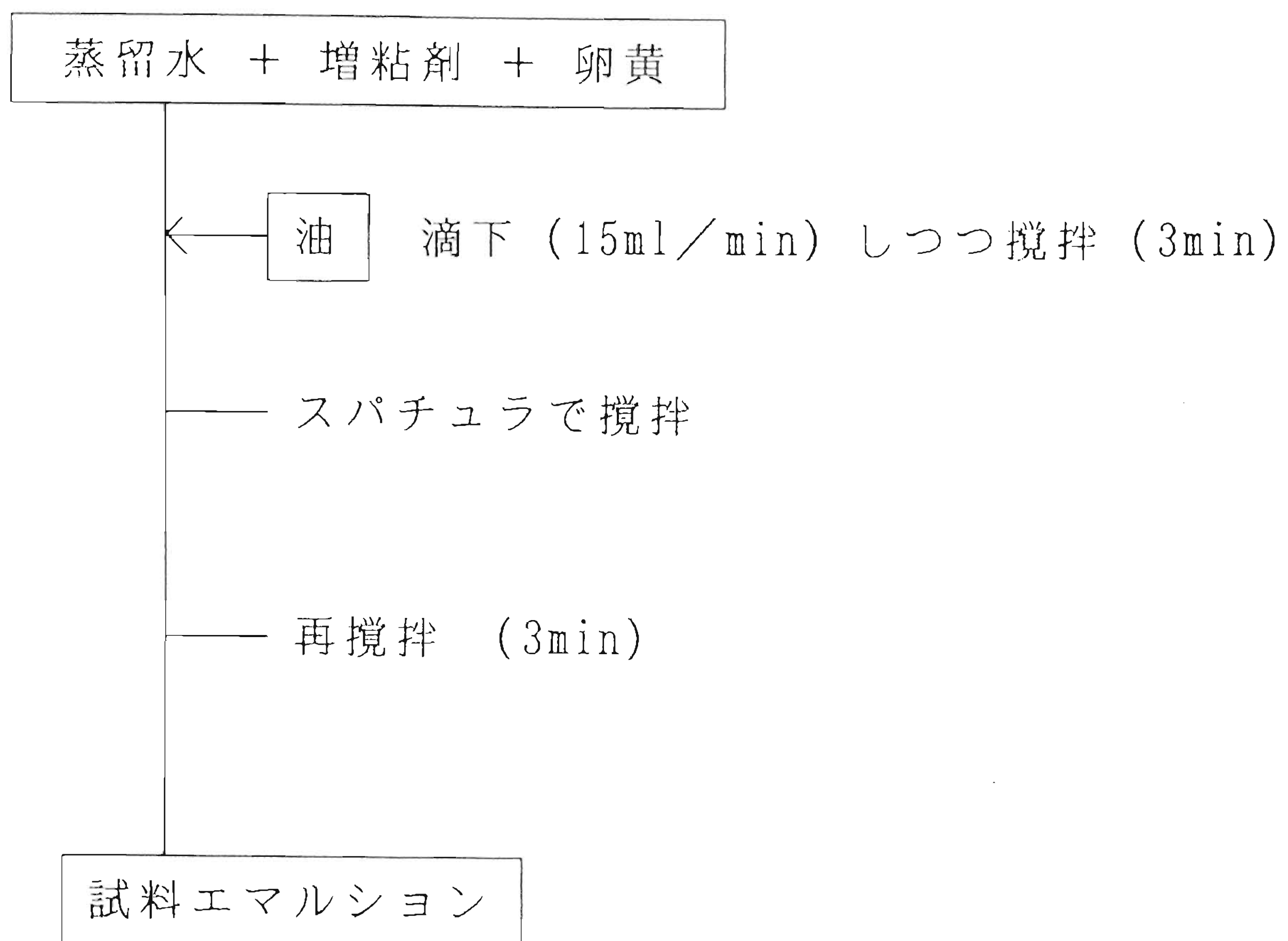


図6.1 試料エマルションの調製方法



試料の粒度の測定はコールターマルチサイザーII（日科機製）を用いて行った。微量の試料を生理食塩水約100 ml中に懸濁させ、アパーチャー（細孔）を粒子が通過する際に生じる電氣的抵抗の変化を増幅し、粒子の数と体積を測定した<sup>175)</sup>。測定は個数基準(number base)および体積基準(volume base)について行った。以下、各基準による分布をそれぞれ個数分布および体積分布と表記する。測定条件はつぎに示すとおりである。

アパーチャー口径； 100  $\mu\text{m}$  または 50  $\mu\text{m}$   
計測粒子総数； 50 000個

個数分布および体積分布における平均粒子径を表すメジアン径(median diameter)  $d$  ( $\mu\text{m}$ )および分布の広がりを表す変動係数(coefficient of variation)  $c$  (%)を用いた。なお  $d$  および  $c$  は、コールターマルチサイザーIIに接続したデータ処理用コンピュータ・システムを利用して得た。

## 6. 2. 2. 2 流動特性

コーン・プレート型粘度計により試料の流動特性を測定した。粘度計は、EHD型回転粘度計（東機産業製）およびRHD型回転粘度計（東機産業製）を用いた。測定条件は以下に示すとおりである。

### (1)EHD型回転粘度計

温度； 20°C  
ロータ； 3° コーン または 1° 34′ コーン  
測定時間； 各回転数において回転開始より2分後の値  
回転数； 0.5~100 rpmの範囲で8段階

## (2)RHD型回転粘度計

温度； 20℃  
ロータ； 3° コーン または 1° 34′ コーン  
測定時間； 200秒

いずれの測定も、試料0.5~1.3 mlをシリンジで取り、コーンとプレートの間  
に充填した。充填の際の誤差を抑えるため、試料充填後200 s<sup>-1</sup>のずりを30秒間  
かけて試料を均一にし、直ちに測定を開始した。

得られたデータは、粘度計測・データ処理プログラムTOP2B（東機産業製）を  
用いて解析した。

## 6. 2. 3 官能検査

### 6. 2. 3. 1 あぶらっこさの知覚の有無の評価

#### (1)評価法

絶対評価法により各試料のあぶらっこさの有無を質問し、あぶらっこいと感じ  
るかどうかを質問し、感じる場合は○、そうでない場合は×をつけさせた。  
○をつけたパネル割合によってあぶらっこさの知覚に必要な油相体積分率を判  
定した。官能検査用紙を図6.2に示した。

#### (2)提示法

直径4 cm高さ6.5 cmのコップに試料を約5 ml入れ、プラスチックのスプーン  
で口に入れて評価してもらった。官能検査は備え付けの流しのある個別のブー  
スで行い、外部からの音声、匂い等を極力抑えた。また、外観による影響を除  
くため、赤いライトの下で行った。検査実施時刻は10時~11時および14時~  
17時とした。

官能検査

お名前 (                    )

試料を口に含んで下さい。試料は吐き出しても飲み込んでもかまいません。

あなたは、この試料を「あぶらっこい」と思いますか？

あぶらっこいと思えば○、あぶらっこくないと思えば×をつけて下さい。

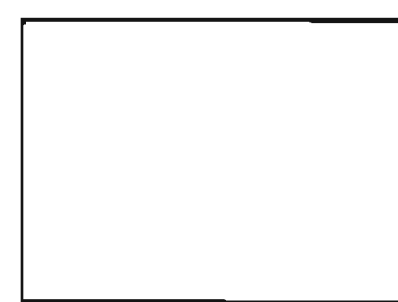


図6.2 あぶらこさの知覚評価のための官能検査用紙

### (3)パネル

パネルは調理学研究者20名とし、あぶらっこさについての訓練は行わず、各パネリストの基準によって判断させた。

## 6. 2. 3. 2 あぶらっこさの強度の評価

### (1)評価法および項目

2点強度尺度試験法<sup>118)</sup>を用い、尺度は9段階尺度<sup>119)</sup>に基づいた。

2つの試料を対にして比較させるのであるが、その際、2つのうちの1つは常に同じものを提示し、それに対してもう一方の試料がどうであるかを訊ねた。対照として用いる試料は752とし、順序効果をなくすため、半数は順序を入れ換えて供した。

あぶらっこさ、あぶらっこさの好ましき、粘性について評価させた。図6.3に官能検査用紙を示した。

### (2)提示法

直径4cm高さ6.5cmのコップにそれぞれ試料を約5ml入れてトレイに置き、プラスチックのスプーンで口に入れて評価させた。

試料と試料の評価の間には、水で口をよくすすいでもらった。その際、口中の温度が変わることによる評価の変動を防ぐため、口をすすぐ水は38℃とした。試料は2点1組で提示し、1セッションに2組検査を行った。10時～11時および14時～17時の間に1日2セッション実施した。

### (3)パネル

訓練パネルとし、お茶の水女子大学調理学研究室員20名とした。パネルの訓練は第3章に準じた(3.2.2節)。

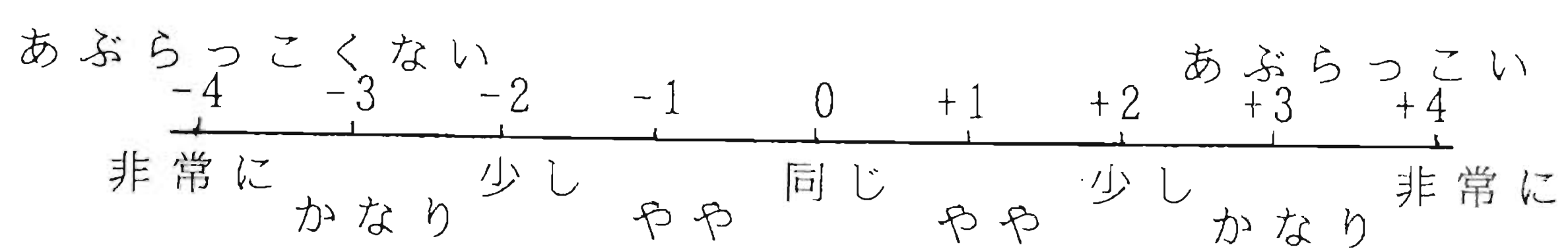
官能検査

お名前 ( )

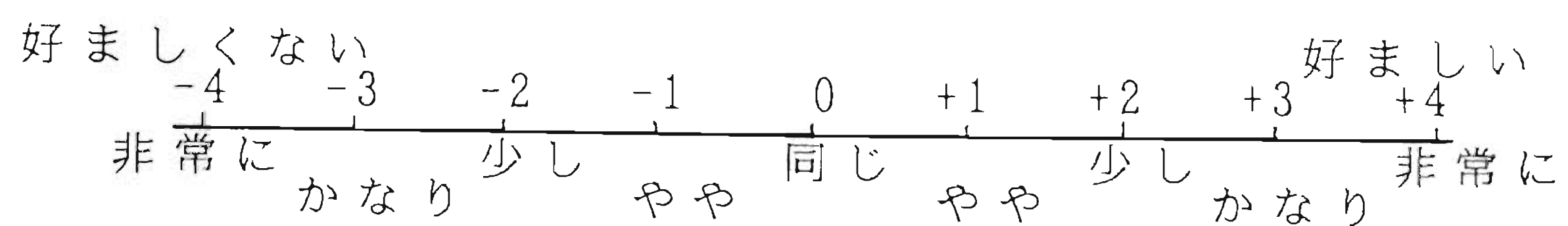
試料 A を基準として (A を 0 として)、B について  
下記の項目に関して評価し、該当するところに○をつ  
けて下さい。

試料と試料の評価の間は口を水でよくすすいで下さい。  
試料は飲み込んでも吐き出してもかまいません。

1. あぶらっこさ



2. あぶらっこさの好ましさ



3. 粘性

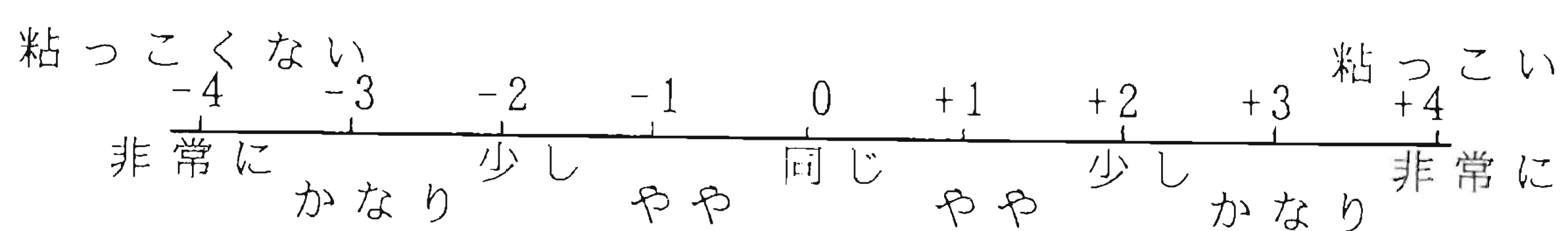


図 6.3 あぶらっこさの強度評価のための官能検査用紙



## 6. 2. 4 統計処理

一元配置の分散分析および回帰分析を行った。解析には、パソコン統計解析ハンドブックIIのシステム<sup>105)</sup>を用いた。

## 6. 3 結果および考察

### 6. 3. 1 あぶらっこさの知覚に要する油相体積分率

各試料の粘度およびあぶらっこいと判断したパネルの人数と割合を表6.4に示した。流動特性については次節で詳しく検討するが、ここではずり速度Dが $10\text{ s}^{-1}$ のときのみかけの粘性率 $\eta_{10}$ を代表値として挙げた。試料の粘度は $0.287\text{ Pa}\cdot\text{s}$ から $14.0\text{ Pa}\cdot\text{s}$ まで広い範囲に及んでいた。これは Shama ら<sup>156)</sup>が多くの液状の食品の粘性について官能検査と客観的測定の比較を行った際に用いたトマトスープからケーキ生地の範囲に相当した。また、全体的な傾向として油相体積分率 $\phi$ が高く、増粘剤添加量が多いほど粘度が高くなっていた。

各試料について、あぶらっこいと答えたパネルの割合を3段階（35%未満、35%以上65%未満、65%以上）に分けて図6.4に示した。油相体積分率 $\phi$ が0および0.05では増粘剤の量を5.0 W/V% まで上げてもほとんどのパネルがあぶらっこいと答えておらず、あぶらっこいという感覚には油の存在が必要であることが確認された。全体的な傾向としては、試料の $\phi$ の増加に伴ってあぶらっこいと判断するパネルが多くなった。味の刺激閾値は50%以上のパネルが知覚する濃度で表されることが多い。しかし、あぶらっこさにはさまざまな要因が関わっていると予測され、油を刺激物質と定義することはできない。そこで、各 $\phi$ においてあぶらっこいと答えたパネルの割合(35%未満、35%以上65%未満、65%以上)を比較し、65%以上のパネルがあぶらっこいと答え始めた最低の油相体積分率 $\phi$

表6.4 各試料の粘度およびあぶらっこいと答えたパネルの人数と割合

試料 番号	油相体積分率 $\phi$	みかけの粘性率 $\eta_{10}$ (Pa·s)	該当したパネル 人数* (人)	割合** (%)
1	0 <sub>1</sub>	0.29	1	5
2	0 <sub>1</sub>	1.27	3	15
3	0 <sub>2</sub>	0.59	3	15
4	0 <sub>2</sub>	1.72	5	25
-----				
5	0.05	0.72	3	15
6	0.05	2.36	5	25
7	0.05	4.70	3	15
8	0.05	9.00	5	25
9	0.05	13.60	4	20
-----				
10	0.15	0.98	7	35
11	0.15	3.67	9	45
12	0.15	8.80	9	45
13	0.15	11.96	7	35
-----				
14	0.20	0.10	3	15
15	0.20	1.04	5	25
16	0.20	5.40	9	45
17	0.20	14.00	10	50
-----				
18	0.25	0.21	6	30
19	0.25	1.15	7	35
20	0.25	5.70	12	60
21	0.25	13.60	10	50
-----				
22	0.35	0.92	6	30
23	0.35	2.48	12	60
24	0.35	6.06	15	75
25	0.35	11.70	14	70
-----				
26	0.45	4.30	15	75
27	0.45	13.00	16	80

\* : 20人のパネルのうちあぶらっこいと答えたパネルの人数

\*\* : 20人に対するあぶらっこいと答えたパネルの割合

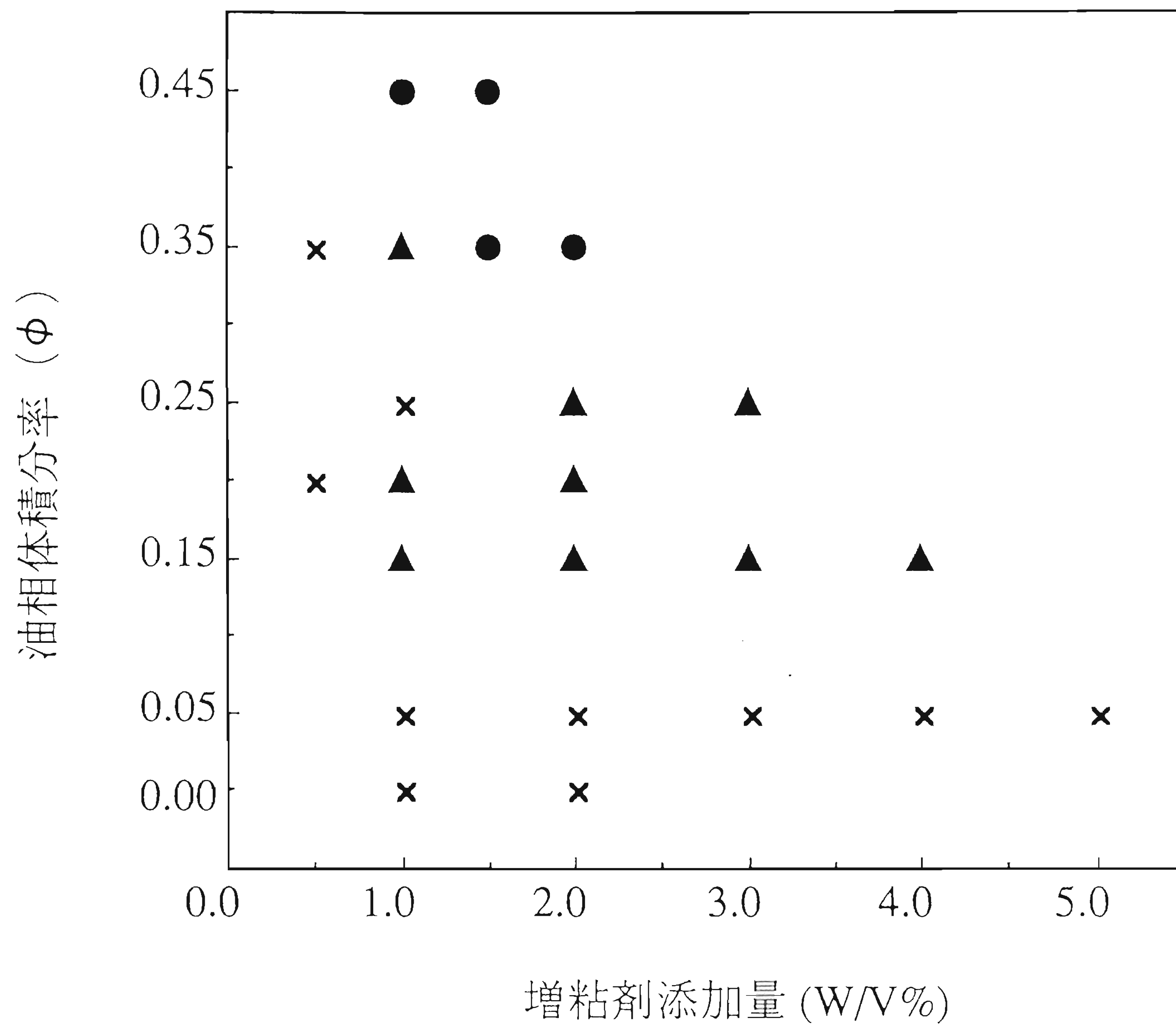


図6.4 あぶらっこさの知覚に及ぼす油相体積分率および増粘剤添加量の影響

あぶらっこいと答えたパネルの割合

× ; 35%未満 ▲ ; 35%以上65%未満 ● ; 65%以上

をあぶらっこさの知覚に要する $\phi$ とした。その結果、ボーダーラインはおよそ0.35付近であった。すなわち、O/W エマルション系においてはあぶらっこいと感じるのにおよそ35%の油が必要であることがわかった。

## 6. 3. 2 エマルションの物理的性状

### 6. 3. 2. 1 粒度分布

エマルションの粒度分布の測定は数多くの研究においてなされ<sup>173) 177) -181)</sup>、油滴の平均粒子径としては、全体の粒子径の中央値であるメジアン径が、また分布の幅を表すパラメータとして標準偏差および変動係数などが用いられている。これらの値は個数分布と体積分布のいずれで測定するかにより異なった値となる。本研究におけるあぶらっこさがいずれのパラメータと関係するかは全くわからないので、全試料の粒度を個数分布と体積分布で測定した。各試料の両方の分布を対数正規確率紙にプロットしたのが図6.5および図6.6である。この図より、累積度数50%におけるメジアン径 $d$ をよみとった。さらに分布の広がりを表す変動係数 $c$ をつぎの式により算出した。

$$c = \frac{\sigma}{\bar{\omega}} \times 100 \quad \dots(6.1)$$

(6.1)式における $\bar{\omega}$ は算術平均径、 $\sigma$ は標準偏差である。

メジアン径 $d$ および変動係数 $c$ を表6.5に示した。表より、個数分布のメジアン径 $d$ は1.34~10.10  $\mu\text{m}$ 、体積分布のメジアン径 $d$ は2.07~61.30  $\mu\text{m}$ と広い範囲の粒度をもつエマルションを調製できたことが認められた。この範囲は中浜ら<sup>182)</sup>がマヨネーズの材料配合比と粒度の関係を調べた際の体積分布のメジアン径 $d$  3.5~24.2  $\mu\text{m}$ よりもはるかに広い範囲である。

個数分布に比べ、体積分布は大きい粒子の存在が分布のパラメータに大きく

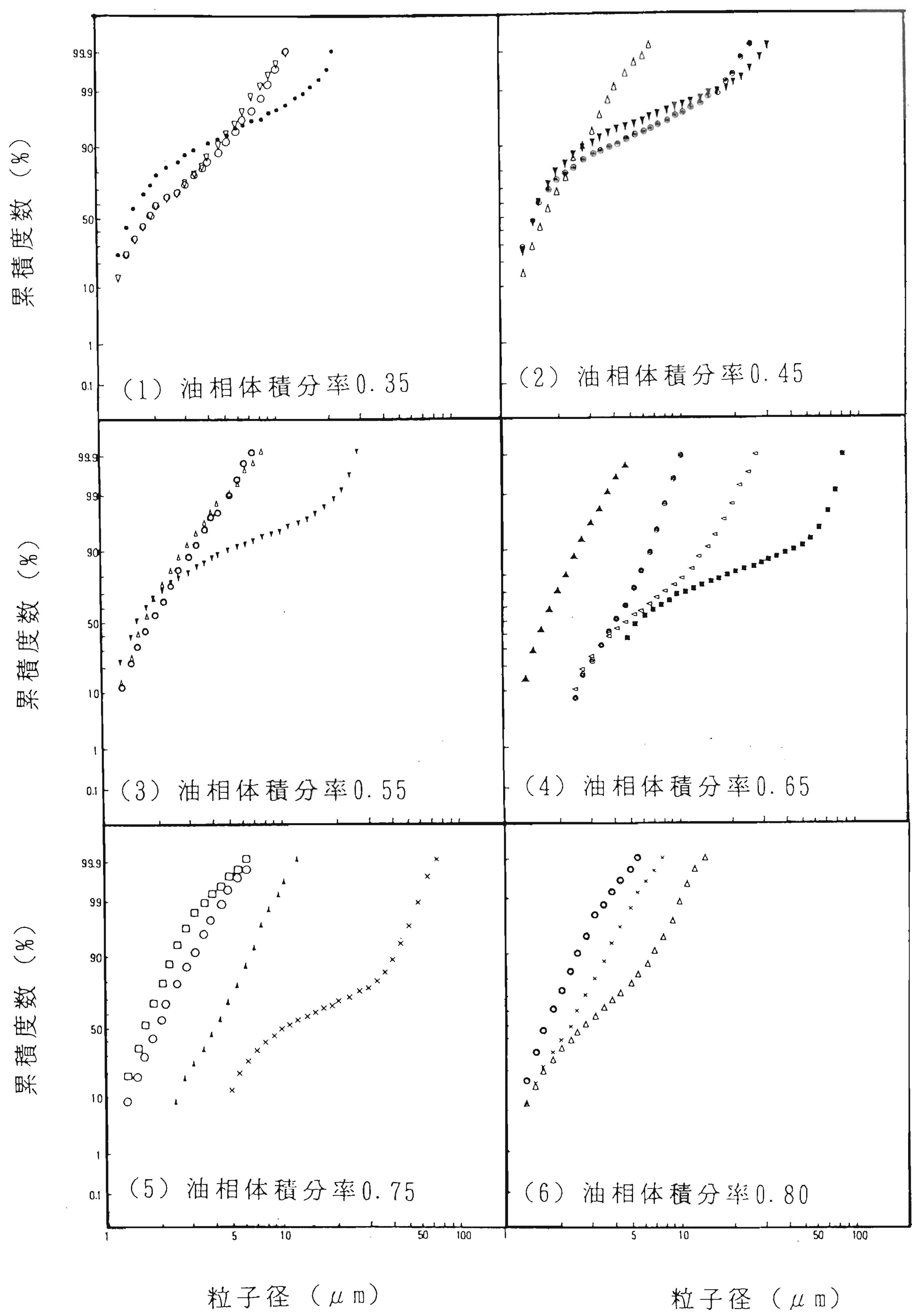


図6.5 個数基準による試料の粒度分布 (その1~6)

- |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ▽ ; 351 | ○ ; 352 | ● ; 353 | △ ; 451 | ◎ ; 452 | ▼ ; 453 |
| △ ; 551 | ◎ ; 552 | ▼ ; 553 | ▲ ; 651 | ◎ ; 652 | ◁ ; 653 |
| □ ; 751 | ○ ; 752 | ▲ ; 753 | × ; 754 | ◎ ; 801 | × ; 802 |
|         |         |         |         | △ ; 803 |         |



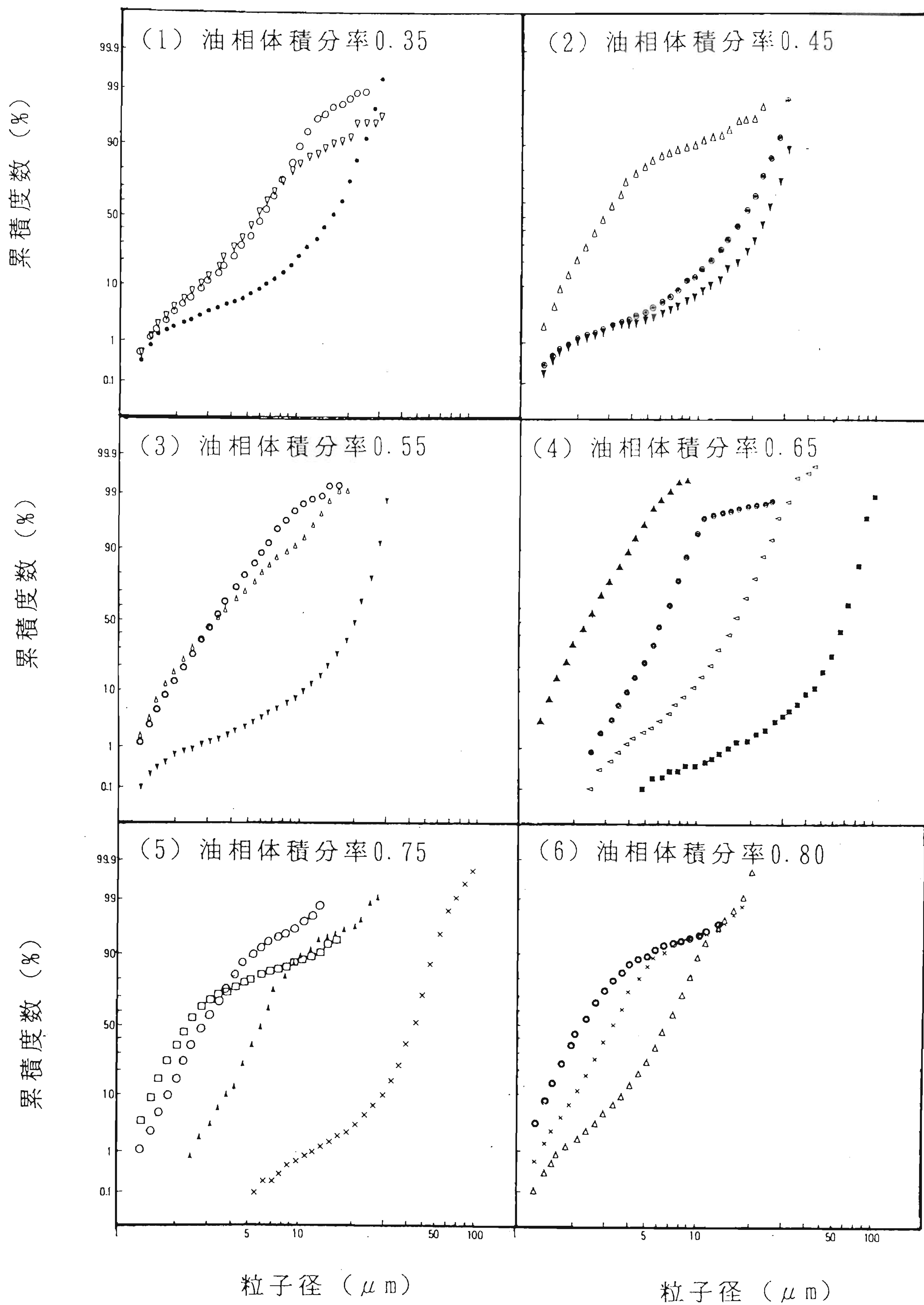


図6.6 体積基準による試料の粒度分布 (その1~6)

$\nabla$  ; 351    $\circ$  ; 352    $\bullet$  ; 353    $\triangle$  ; 451    $\odot$  ; 452    $\blacktriangledown$  ; 453  
 $\triangle$  ; 551    $\odot$  ; 552    $\blacktriangledown$  ; 553    $\blacktriangle$  ; 651    $\odot$  ; 652    $\triangleleft$  ; 653    $\blacksquare$  ; 654  
 $\square$  ; 751    $\circ$  ; 752    $\blacktriangle$  ; 753    $\times$  ; 754    $\odot$  ; 801    $\times$  ; 802    $\triangle$  ; 803

表6.5 各試料の粒度のパラメータ

試料 番号*	個数分布 ; N		体積分布 ; V	
	メジアン径 $d_N$ ( $\mu\text{m}$ )	変動係数 $C_N$ (%)	メジアン径 $d_V$ ( $\mu\text{m}$ )	変動係数 $C_V$ (%)
351	1.73	73.8	5.37	114.2
352	1.75	80.1	5.87	65.7
353	1.34	139.1	12.87	48.9
-----				
451	1.56	41.1	2.58	147.7
452	1.34	159.4	15.82	46.5
453	1.33	167.4	21.63	40.2
-----				
551	1.57	48.2	3.13	90.8
552	1.73	45.3	2.98	66.5
553	1.43	189.4	18.80	36.4
-----				
651	1.55	33.7	2.19	52.4
652	3.91	39.4	5.76	62.8
653	4.52	92.5	14.77	40.4
654	5.22	210.6	61.30	26.9
-----				
751	1.51	35.1	2.19	151.1
752	1.83	37.7	2.69	71.9
753	3.85	39.9	5.65	69.6
754	10.10	122.1	41.87	29.9
-----				
801	1.47	33.8	2.07	119.4
802	2.02	42.7	3.08	93.7
803	2.50	75.3	6.25	44.4

\* : 上2桁は $\phi$ を表し, 下1桁は各 $\phi$ で攪拌速度が高くかつ増粘剤添加量が多いものから1,2,3,4とした.

影響し、また、変動係数  $c$  は標準偏差  $\sigma$  を算術平均径  $\bar{\omega}$  で割っているため、試料間の  $\sigma$  に差が小さいときは  $\bar{\omega}$  が小さいものほど  $c$  は大きくなる。このような理由により、調製条件の違いにより生じる試料の粒度の特徴を反映する、さまざまなパラメータが得られた。

表6.5、図6.5および図6.6より、 $\phi 0.65 \sim \phi 0.80$  と比較的高い試料においては、攪拌速度が高い試料ほど（すなわち試料番号の下1桁の数字が小さいほど）メジアン径  $d$  は個数分布、体積分布ともに小さかった。一方  $\phi 0.35 \sim \phi 0.55$  と低い試料においては、個数分布におけるメジアン径  $d_n$  は一定であったが、体積分布におけるメジアン径  $d_v$  は、攪拌速度が高く、増粘剤添加量が多い試料ほど（すなわち試料番号の下1桁の数字が小さいほど）小さい傾向が認められた。

また、変動係数  $c$  は、表6.5にみられるように攪拌速度が高く増粘剤添加量が多いほど（すなわち試料番号の下1桁の数字が小さいほど）体積分布では大きく、一方個数分布では小さくなった。

以上より、攪拌速度が高くかつ増粘剤添加量が多い試料は、比較的大きい粒子が生成しにくく、また分布の幅は小さいことがわかり、試料のメジアン径  $d$  および変動係数  $c$  はさまざまであることが確認された。

### 6. 3. 2. 2 流動特性

本研究における試料は全て O/W エマルションであり、一般にこのような試料は非 Newton 流体 (non-Newtonian) であり、擬塑性流動 (pseudoplastic) あるいは塑性流動 (plastic) を示すと考えられる。これらの流動特性はベキ法則 (power law)<sup>183)</sup> と呼ばれ、ずり速度  $D$  とずり応力  $S$  の経験式によって表される。

$$S = K D^n \quad \dots(6.2)$$

ここで、 $K$ は粘性係数、 $n$ は流動性指数である。(6.2)式の対数をとるとつぎのようになる。

$$\ln S = \ln K + n \cdot \ln D \quad \dots(6.3)$$

(6.3)式は $\ln S$ と $\ln D$ について線型関係が成立することを示している。本研究における試料が(6.2)式に従うならば両対数グラフにおいて直線を示すはずである。そこでEHD型粘度計を用いて測定した $D = 1 \sim 383 \text{ s}^{-1}$ における $S$ の値を両対数グラフにプロットした。結果を図6.7に示した。図より全ての試料はほとんど直線であり、ベキ法則(6.2)式に従うとみなせた。そこでこれらの試料の $K$ と $n$ を算出し、表6.6に示した。 $K$ の値は0.55~199.00までの広い範囲にわたっており、油相体積分率 $\phi$ が高いものほど大きい傾向がみられた。また、同一の $\phi$ では攪拌速度が高く増粘剤添加量が多いほど(すなわち試料番号の下1桁が小さいほど)大きい傾向にあった。 $n$ は、ずり速度による流動しやすさの変化を示すパラメータである。値は0~1の範囲にあり、Newton流体に近いほど1に近づき、ずり速度の影響を受けやすいものほど値は小さくなる。従って $K$ が大きく $n$ が小さい試料は低いずり速度では流動しにくく、高いずり速度になるほど流動しやすくなる。本試料においてはNo.654の試料は0.735とかなり大きいですが、他の19種類の試料は全て0.5以下であり、ずり速度により流動のしやすさが大きく影響を受けることがわかった。また同一の油相体積分率 $\phi$ では攪拌速度が高く増粘剤添加量が多いほど(すなわち試料番号の下1桁が小さいほど)小さい傾向にあった。

本研究で用いた試料はさまざまな粘性を示すよう調製されており、保形性を有するものもある。これらは流動開始の際の応力である降伏値(yield value)  $S_0$ をもつと予測されるので、つぎに $S_0$ について検討した。 $S_0$ を算出する際にはさまざまな方法がとられる<sup>184)</sup>が、本研究では一般的に用いられるCasson式<sup>185)</sup>を用いた。

$$\sqrt{S} = \sqrt{S_0} + \sqrt{\mu D} \quad \dots(6.4)$$

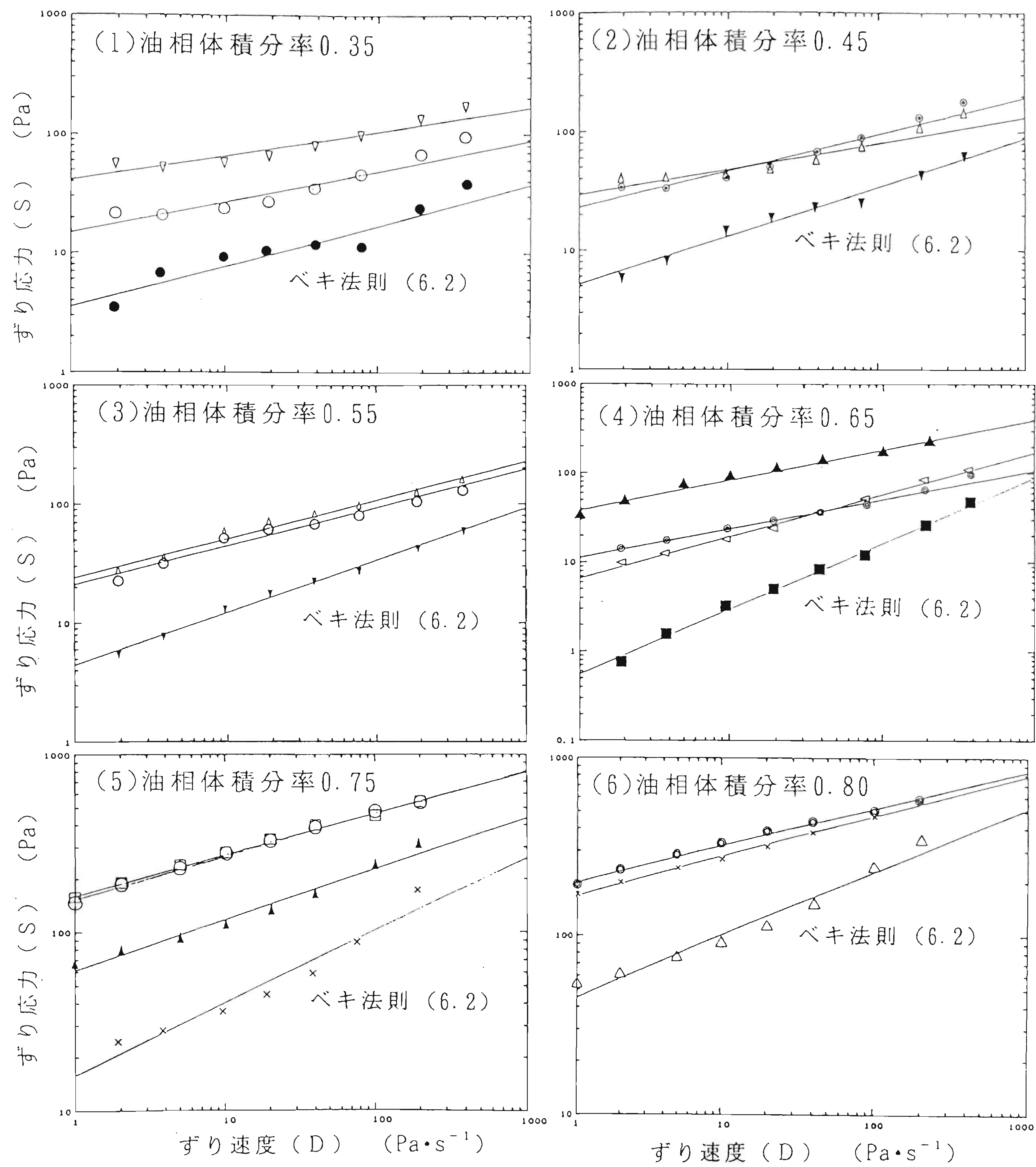


図6.7 試料のS-D流動曲線 (EHD型粘度計による) (その1~6)

- |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ▽ ; 351 | ○ ; 352 | ● ; 353 | △ ; 451 | ◎ ; 452 | ▼ ; 453 |         |
| △ ; 551 | ◎ ; 552 | ▼ ; 553 | ▲ ; 651 | ◎ ; 652 | ◁ ; 653 | ■ ; 654 |
| □ ; 751 | ○ ; 752 | ▲ ; 753 | × ; 754 | ◎ ; 801 | × ; 802 | △ ; 803 |



表6.6 各試料の粘度のパラメータ

試料 番号*	みかけの粘性率		ベキ法則の定数		降伏値	
	$\eta_{10}$ (Pa·s)	$\eta_{50}$ (Pa·s)	K	n	$S_{OE}$ (Pa)	$S_{OR}$ (Pa)
351	6.59	1.90	38.90	0.229	52.70	13.90
352	2.72	0.86	13.90	0.291	12.00	3.82
353	0.77	0.28	3.26	0.376	1.43	0.68
451	4.80	1.36	29.10	0.217	35.10	6.51
452	4.67	1.53	23.00	0.308	25.70	8.61
453	1.33	0.51	5.17	0.410	1.73	1.89
551	5.05	1.70	23.90	0.325	10.60	8.85
552	4.41	1.48	21.00	0.322	8.23	2.99
553	1.22	0.49	4.44	0.438	1.92	2.28
651	8.32	2.87	38.20	0.338	13.70	6.39
652	2.37	0.80	11.20	0.325	8.68	3.06
653	1.95	0.81	6.61	0.469	4.79	2.09
654	0.30	0.19	0.55	0.735	0.05	0.12
751	27.10	7.85	159.00	0.231	101.00	68.20
752	26.50	7.80	152.00	0.241	91.90	36.00
753	11.80	3.72	61.00	0.285	48.00	25.00
754	4.01	1.54	15.80	0.405	16.60	4.27
801	32.10	8.94	199.00	0.207	125.00	91.70
802	28.00	8.02	167.00	0.224	123.00	34.60
803	10.10	3.58	45.00	0.353	15.00	35.30

\*：上2桁は $\phi$ を表し，下1桁は攪拌速度が高くかつ増粘剤添加量が多いものから1,2,3,4とつけた。

ここで $\mu$ は Casson 粘度である。(6.4)式は $\sqrt{S}$ と $\sqrt{D}$ について線型関係が成立することを示している。 $S_0$ は流動開始の際の応力であるため、ずり速度 $D$ が低い範囲において適用するべきである。そこで測定値のはじめ3点を取り、 $D < 10$  の範囲で(6.4)式を適用し、外挿して $S_0$ をもとめた。結果を同じく表6.6に $S_{0E}$ として示した。

降伏値 $S_{0E}$ は0.05~125.00 Pa·sまで広い範囲にわたっており、油相体積分率 $\phi$ が高いほど大きい傾向がみられた。また同一の $\phi$ では攪拌速度が高く増粘剤添加量が多いほど(すなわち試料番号の下1桁が小さいほど)大きい傾向にあった。

しかし、EHD型粘度計は定常流(steady shear)における測定を行うものであり、低いずり速度における試料の挙動が詳細に捉えられず、降伏値 $S_0$ の値は正確さにおいてやや劣ると考えられた。しかし、人が口腔内で試料を評価する場合、低いずり速度における挙動が大きく関わっていることが推測される。

そこでより正確な流動特性をつかむためRHD型粘度計(東機産業製)を用いて、ばね緩和による測定を試みた。ばね緩和による測定は、徐々にずり速度が低下していくので、ごく低いずり速度の領域における流動特性の測定に著しい効果が得られる。図6.8に示すように、(6.4)式がすべての試料について $D < 0.04$ の範囲で適用できたので、これを外挿して降伏値 $S_0$ をもとめた。その結果、表6.6に示す $S_{0R}$ が得られた。 $S_{0R}$ は0.12~91.70 Pa·sと広い範囲にわたっており、油相体積分率 $\phi$ が高いほど大きく、また同一の $\phi$ では攪拌速度が高く増粘剤添加量が多いほど(すなわち試料番号の下1桁が小さいほど)大きい傾向にあった。

以上、式にあてはめてパラメータを算出してみた。しかし、 $n$ や $K$ は試料の流動挙動を全体的にとらえた式の定数であり、実際口腔内のエマルションの動きを考えてみると、あるずり速度 $D$ における $\eta$ を感じているのではないかと考えられる。本試料は非 Newton 流体であるので、 $\eta$ は $D$ によって異なる。Wood<sup>186)</sup>は、人間は口腔内で液状の食品を $D = 50 \text{ s}^{-1}$ で、Cutlerら<sup>187)</sup>は $D = 10 \text{ s}^{-1}$ で知覚すると考え、また Shamaら<sup>176)</sup>は多くの液状食品について

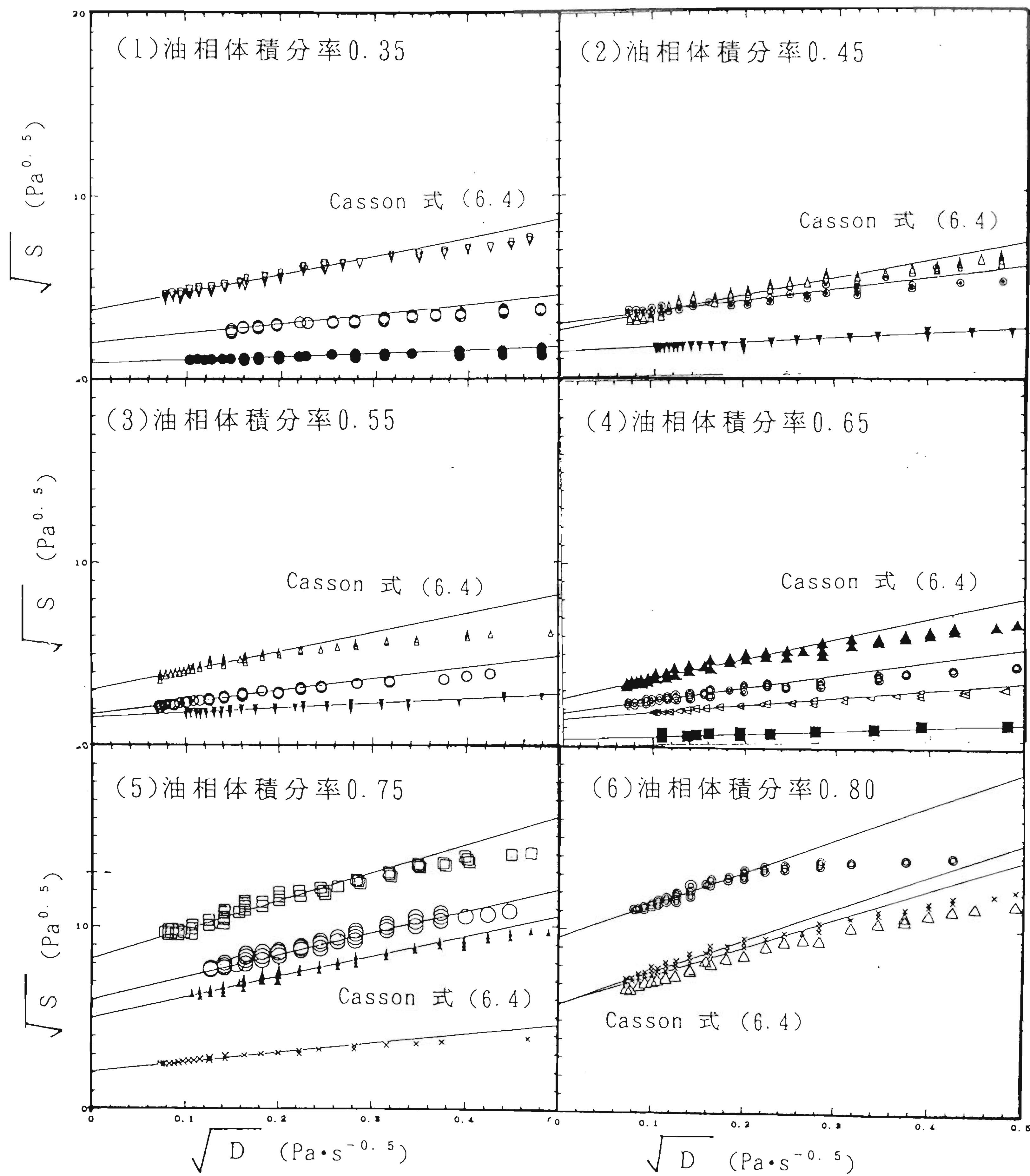


図6.8 試料の S - D 流動曲線 (RHD型粘度計による) (その1~6)

- |         |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ▽ ; 351 | ○ ; 352 | ● ; 353 | △ ; 451 | ⊙ ; 452 | ▼ ; 453 |
| △ ; 551 | ⊙ ; 552 | ▼ ; 553 | ▲ ; 651 | ⊙ ; 652 | ◁ ; 653 |
| □ ; 751 | ○ ; 752 | ▲ ; 753 | × ; 754 | ⊙ ; 801 | × ; 802 |
|         |         |         |         | △ ; 803 |         |



詳細に官能検査を行い、個々の食品ごとに粘性を知覚するDの値をもとめたところ、 $D = 10 \sim 50 \text{ s}^{-1}$ の範囲の食品が多いとしている。そこで本研究でもこれらの報告に準じて、ずり速度 $10 \text{ s}^{-1}$ および $50 \text{ s}^{-1}$ におけるみかけの粘性率である $\eta_{10}$ および $\eta_{50}$ を算出した。結果は同じく表6.6に示した。 $\eta_{10}$ は $0.30 \sim 32.10 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、 $\eta_{50}$ は $0.19 \sim 8.94 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ と広範囲にわたっており、Shamaら<sup>176)</sup>がとりあげた液状食品のトマトスープからピーナツバターに相当するものであった。また、 $\phi$ が高いほど大きく、同一の $\phi$ では攪拌速度が高く増粘剤添加量が多いほど（すなわち試料番号の下1桁が小さいほど）大きい傾向にあった。

以上のパラメータを総合して考察すると、本試料は全体的に見て油相体積分率 $\phi$ が上がると $\eta$ 、 $S_0$ および $K$ の値は大きく、 $n$ は小さくなる傾向を示した。分散系のレオロジー的特性は、一般に分散相濃度とともに著しく変化する<sup>174)</sup>。他にも $\phi$ と粘度との関係についての報告<sup>4) - 6) 16)</sup>はいくつかあり、本研究における結果と同様であった。

また、同一の $\phi$ における試料を比較すると、調製条件によって粘度が大きく影響を受けていることがわかる。前節でも述べたとおり、調製条件が異なるとエマルションの粒度は変化する。分散粒子とエマルションの粘度の関係については多くの研究<sup>161) - 163) 172)</sup>がなされており、平均粒子径が小さく分布の幅が狭いほど粘度は高く、反対に平均粒子径が大きく分布の幅が広いほど粘度は低いことが一般に広く知られている。本研究においても6.3.2.1節の結果と照らし併せると同様の結果となっていた。

### 6. 3. 3 官能評価によるエマルションのあぶらっこさ

官能検査の結果を表6.7に示した。 $x_{ij}$ は、パネル $i$  ( $i=1, 2, \dots, 20$ ) が項目 $j$  ( $j=0, P, T$ ; 0, あぶらっこさ; P, あぶらっこさの好ましさ; T, 粘性) に対して、対照とした752と比較してつけた各試料の評点を表す。 $x_{ij}$ の20人のパネルの

表6.7 官能検査の評点

試料 番号*	あぶらっこさ ; O		あぶらっこさの 好ましさ ; P		粘性 ; T	
	平均 $\bar{X}_O$	標準偏差 $\sigma_O$	平均 $\bar{X}_P$	標準偏差 $\sigma_P$	平均 $\bar{X}_T$	標準偏差 $\sigma_T$
351	-0.93	2.18	0.30	1.35	-1.63 <sup>a</sup>	1.37
352	-1.89	1.65	-0.50	1.90	-2.88 <sup>b</sup>	0.76
353	-2.00	1.35	0.19	1.78	-3.17 <sup>b</sup>	0.59
	N.S.**		N.S.		P<0.001***	
451	-1.04	1.28	0.18	1.25	-1.79 <sup>a</sup>	1.17
452	-0.90	1.36	-0.28	1.20	-2.11 <sup>a</sup>	0.68
453	-1.26	1.75	-0.15	1.35	-3.11 <sup>b</sup>	0.46
	N.S.		N.S.		P<0.001	
551	-1.38	0.96	0.63	0.84	-1.90 <sup>a</sup>	0.84
552	-1.42	1.23	0.43	1.20	-2.25 <sup>a b</sup>	0.69
553	-2.13	1.09	0.28	1.38	-2.98 <sup>b</sup>	0.68
	N.S.		N.S.		P<0.001	
651	-0.48 <sup>a</sup>	1.31	0.25	1.26	-0.75 <sup>a</sup>	1.08
652	-0.93 <sup>a</sup>	1.72	-0.13	1.43	-2.30 <sup>b</sup>	1.37
653	-1.45 <sup>a b</sup>	2.06	0.00	1.97	-3.00 <sup>b c</sup>	0.63
654	-2.08 <sup>b</sup>	1.75	-0.70	1.80	-3.50 <sup>c</sup>	0.58
	P<0.05		N.S.		P<0.001	
751	0.23 <sup>a</sup>	1.36	-0.50 <sup>b</sup>	1.24	0.48 <sup>a</sup>	1.39
752	0.48 <sup>a</sup>	0.91	-0.60 <sup>b</sup>	0.82	-0.14 <sup>a</sup>	0.75
753	-0.53 <sup>a b</sup>	1.02	0.30 <sup>a</sup>	0.86	-1.73 <sup>b</sup>	1.19
754	-1.00 <sup>b</sup>	1.59	-0.05 <sup>a b</sup>	1.36	-3.00 <sup>c</sup>	0.79
	P<0.01		P<0.05		P<0.001	
801	0.48	1.27	-0.42	1.02	1.35 <sup>a</sup>	0.86
802	0.12	1.05	-0.08	1.00	0.09 <sup>b</sup>	1.10
803	0.03	1.01	-0.23	0.87	0.23 <sup>b</sup>	0.83
	N.S.		N.S.		P<0.001	

\* : 上2桁は油相体積分率 $\phi$ を表し, 下1桁は攪拌速度が高くかつ増粘剤添加量が多いものから1,2,3,4とした.

N.S. : Not Significant

P : 危険率



平均点を  $x_j$ 、標準偏差を  $\sigma_j$  とする。なお表中には油相体積分率  $\phi$  ごとに分散分析の結果も併記した。

全体的には油相体積分率  $\phi$  が高いほどあぶらっこさを強く感じる傾向がみられた。しかし、 $\phi$  が同じでも調製条件によりあぶらっこさの強度に対する評価は異なり、特に  $\phi 0.75$  および  $\phi 0.65$  ではそれぞれ  $P < 0.01$  および  $P < 0.05$  で試料間に有意差があった。

あぶらっこさの好ましさについては、試料間にほとんど差がみられなかった。また、あぶらっこさとあぶらっこさの好ましさの相関係数  $r$  は  $0.302$  と低く、本研究の試料においてはあぶらっこさの強さは、あぶらっこさの好ましさに影響しないことが明らかとなった。

粘性については、油相体積分率  $\phi$  が高いほど粘性を強く感じるということがわかった。また、同じ  $\phi$  では攪拌速度が高く、増粘剤添加量が多いほど粘性を強く感じており、粘度の測定結果の傾向と一致していた。

#### 6. 3. 4 客観的パラメータによる

##### エマルションのあぶらっこさの数式化

以上より、油相体積分率  $\phi$ 、粒度、粘度がさまざまに異なるエマルションの官能値および物理的パラメータを得ることができたので、本節ではあぶらっこさをこれらのパラメータで数式化することにした。

まず、あぶらっこさと  $\phi$  との関係を図6.9に図示した。両者の相関係数  $r$  は  $0.683$  とあまり高くなく、 $\phi$  のみではあぶらっこさは決まらないことが確認された。

つぎに粒度の影響について考察した。あぶらっこさと粒度のパラメータの相関行列を表6.8に示した。表より、体積分布のメジアン径  $d_v$  は他のパラメータとの  $r$  がそれぞれ、 $d_N$  とは  $0.653$ 、 $c_N$  とは  $0.793$ 、 $c_v$  とは  $-0.588$  と比較的高かったため、以下粒度のパラメータを用いる際は代表値として  $d_v$  を用いるこ

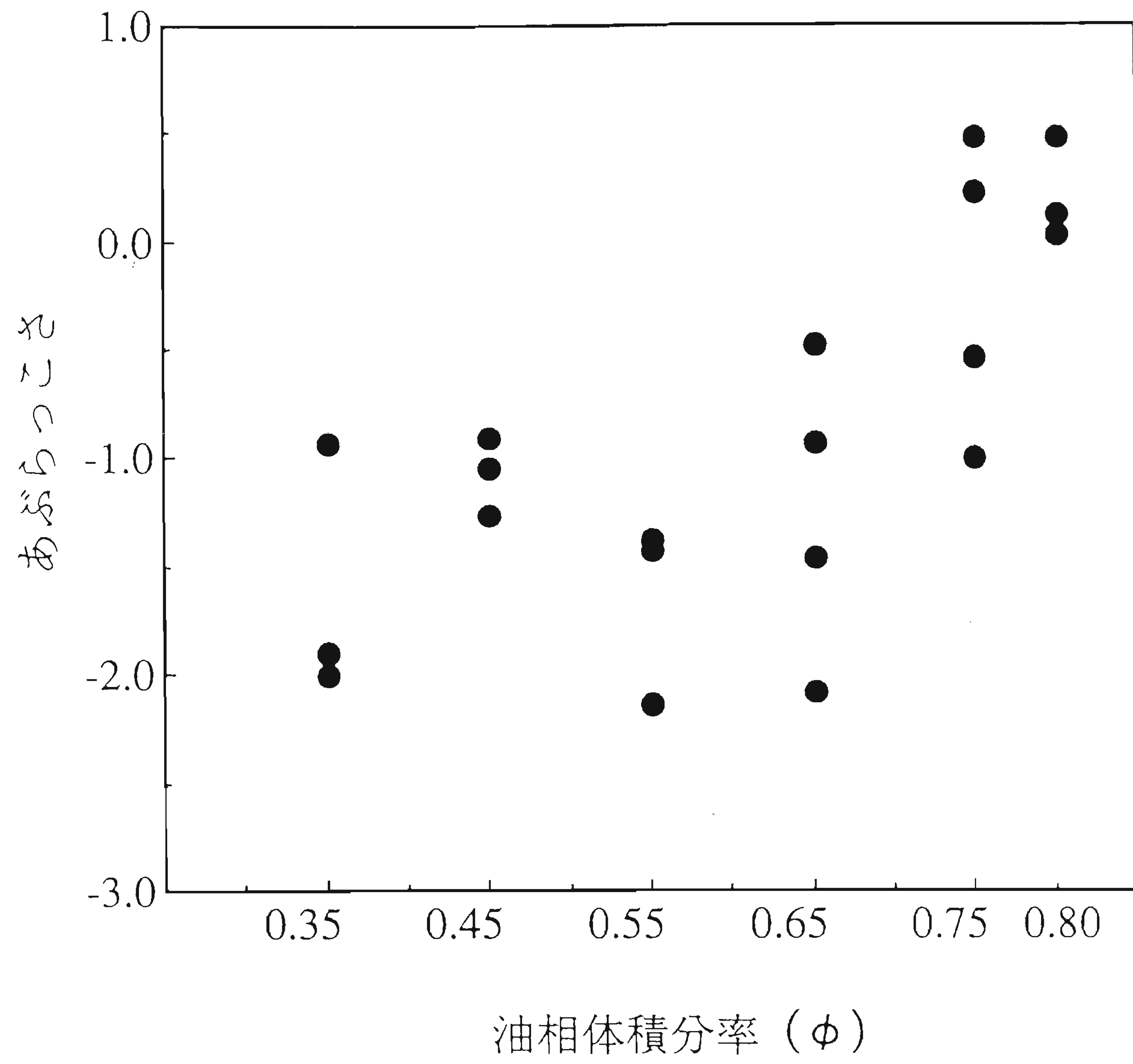


図6.9 あぶらっこさと油相体積分率との関係

表6.8 あぶらっこさおよび粒度のパラメータの相関行列

	$Y ; x_0$	$X_1 ; d_N$	$X_2 ; c_N$	$X_3 ; d_V$	$X_4 ; c_V$
$Y ; x_0$	—	-0.125	-0.653	-0.486	0.481
$X_1 ; d_N$		—	0.204	0.653	-0.413
$X_2 ; c_N$			—	0.793	-0.646
$X_3 ; d_V$				—	-0.588
$X_4 ; c_V$					—

とにした。図6.10にメジアン径  $d_v$  とあぶらっこさとの関係を示した。両者に相関関係は認められなかったので、他のパラメータも含めて回帰分析を行ったが、有効な回帰式は得られず、粒度のパラメータは単独でも、組み合わせてもあぶらっこさを説明できないことが明らかになった。一般的に家庭の手作りマヨネーズは市販品よりあぶらっこいと言われ、その理由は、前者の粒子径が大きいためだと考えられているが、この説は誤りであることが本研究により明らかとなった。それどころか、メジアン径  $d_v$  が小さいものに、あぶらっこさの評点が高いものが多くみられた。一般に粒子径が大きく分布の幅が広いほど粘度が低いと言われており<sup>161) 162) 172)</sup>、本研究の結果も6.3.2節より同様の結果が得られている。粒度はあぶらっこさの直接的要因ではないものの、粘度に影響を与え、間接的にあぶらっこさに関与しているという可能性も考えられる。

そこでつぎに、粘度とあぶらっこさの関係について考察した。官能検査の粘性を目的変数  $Y$  とし、流動特性の6つのパラメータ、みかけの粘性率  $\eta_{10}$ 、 $\eta_{50}$ 、粘性係数  $K$ 、流動性指数  $n$ 、降伏値  $S_{OR}$ 、 $S_{OR}$  を説明変数  $X$  として回帰分析を行った。各変数の相関行列を表6.9に、変数指定法により粘度のパラメータをすべて用いた場合と、変数増減法<sup>157)</sup>により有効な説明変数のみ選択した場合の重回帰分析の結果を表6.10に示した。表6.9より、 $n$ を除く粘度のパラメータはいずれも  $r$  が0.852~0.924と官能値の粘性と相関が高いことが認められた。なかでも  $\eta_{10}$ 、 $\eta_{50}$ 、 $K$ 、 $S_{OR}$  の相関は、 $r$  が0.910~0.924と非常に高く、人間の口中感覚でとらえた粘性によく対応していることがわかった。流動特性と官能特性の関係についてはいくつか研究が行われており、ずり速度  $D = 10 \sim 50 \text{ s}^{-1}$  で粘性を知覚するとしたWood<sup>186)</sup>、Shama ら<sup>176)</sup>の結果と一致していた。しかし一方で、流動開始の際の応力である  $S_{OR}$  も  $\eta$  と同様、口中で知覚される粘性を表す指標となり得ることが明らかとなった。 $S_{OR}$  は、流動開始応力である  $S_0$  をごく低い  $D$  の領域において測定した結果より算出したものであり、図6.8にみられるように(6.4)式の Casson 式のあてはまりも非常によい。 $S_{OR}$  と口中の粘性との関係についての報告は少ないが、保形性のある試料を口にした時に感じる粘性は  $S_{OR}$  と対応することが十分に考えられ、 $S_{OR}$  の有効性が示され

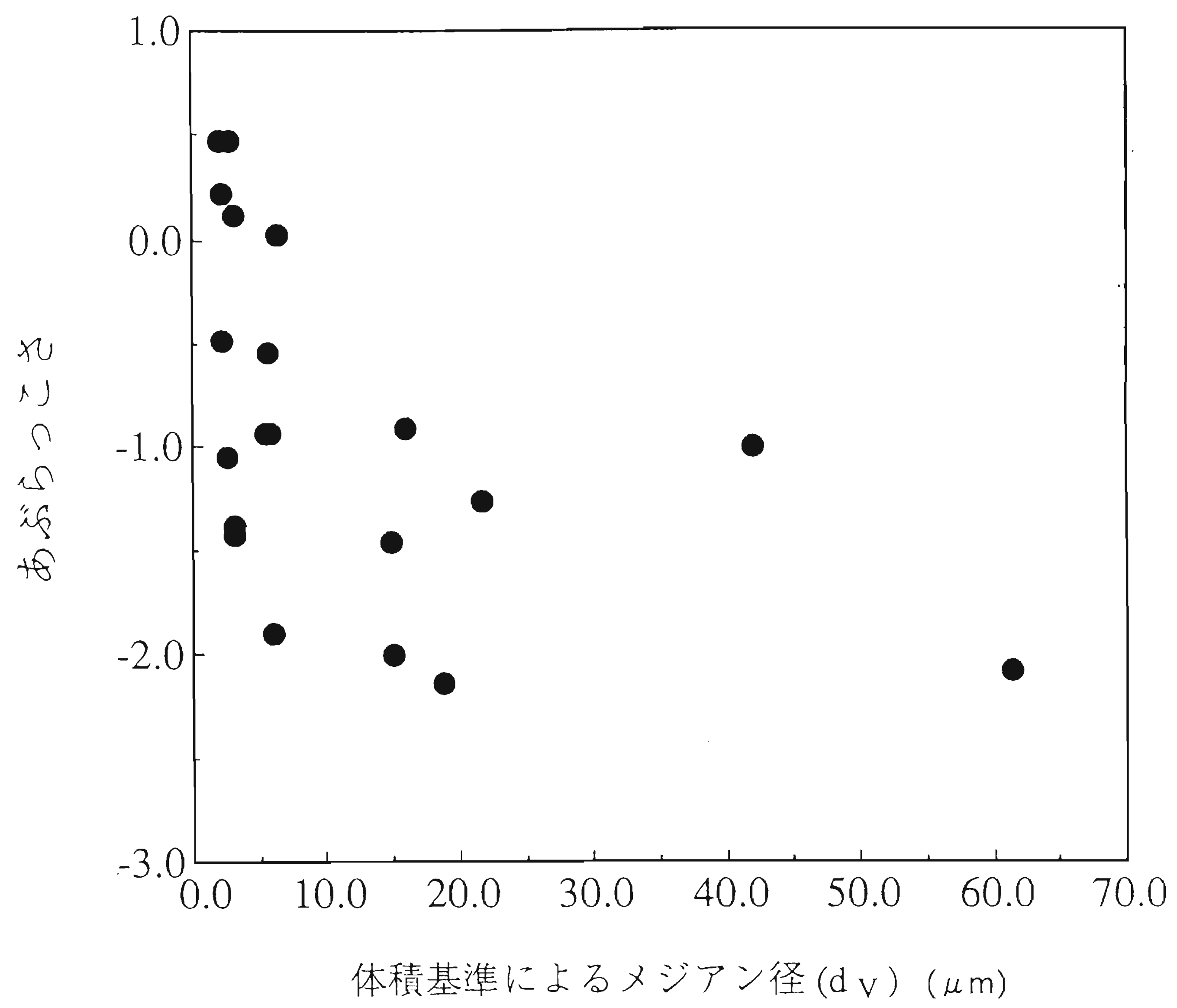


図6.10 あぶらっこさと体積分布のメジアン径との関係

表6.9 官能値の粘性および粘度の客観的パラメータの相関行列

	Y ; $x_T$	$X_1 ; \eta_{10}$	$X_2 ; \eta_{50}$	$X_3 ; K$	$X_4 ; n$	$X_5 ; S_{OE}$	$X_6 ; S_{OR}$
Y ; $x_T$	—	0.914	0.924	0.901	-0.651	0.852	0.910
$X_1 ; \eta_{10}$		—	0.995	0.997	-0.582	0.961	0.907
$X_2 ; \eta_{50}$			—	0.985	-0.580	0.948	0.900
$X_3 ; K$				—	-0.581	0.972	0.910
$X_4 ; n$					—	-0.632	-0.508
$X_5 ; S_{OE}$						—	0.860
$X_6 ; S_{OR}$							—



表6.10 粘度の客観的パラメータを用いた官能値の粘性の重回帰式

	説明変数 X	偏回帰係数 b	標準偏回帰係数 b'	自由度修正済 決定係数 R' <sup>2</sup>
変 数 指 定 法	X <sub>1</sub> ; $\eta_{10}$	-1.833	-13.410	0.907
	X <sub>2</sub> ; $\eta_{50}$	5.838	6.973	
	X <sub>3</sub> ; K	0.155	6.898	
	X <sub>4</sub> ; n	-3.413	-0.293	
	X <sub>5</sub> ; S <sub>OE</sub>	-0.002	-0.047	
	X <sub>6</sub> ; S <sub>OR</sub>	0.024	0.419	
	定数項	-1.875		
変	X <sub>2</sub> ; $\eta_{50}$	0.773	0.924	0.845
	定数項	-3.006		
数	X <sub>2</sub> ; $\eta_{50}$	0.459	0.548	0.873
	X <sub>6</sub> ; S <sub>OR</sub>	0.024	0.418	
	定数項	-2.920		
増 減	X <sub>2</sub> ; $\eta_{50}$	0.366	0.437	0.893
	X <sub>6</sub> ; S <sub>OR</sub>	0.024	0.422	
	X <sub>4</sub> ; n	-2.192	-0.188	
	定数項	-2.065		
法	X <sub>2</sub> ; $\eta_{50}$	1.593	1.903	0.913
	X <sub>6</sub> ; S <sub>OR</sub>	0.030	0.522	
	X <sub>4</sub> ; n	-2.609	-0.224	
	X <sub>1</sub> ; $\eta_{10}$	-0.217	-1.584	
	定数項	-2.117		

た。

表6.10よりこれらのパラメータを組み合わせて用いると、官能値である粘性の回帰式の自由度調整済決定係数(adjusted coefficient of determination)  $R'^2$ は0.845であったのが、0.913とさらに高くなることがわかった。しかし、表6.9に示したように、粘度の各パラメータの相関が高いことから、これらはいずれも単独で口中で知覚される粘性を表すと判断し、以下粘度のパラメータは、相関が  $r = 0.924$  (表6.9) と最も高かった  $\eta_{50}$ とした。

あぶらっこさと  $\eta_{50}$ との関係を図6.11に示した。  $r^2$ が0.814と高いことから、あぶらっこさは粘度のパラメータによってその大部分が説明できることがわかった。しかし、図6.11よりXである  $\eta_{50}$ の対数をとることの有効性が示唆された。  $\eta_{50}$ の対数とあぶらっこさとの関係を図6.12に示した。  $r^2$ は0.858とさらに高く、あぶらっこさは粘度のパラメータ  $\eta_{50}$ の対数によってその大部分を説明できることが明らかとなった。

感覚と刺激の関係について計量心理学的に取り扱う際に一般に用いられるのが次式の Fechner の法則である<sup>188) 189)</sup>。

$$R = k \log S + C \quad \dots(6.5)$$

ここでRは感覚量、Sは刺激量である。(6.5)式は「感覚の強さは刺激量の対数に比例する」ということを意味している。この式を本研究の結果にあてはめると感覚量はあぶらっこさであり、刺激量は  $\eta_{50}$ ということがいえる。エマルション系においては、あぶらっこさに対する刺激要因は粘度であることが、本研究により初めて明らかとなった。

さらに粘度以外の要因の複合的な影響についても調べるため、あぶらっこさを目的変数とし、油相体積分率  $\phi$ 、粒度のパラメータメジアン径  $d_v$ 、粘度のパラメータみかけの粘性率  $\eta_{50}$ の対数を説明変数として重回帰分析を行った。なお  $d_v$ については、あぶらっこさの単回帰分析の際に対数も用いたが、  $r^2$ はほとんど変化しなかったため、対数ではなく常数を用いた。これらの3つのパラ

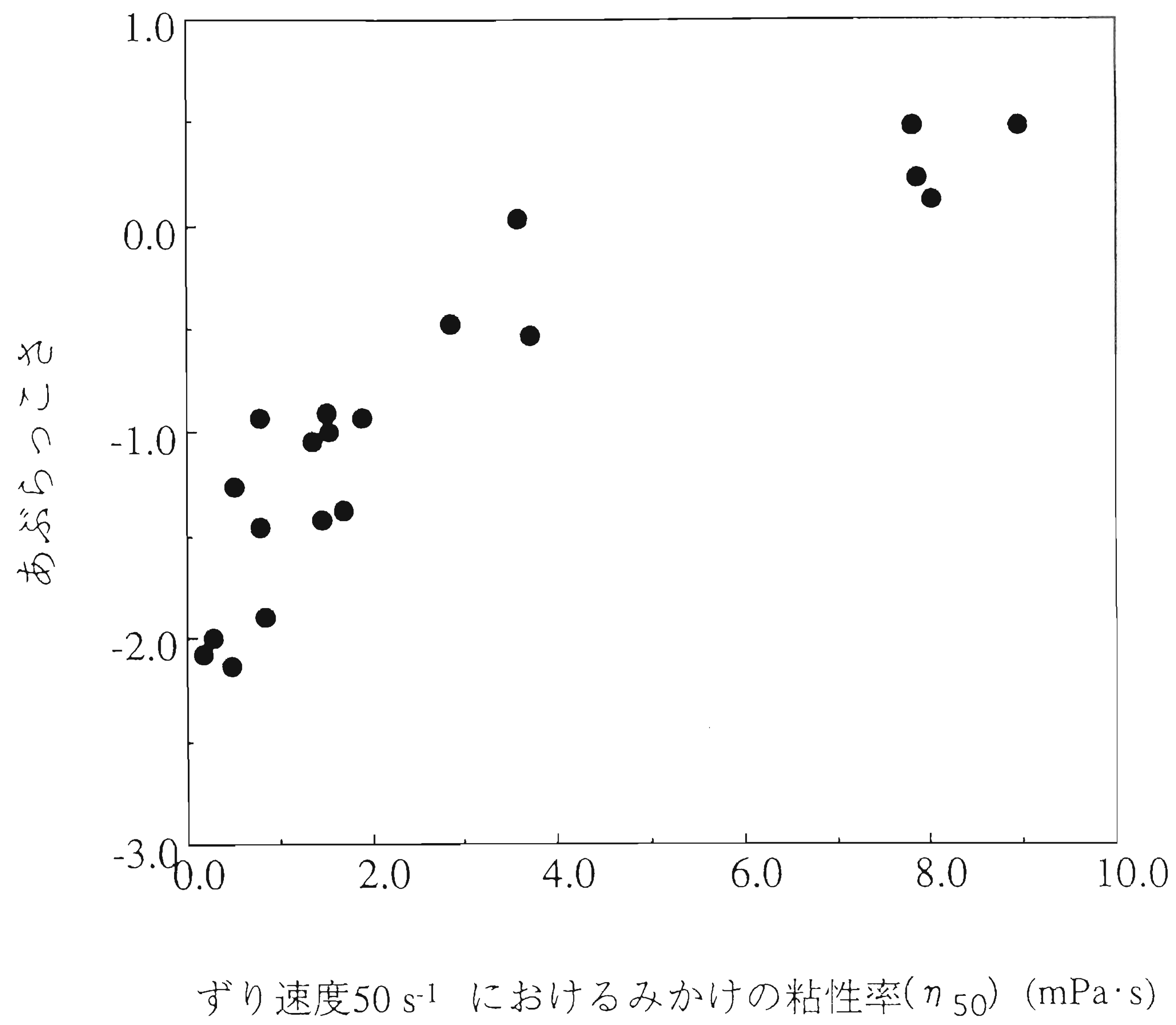


図6.11 あぶらっこさとみかけの粘性率（ずり速度 $50 \text{ s}^{-1}$ ）との関係

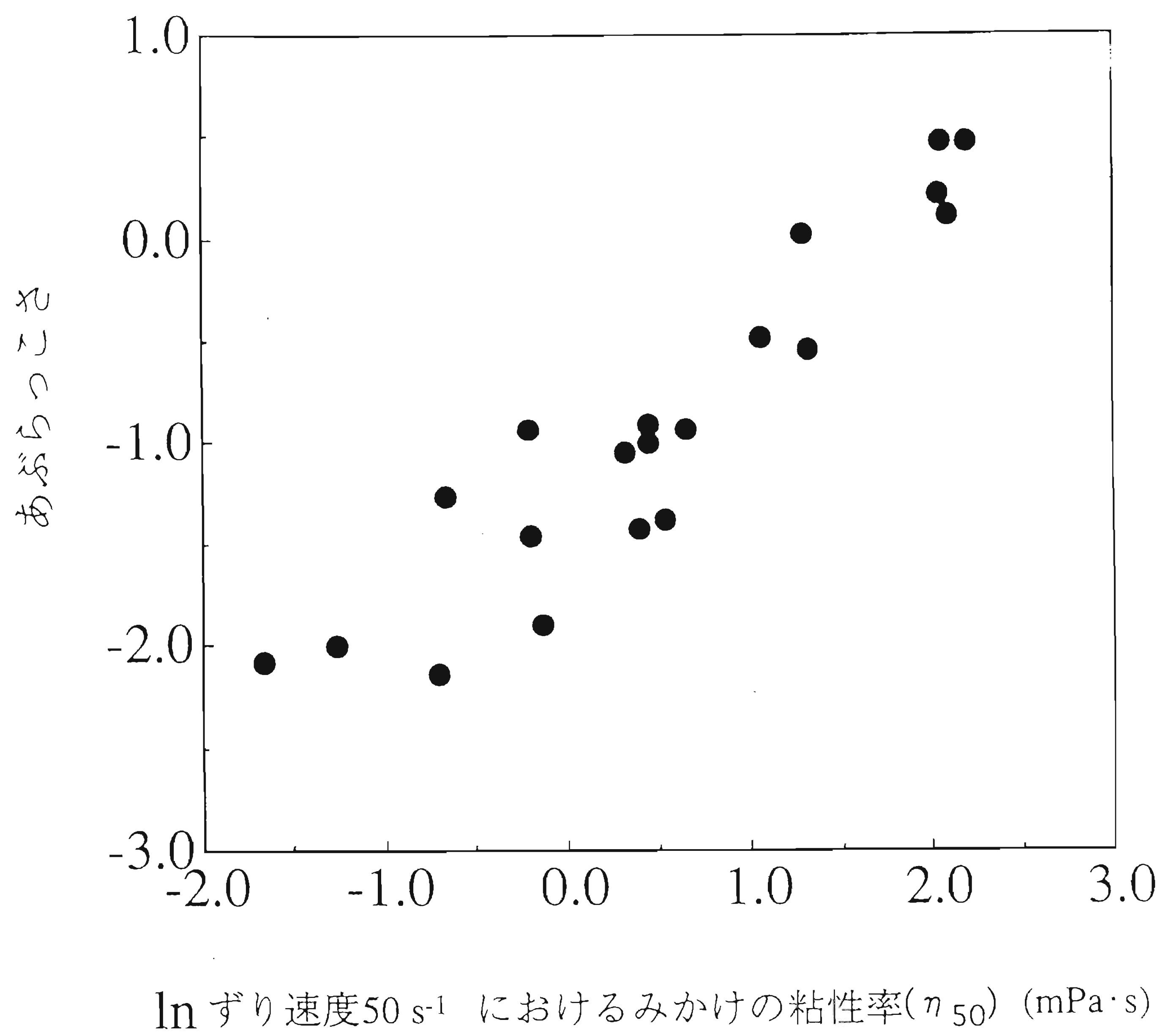


図6.12 あぶらっこさとみかけの粘性率（ずり速度50s<sup>-1</sup>）の対数との関係

メータで、はじめに変数指定法により説明変数を全て用い、次に変数増減法により有効な説明変数を順に選択して分析を行った。

結果を表6.11に示した。変数増減法により式に取り入れられた説明変数はみかけの粘性率 $\eta_{50}$ の対数のみであった。さらに変数指定法と比較すると、 $\eta_{50}$ の対数のみを用いた場合でも、油相体積分率 $\phi$ 、メジアン径 $d_v$ 、および $\eta_{50}$ を全て用いた場合でもあぶらっこさの重回帰式の $R'^2$ は0.858、0.864とほとんど変わらなかった。そこで $\eta_{50}$ の対数のみであぶらっこさの回帰式がたてられることがわかった。

以上の結果より、あぶらっこさは、ほぼ粘度によって決まることが明らかとなり、つぎの(6.6)式が得られた。

$$Y = -1.246 + 0.695 \ln(\eta_{50}) \quad \dots(6.6)$$

#### 6.4 まとめ

本章では、食品のモデルとして O/W エマルションを設定し、あぶらっこさを客観的パラメータで表すことを試みた。まず、あぶらっこさの知覚に必要な油脂の最低量を調べた。油相体積分率 $\phi$ を0から段階的に上げ、各 $\phi$ でさまざまな粘度の試料を調製した。これらの試料についてあぶらっこさの有無を絶対評価法により評価させた。65%以上のパネルがあぶらっこいと判断した油相体積分率 $\phi$ をあぶらっこさの知覚に要する $\phi$ としたところ、粘度の影響は多少あるものの、およそ $\phi$ 0.35であった。

そこでつぎに、 $\phi$ 0.35以上の試料についてエマルションの性状とあぶらっこさの強度との関係を明らかにした。油相体積分率 $\phi$ 、増粘剤添加量および攪拌速度を変えて試料を調製し、 $\phi$ は0.35~0.80、粒度は体積分布のメジアン径 $d_v$ が2.07~61.30  $\mu\text{m}$ 、粘度はみかけの粘性率 $\eta_{50}$ が0.19~8.94 Pa·sと各パラ

表6.11 あぶらっこさの重回帰式

説明変数 X	偏回帰係数 b	標準偏回帰係数 b'	自由度修正済 決定係数 R' <sup>2</sup>
<変数指定法>			
X <sub>1</sub> ; $\phi$	0.008	0.157	0.864
X <sub>2</sub> ; dv	0.002	0.035	
X <sub>3</sub> ; $\ln \eta_{50}$	0.639	0.855	
定数項	-1.739		
<変数増減法>			
X <sub>3</sub> ; $\ln \eta_{50}$	0.695	0.930	0.858
定数項	-1.246		



メータの値が非常に広範囲な20種の O/Wエマルションを得た。攪拌速度が高く、増粘剤添加量が多いほど粒度は細かく、かつ分布の幅は狭くなった。また $\phi$ が高く、粒度が小さくかつ分布の幅が狭くなるほど粘度は高くなった。これらの試料を用いて2点強度尺度試験法により官能検査を行い、分散分析および重回帰分析により統計処理をしたところ、以下の結果を得た：

- ①あぶらっこさは油相体積分率 $\phi$ のみでは説明できず、他の要因の影響が示唆された。
- ②粒度とあぶらっこさの関係について調べたところ、粒度を表すパラメータ $d_N$ 、 $c_N$ 、 $d_V$ 、 $c_V$ は単独でも、複合してもあぶらっこさとの相関は低かった。
- ③粘度のパラメータはみかけの粘性率 $\eta_{10}$ 、 $\eta_{50}$ および降伏値 $S_{OR}$ がいずれも単独で口中感覚による粘性と高い相関を示し、 $\eta_{50}$ が最も相関が高かった ( $r = 0.924$ )。
- ④粘度のパラメータ $\eta_{50}$ はあぶらっこさと非常に高い相関を示した。
- ⑤ $\phi$  ( $X_1$ )、 $d_V$  ( $X_2$ ) および $\ln \eta_{50}$  ( $X_3$ ) を用いてあぶらっこさ ( $Y$ ) の重回帰分析を行ったところ、単回帰式  $Y = -1.246 + 0.695 X_3$  が得られた。本式の決定係数 $r^2$ は0.858であり極めて有効な式であった。また $\eta_{10}$ および $S_{OR}$ でも同様の式が成立した。

以上より、あぶらっこさの強度を粘度の関数として表すことができた。また油相体積分率 $\phi$ および粒度は粘度に影響を与え、あぶらっこさには間接的に関わっていることが示唆された。