

総 説

スポンジケーキの物性

越 智 知 子*

1. はじめに

スポンジケーキは卵、砂糖、小麦粉を主材料とし、卵の起泡性と気泡の安定性を利用してスポンジ状の組織に焼いたものの総称である。また、材料に各種の油脂を加えた場合も、この手法によるものはスポンジケーキの分類に入れ、バタースポンジ(英・米 Butter sponge)、フランスではビスキュエ(Biscuit)あるいはゼノアーズ(ゼイア風)(Genoise)、ドイツではウィーナマッセ(ウィーン風)(Wienermasse)などと呼んでいる^{1,2)}。

スポンジケーキはそのまま食べるだけでなく、これをケーキ台としてこれにデコレーションをした各種のケーキがつけられ、ロールケーキ、ショートケーキ、デコレーションケーキなどと呼ばれている。

バターケーキはバター(油脂)、砂糖、卵、小麦粉を主材料とし、主として油脂のクリーミング性に加えて、膨脹剤を用いる場合が多い。

堀内³⁾は多孔質食品の物性について解説し、パン、マシュマロ、カステラ、などの柔らかい多孔質食品の性質に共通して、もっとも顕著な特徴は密度、比重が小さいことと弾性率、かたさが小さいことであろうと述べている。しかしスポンジケーキのこのような性質や、好ましい性状のスポンジケーキを再現性よく製造する条件は、必ずしも解明されてはいなかった。

スポンジケーキの膨化作用には、卵白が抱き込んだ空気の熱膨張と生地のもつ水分の蒸気圧の増大とが寄与し、膨化した卵白泡を支えるのは凝固した卵白泡とグルテンおよび糊化したでんぷんであると言われている。砂糖は卵の起泡性とその安定化および生地の流動性に大きく寄与している。したがって卵、砂糖および小麦粉の配合には適正な割合があると思われる。

ケーキの構造形成過程については、水越^{4,5)}がモデ

ルベーキング装置によって基本的に検討している。またケーキ焼成のメカニズム研究の動向については松井が総説¹⁾で詳述しているので、本稿ではまずスポンジケーキの品質に最も重要な影響を与えると思われる材料配合比、および口ざわりを改良するといわれている起泡改良剤と添加油脂の特性、およびスポンジケーキのレオロジカルな性質について検討したことを中心に述べる。

2. 材料配合比

スポンジケーキの品質は主原料の配合比によって大きく左右される。その配合比は経験的に決められているものが多く、例えば卵量を基準に他の材料を加える方法があり、それに基づく研究は2, 3報告されている。しかし主原料の配合比率と品質の関係を明らかにした総合的な考察はなされていない。

表 1. 単純格子点と原料配合

試料 番号	格 子 点				卵 X _{1g}	砂糖 X _{2g}	小麦粉 X _{3g}	水 X _{4g}
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄				
1	1	0	0	0	45	25	25	5
2	0	1	0	0	29	41	25	5
3	0	0	1	0	29	25	41	5
4	0	0	0	1	29	25	25	21
5	1/2	1/2	0	0	37	33	25	5
6	1/2	0	1/2	0	37	25	33	5
7	1/2	0	0	1/2	37	25	25	13
8	0	1/2	1/2	0	29	33	33	5
9	0	1/2	0	1/2	29	33	25	13
10	0	0	1/2	1/2	29	25	33	13
11	1/3	1/3	1/3	0	34.3	30.3	30.3	5.1
12	1/3	0	1/3	1/3	34.3	25	30.3	10.4
13	1/3	1/3	0	1/3	34.3	30.3	25	10.4
14	0	1/3	1/3	1/3	29	30.3	30.3	10.4
15	1/4	1/4	1/4	1/4	33	29	29	9
(7)*	0.3	0.3	0.3	0.1	30	30	30	10

注 (7)*は格子点以外の点で配合比率の代表的なもの、推定回帰式のあてはまりをチェックする目的で入れた。

* 東京家政大学

スポンジケーキの物性

表 2. 一般成書にみられるスポンジケーキの配合例

No		卵	砂糖	小麦粉	水又は牛乳	備考	文献	
1	スポンジケーキ	100 (56.4)	30 (16.9)	40 (22.5)	7.5 (4.2)		11)	
2	スポンジケーキ	100 (50)	62.5 (31.3)	37.5 (18.7)			12)	
3	ビスキュイ・オーディネール	100 (48.8)	55 (26.8)	50 (24.4)			13)	
4	ロールケーキ	100 (47.6)	55 (26.2)	45 (21.4)	10 (4.8)		14)	
5	スポンジケーキ (プレーン)	100 (44.2)	60 (26.6)	56 (24.8)	10 (4.4)		15)	
6	スポンジケーキ	100 (37.5)	86.7 (32.5)	66.7 (25)	13.3 (5.0)		16)	
7	スポンジケーキ	100 (36.1)	111.1 (40.1)	55.6 (20.1)	10.4 (3.7)		12)	
8	ロールスポンジケーキ	100 (33.3)	106.7 (35.6)	73.3 (24.4)	20 (6.7)		17)	
9	スポンジケーキ	100 (32.6)	100 (32.6)	81 (26.4)	25.7 (8.4)		15)	
10	一般小売向きのホットスポンジ	100 (34.0)	89 (30.3)	75 (25.5)	30 (10.2)		18)	
11	スポンジケーキ	100 (29.4)	100 (29.4)	100 (29.4)	40 (11.8)		19)	
12	スポンジケーキ	100	80	66.7			1)	
13	ビスキュイ	100	100~40	100~40		生地の硬さの調節は水、牛乳などを用いる	20)	
14	スポンジ生地の配合	軽い	50前後	50前後			左記の比率の範囲で3種の材料の組み合わせを行う	2)
		中間	75前後	75前後				
		重い	100前後	100前後				

注) 表中の数字は卵100に対する比率に換算した数値を示し、()内の数値は全量中の%を示す。

表 3. スポンジケーキの評点結果

試料番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	(7)	
評価項目	満点	評点															
比容積	15	15	15	5	8	15	12	14	14	14	10	15	11	14	13	15	13
形均整率	5	1	5	5	1	5	3	4	3	5	4	4	5	3	4	4	1
表皮色	14	14	12	5	13	14	10	13	13	13	10	13	10	14	13	13	14
表皮形状	6	4	4	4	3	6	5.5	4	5	4	6	6	5	4	6	5	5.5
内部形状	10	2	8	5	4	8	5	2	6	5	8	7	9	5.5	7	6	9
内部触感	15	13	15	1	8	15	6	11	7	15	4	10	6	15	10	13	12
内部色	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
香	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
味	25	19	23	5	15	23	11	17	11	22	10	15	10	22	15	19	19
総合	100	78	92	40	62	96	62.5	75	69	88	62	80	66	87.5	78	85	80.5

ただ成書のなかで山崎、島田⁶⁾は卵100に対し砂糖および小麦粉は80前後とし、Coughlin⁷⁾は製菓材料とその機能について考察し、Davies⁸⁾は一つのつり合いのとれた菓子の配合について、ある一つの材料だけ使用量を変えた場合の菓子の性質の変化をしらべている。

そこで著者は多成分系の実験方法に適用するScheffé⁹⁾のSimple Lattice Design (単純格子計画法)を用い、スポンジケーキの主原料の卵、砂糖、小麦粉および水の全材料を1とし、配合比を決めて表1を作成し、これに従って各材料が製品の品質におよぼす影響を検討した¹⁰⁾。

配合割合を検討するに当って、表2に示す諸文献に見られるスポンジケーキ(卵、砂糖、小麦粉、水又は牛乳だけを用いているもの)の材料配合割合を参考にした。

スポンジケーキの調製法は、種々の配合比による試料16点について、共立て法で混合し、焼成する過程を

一定条件の下で行った。

製品の品質評価は表3の項目につき、W. W. Prouty²¹⁾の評価方法に準じた配点率を用いて行った。その項目のうち物理的性質として比容積、形均整率、内部触感(弾力性)は計測値を基準化して配点した。また官能検査による特性は表皮色、表皮形状、内部色、内部形状、香、味についてはそれぞれ官能評価項目に配点し、その評価成績を表3に示した。

15点の格子点に2次モデルをあてはめて、反応曲面を推定し、その反応曲面の多項式係数を求めると総合評価点 \hat{Y} に対してつぎのようになった。

$$\hat{Y} = 78 X_1 + 92 X_2 + 40 X_3 + 62 X_4 + 44 X_1 X_2 + 14 X_1 X_3 + 20 X_1 X_4 + 12 X_2 X_3 + 44 X_3 X_2 + 44 X_3 X_4 \quad (1)$$

ただし X_1 : 卵, X_2 : 砂糖, X_3 : 小麦粉, X_4 : 水である。上式は砂糖と卵に比べ、小麦粉、水の配合比は総合評

表 4. 原料配合比と評価値の関係

配合比率	x ₁	卵	1/2	3/8	1/4	1/8	0	1	3/4	1/2	1/4	0	3/4	1/4	3/8	1/2	0
	x ₂	砂糖	0	1/8	1/4	3/8	1/2	0	1/4	1/2	3/4	1	0	1/2	3/8	1/4	3/4
	x ₃	小麦粉	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	0	0	0	0	0	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
	x ₄	水	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	0	0	0	0	0	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
配合割合		卵	37	35	33	31	29	45	41	37	33	29	41	33	35	37	29
		砂糖	25	27	29	31	33	25	29	33	37	41	25	33	31	29	37
		小麦粉	29	29	29	29	29	25	25	25	25	25	27	27	27	27	27
		水	9	9	9	9	9	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7
推定評価値 \bar{Y}			71	76	79	81	81	78	89	96	97	92	75	89	88	85	88

価に対する効果が低いことを示している。そこで X₃, X₄ をともに 0, 1/8, 1/4 を用い全配合比率を 1 とし修正評価表を作成すると表 4 の結果になった。この表より推定評価値の高い 96, 97 が最もよいことになる。すなわち、卵、砂糖、小麦粉、水の配合割合がそれぞれ (37, 33, 25, 5) (33, 37, 25, 5) の範囲にある。

この単純格子計画法の適用は、比較的小さな実験にもかかわらず、原料配合の製品品質におよぼす効果を効率よく推定することが可能であると思われる。

実際には、スポンジケーキはクリームなどでデコレーションをしてから食べることが多い。本稿における実験結果はケーキだけを評価しているため、クリームなどと合わせての食味については別に検討されなければならない。

近年、甘味に対する嗜好の変化と健康への配慮から、スポンジケーキのエネルギーはどこまで減らせるかが話題になっている。福島¹¹⁾ は卵に対して砂糖および小麦粉の量をどこまで減らすことができるかを検討し、卵：砂糖：小麦粉：牛乳=100：30：40：7.5 の配合割合まで減らすことができるとしてその作り方も紹介している。

砂糖は甘味だけでなく、卵の泡の安定性に寄与し、焼き色も良くし、老化防止にも役立つので、極端に減量することは出来ない。

3. 起泡剤の特性

スポンジケーキ製造の代表的な方法には、大別して共立て法と別立て法とがある²⁾。前者では全卵と砂糖の混合物を攪拌起泡し、それに小麦粉を加える。後者では卵白と卵黄を分離し、卵黄・砂糖・水の混合物を攪拌起泡し、他方卵白を泡立て砂糖を加える。この二者を合わせてから小麦粉を加える。砂糖や水の添加時期などに変法はある。この二法にはそれぞれに特徴はあるが優劣はきめがたい²²⁾。

乳化剤を用いる特殊製法は、全材料混合法（オールインミックシステム）と通称されている方法で、卵・砂糖・水・乳化起泡剤を混合してから小麦粉を加える。他に加圧容器の中で加圧空気とともに混合するプレッシャ

ーミキサー法など特殊ミキサーによる全材料混合法がある。

食品用界面活性剤の基礎的性質と応用については松井²³⁾ の成書がある。近年界面活性剤がスポンジケーキ生地用いられており、これを起泡剤²⁴⁾ と呼んで市販されている。起泡剤を用いると卵の起泡性および泡の保持性が改良され、ケーキの組織がよく、柔らかく、でん粉の老化防止効果があるなどの利点があるといわれている。

起泡剤の組成は²⁵⁾、一般にモノグリセライド、ショ糖エステル、ソルビタン脂肪酸エステル、ソルビット、プロピレングリコール、水を混合したもののようなものである。

起泡剤は卵の起泡力を助け、油脂の消泡性を抑えるから、オールインミック法が可能になった。

グリセリン脂肪酸エステルのなかではモノグリセライドの固体酸組成のものが起泡剤として有効とされている。モノグリセライドは、熔融して冷却固化した直後は α 結晶であるが、短時間で安定な β 結晶に転移して効果が落ちるので、これを防止するためにショ糖エステルを加えると分散性や起泡性、安定性が改良される。ソルビットはケーキにしっとりとした保水性を与える。

また、プロピレングリコールエステルを配合することによってモノグリセライドの α 結晶を安定に保つ方法もある。ソルビタン脂肪酸エステルは保水性が強いため、でき上がりケーキがしっとりする傾向がある。

本稿では、操作が簡単な共立て法により標準スポンジケーキをつくった。起泡剤の使用に当たっては工業的によく使われていた全材料混合法により、スポンジケーキをつくり、標準スポンジケーキと比較した。

起泡剤はソルビタン脂肪酸エステル 10%、ショ糖脂肪酸エステル 15%、グリセリン脂肪酸エステル 5%、D-ソルビット 30%、水 40% からなるゲル状物である。

図 1 には、スポンジケーキの調製方法を示した。泡立て時間の影響を検討するため、共立て法では卵と砂糖の泡立て時間を 4~18 分、起泡剤を加える全材料混合法は小麦粉を加えてからの泡立て時間を 2~16 分に変えた。また、泡立て温度の影響を検討するため、前者で 10~

スポンジケーキの物性

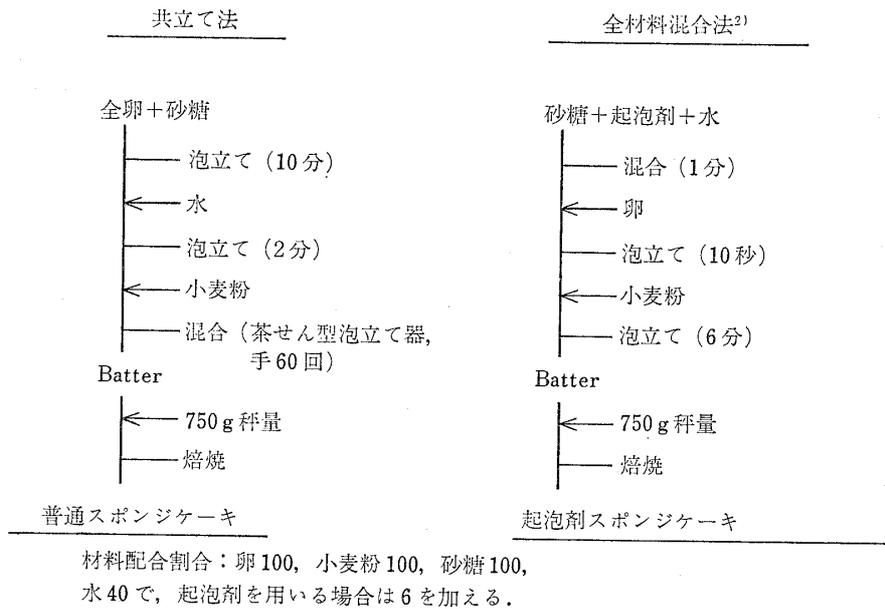


図 1. スポンジケーキの調製法

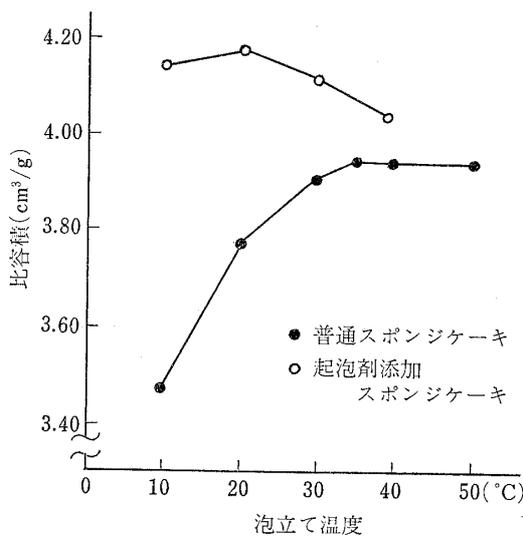


図 2. スポンジケーキの比容積におよぼす泡立て温度の影響

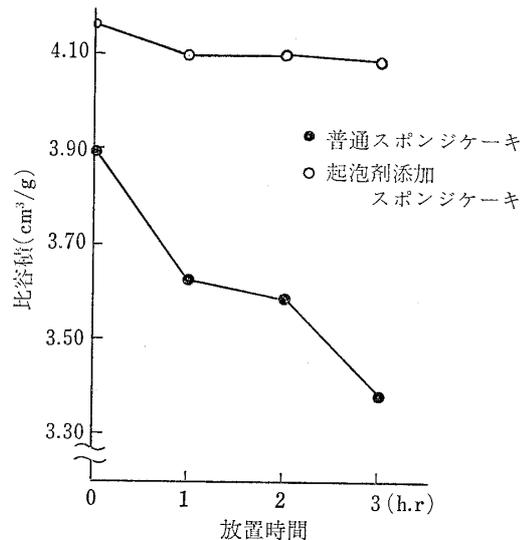


図 3. スポンジケーキの比容積におよぼす Batter の放置時間の影響

50°C, 後で10~40°Cに変えて行った。

泡立て時間は, 全材料混合法では共立て法に対して半減した。すなわち比容積は共立て法による普通スポンジケーキでは12分の泡立て時間で最大値が認められた。全材料混合法による起泡剤添加スポンジケーキでは比容積は普通ケーキより大きく, 6分以上の泡立て時間では約4.15のほぼ一定の比容積を示し, 柔らかい良質のスポンジケーキを得た。

起泡温度については図2に示す通り, 共立て法の適温は37~46°C²⁶⁾とされているが, 実験の結果では35~40°Cがもっともよく, 温度の高低が品質に大きく影響する。

全材料混合法の場合は起泡温度は20°Cがよいが, 温度の影響はうけにくく, さらに放置によるバターの安定性は共立て法によるよりも良好で(図3), 嗜好性もよいことが認められた(表5)。

また起泡剤添加ケーキは特に気泡が小さく分布し, 比容積が大きく官能評価では柔らかくなっている。しかし客観測定では小さな気泡の分布は逆に硬さを増す方向に影響し²⁷⁾, 普通ケーキと起泡剤添加ケーキとの硬さの差は顕著でない(図4)。

以上起泡剤を用いる方法を共立て法と比較すると, 混合時間が半減すること, 起泡温度は20°Cがよいが, 温

表 5. スポンジケーキの官能検査 (2点嗜好試験法) パネル 12 名

評価項目	普通スポンジケーキをよいとした数	起泡剤添加スポンジケーキをよいとした数
内 相	0	12***
口 ど け	2	10*
柔 ら か さ	0	12***
も ろ さ	1	11**
し め り け	0	12***
色	6	6
総合評価	0	12***

注) 表中 *印は危険率5%, ** 印は1% *** 印は0.1%で有意水準にあることを示す。

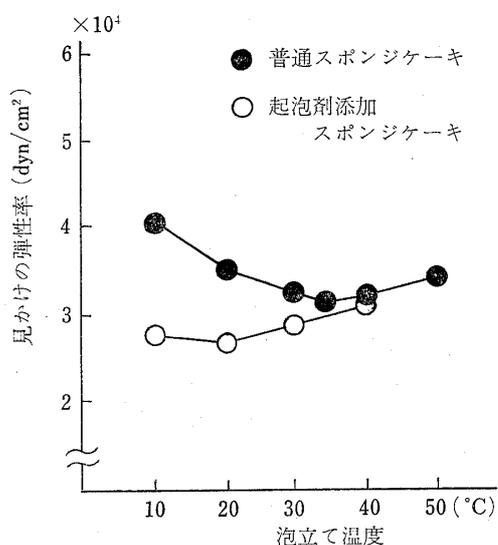


図 4. スポンジケーキのみかけの弾性率におよぼす泡立て温度の影響

度の影響はうけにくく、バター安定性が向上する。さらにケーキの組織がよく柔らかく嗜好性もよいことが認められた。

4. 油脂の影響

ケーキ製造における油脂とケーキの性状との関係については、既に多くの研究が発表されているが²⁸⁾、これらの研究は主としてバターケーキ類に関するものである。例えば、Matthews²⁹⁾は市販の油脂を用いたホワイトケーキにおける油脂の作用効果について、Guy³⁰⁾らは攪拌時間、乳化剤の効果などについて、Buddemeyer³¹⁾はケーキ用流動ショートニングについて、Hornett³²⁾はケーキ類について塑性ショートニングと液状油を比較し、食品用乳化剤の効果を検討している。

しかし、バタースポンジ法によった場合における油脂の特性の影響については報告されていない。ただ川染ら^{33,34)}はスポンジケーキのテクスチャーにおよぼすバター含量、バター攪拌時間の影響について報告している。

そこでここではスポンジケーキ生地に油脂を添加する際の問題点を検討した。

使用した油脂は、初報³⁵⁾ではとうもろこしサラダ油をはじめ動植物油の硬化油を含めて11種類、続報³⁶⁾では13種類を用いている、初報においてはまず油脂を加える前の生地温度を35°Cとし、第1実験として油脂温度の影響を検討するため31~100°Cの恒温槽で数段階の温度に調節して添加し、その添加温度によってケーキ比容積が影響を受け、融点の高い油脂ほどケーキの比容積を小さくすることを認めた。

第2実験として、添加油脂温度も生地温度と同じく35°Cとして実験し、その結果を表6に示した。表に示すよ

表 6. 油脂の物理的性質と生地の比重およびスポンジケーキの性状

油 脂 名	融 点 (°C)	固体脂指数 (S.F.I.) ^{a)}	生 地 比 重	スポンジケ ーキ比容積 (cm ³ /g)	スポンジケ ーキかたさ (dyn/cm ²)
とうもろこしサラダ油			0.463	3.56	5.1
なたね油			0.466	3.53	5.3
硬化魚油	46.0	60.9	0.629	2.48	17.0
精製牛脂	40.0	11.5	0.490	2.95	9.9
硬化綿実油	40.8	14.5	0.464	3.52	6.7
硬化鯨油	31.7	2.1	0.471	3.52	6.4
硬化大豆油	34.5	3.5	0.471	3.47	6.2
バター	29.6	2.0	0.462	3.55	7.0
マーガリン	30.6	1.9	0.466	3.48	7.1
とうもろこしサラダ油50% 硬化魚油50% 混合油	43.9	20.3	0.580	2.69	9.9
とうもろこしサラダ油75% 硬化魚油25% 混合油	39.8	11.5	0.496	3.50	6.4

a): 35°Cにおける値

スポンジケーキの物性

うに 35°C 付近の固体脂指数が大きい油脂程、ケーキ比容積を小さくしていることが明らかである。この原因としては、35°C 付近で高い固体脂指数をもつ油脂は油脂結晶が生成し、生地中に均一に分散されず粗大な粒子状となって生地の攪拌中に泡がこわれるためと思われる。

続報では、さらに詳細に、操作温度として3水準をとり、室温 32°C: 生地温度 35°C, 室温 20°C: 生地温度 35°C, 室温, 生地温度とも 20°C とし、油脂はいずれも 35°C の恒温槽に 15 分放置したのち添加した、添加量は全体の 7.7% と 12.1% の水準である。その結果、油脂融点がひくく、油脂量が少ない程ケーキ比容積は大で、かつやわらかいことが認められ、液状油と低融点固形脂では、操作温度がひくい方が、内相のきめが良好であること以外には差はなく、高融点固形脂では操作温度の高い方が、どの項目においてもよい結果が得られた。

5. レオロジー的性状

小麦粉焙焼製品について、松本³⁷⁾は次のように説明している。「ケーキは全体がクラム (crumb) でできているようなもので、パンはクラムである内部とクラスト (crust) である外側で構成され、ビスケットは全体がクラストからなっていると考えられます。ここで、クラムはケーキやパンの内部のやわらかい部分として定義され、あるいはまたビタミンの豊富な可食性プラスチックでかためられた空気穴と考えることもできます。したがってクラムは粘弾性を有することが予測され、実際マデイラケーキのクリープ挙動が測定された例があります。』³⁸⁾

スポンジケーキの力学的性質を機器を用いて表わすのに経験的な測定が広く行われている^{39~42)}。著者もコンプレシメーターによる、スポンジケーキのやわらかさと、レオメーターによる咀嚼試験のかたさ、凝集性を測定した。

しかし、基礎的測定法によりスポンジケーキの力学的物性を研究した報告は少ない。

そこで著者は、スポンジケーキ^{43,44)}およびバタースポンジケーキの物性を基礎的測定法により検討したが、これを補足するためにスポンジケーキの品質評価上、特に問題になる食べたときのやわらかさや、口どけについての官能評価と機器測定、すなわち客観的評価との両者の関係についても検討したことを中心に述べる。

粘弾性測定には平行板プラストメーターおよびクリープメーターを用いた。スポンジケーキは内相部を 2.5×2.5×2.0cm に切り、平行板にてはさみ、一定応力における圧縮クリープ曲線を求め、力学モデルを適用し、粘弾性の解析を行った。

なお、ひずみ 20% の範囲で、応力とひずみとの関係

表 7. 材料の配合比率

試料	材 料 (%)				合 計 (%)
	小麦粉	砂 糖	卵	バター	
A	20	25	52	3	100
B	20	25	48	7	100
C	20	25	42	13	100
D	20	25	36	19	100

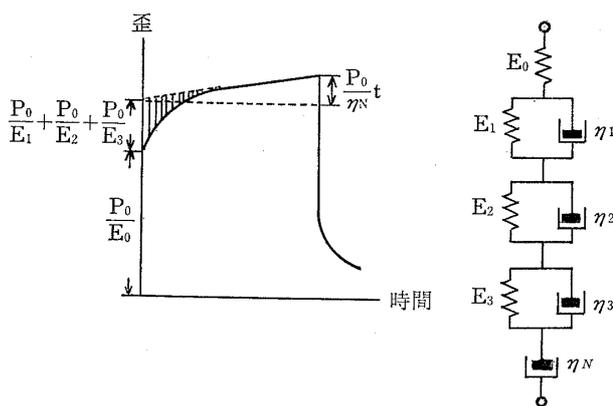


図 5. スポンジケーキのクリープ曲線と 8 要素ケルビンフォークト型粘弾性模型

P_0 : 応力, E_0 : フックの弾性体, E_1, E_2, E_3 : フォークトの弾性体, η_2, η_1, η_3 : フォークトの粘性体, η_N : ニュートンの粘性体

が線形であるので、この線形性の範囲で測定を行った。

試料のバタースポンジケーキは、表 7 に示す材料配合割合により調製した。またスポンジケーキおよび起泡剤スポンジケーキは前項のケーキを用いた。

図 5 にバタースポンジケーキのクリープ曲線および対応する粘弾性模型を示した。

クリープ曲線は瞬間変形を示す瞬間弾性部と、遅延変形を生じる粘弾性部と定常粘性部に解析され、瞬間変形部はスプリングで示したフック弾性体模型に、遅延変形部はスプリングとダッシュポットで示した 3 組の直列型フォークト粘弾性体模型に、定常粘性部はダッシュポットで示したニュートン粘性体の 8 要素模型による粘弾性挙動として解析した。その関係は次式によって示される。

$$\epsilon(t) = \left. \begin{aligned} & \frac{P_0}{E_0} + \frac{P_0}{E_1}(1 - e^{-t/\tau_1}) + \frac{P_0}{E_2}(1 - e^{-t/\tau_2}) \\ & + \frac{P_0}{E_3}(1 - e^{-t/\tau_3}) + \frac{P_0}{\eta_N}t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

この場合 $\epsilon(t)$: 歪み, P_0 : 一定応力, E_0 : フック体の弾性率, E_1, E_2, E_3 : フォークト体の弾性率, τ_1, τ_2, τ_3 : 遅延時間, η_N : ニュートン体の粘性率, t : 時間である。

表 8 にバタースポンジケーキの 10 分間測定によるク

表 8. バタースポンジケーキの弾性率・粘性率・遅延時間 (25°C)

試料	E_0 (dyn/cm ²)	E_1 (dyn/cm ²)	τ_1 (sec)	η_1 (poise)	E_2 (dyn/cm ²)	τ_2 (sec)	η_2 (poise)	E_3 (dyn/cm ²)	τ_3 (sec)	η_3 (poise)	η_N (poise)
	$\times 10^4$	$\times 10^5$		$\times 10^7$	$\times 10^5$		$\times 10^6$	$\times 10^5$		$\times 10^6$	$\times 10^8$
A	1.6	0.82	109	0.90	1.1	16.2	1.8	0.96	2.82	0.27	0.60
B	3.9	1.8	105	1.9	3.0	16.2	4.9	3.1	3.22	1.0	1.6
C	5.9	2.7	105	2.6	3.4	15.6	5.3	3.9	3.11	1.2	2.0
D	7.0	3.4	103	3.5	4.4	15.6	6.9	4.0	3.00	1.2	2.6

応力 $p_0 \times 10^3$ dyn/cm²: A, 1.99; B, 5.03; C, 6.05; D, 9.19. t : 600 sec

リープ曲線を解析した粘弾性の各要素の定数を示した。

バターの増加、すなわち卵の減少に伴い A, B, C, D の順に各要素の粘弾性率は増加した。

すなわち、バターが少なく卵の多いケーキは粘弾性定数がいずれも小さく、弾性変形と流動変形を共におこしやすい、つまり、やわらかくて、変形をおこしやすいことを示している。一方遅延時間 τ については顕著な差はなかった。

以上 A~D のスポンジケーキの弾性率 (E_0, E_1, E_2, E_3) および粘性率 ($\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_N$) はそれぞれ $10^4 \sim 10^5$ dyn/cm² および $10^5 \sim 10^8$ P の範囲にあり、バターを含まないスポンジケーキもほぼ同程度であった。

Shama³⁸⁾ らはマデーラケーキをずりクリープ測定装置を用いて本稿同様に 8 要素模型に解析し、弾性率および粘性率がそれぞれ $10^5 \sim 10^6$ dyn/cm² および $10^7 \sim 10^{10}$ P のオーダーであったと報告している。

伸長、圧縮のヤング率、粘性率の値は、同一材料を用いた場合、ずりの粘弾性率の値の 2~3 倍であるといわれている。

本稿の圧縮での粘弾性率に比べ、Shama らのずりの粘弾性率はやや大きな値を示している。これは本稿における試料が卵の多いスポンジケーキであるのに対し、Shama らのマデーラケーキの材料比率はパウンドケーキに近いものであることによるものと考えられる。

見かけの弾性率・回復率

上記のクリープ曲線において 10 分間におけるひずみを全ひずみ ϵ_t とし、加えた応力 P とするとつぎの式により、見かけの弾性率 E_t を求めた。

$$E_t = P / \epsilon_t \quad (3)$$

また回復ひずみよりつぎの回復率 H_c を求めた。

$$H_c = \text{回復ひずみ} / \text{全ひずみ} \times 100(\%) \quad (4)$$

コンプレッサーによる硬さ

スポンジケーキのやわらかさを表現するのに firmness (かたさ) を測定する方法を用いた²⁰⁾。これは一定の変形 (ひずみ) を生ずるに要する荷重を測定する方法で数値が大きいほど硬いことになる。測定法はスポンジ

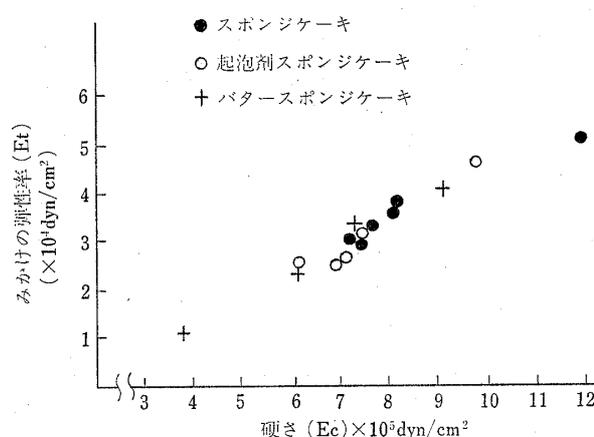


図 6. スポンジケーキおよびバタースポンジケーキの見かけの弾性率と硬さの関係

ケーキを立方形に切り応力 P , 10 秒後のひずみ ϵ とすると、硬さ E_c は次式で表わされる。

$$E_c = P / \epsilon \quad (5)$$

実際は $\epsilon = 10 \sim 13\%$ まで圧縮に要する P を求め E_c を計算した。なお試料の大きさは、 $(2.5 \sim 3.2) \times (2.5 \sim 3.2) \times (1.5 \sim 2.0)$ cm である。

図 6 はバタースポンジケーキとスポンジケーキの両者の結果である。見かけの弾性率 E_t とこれに関係の高いと思われる硬さ E_c の相関図である。測定計器の相違から、荷重時間見かけの弾性率 E_t 10 分間、 E_c は 10 秒間であるが、いずれも同じ傾向を示しているため、スポンジケーキやバタースポンジケーキの硬さの傾向を示すものとして両者を示したことは意味のあることと思われる。

図 7, 図 8 の回復率は、全ひずみに対して 10 分間後の回復率を測定した結果である。全体に 91~99% の範囲にあり、回復率は極めて大きい。普通法スポンジケーキの場合は泡立て時間 12 分と起泡剤スポンジケーキの場合は 6 分程度が品質がもっともよいことが認められたので、この 2 個の試料について官能検査によって嗜好を比較した結果は (表 5) 起泡剤スポンジケーキがより好まれて

スポンジケーキの物性

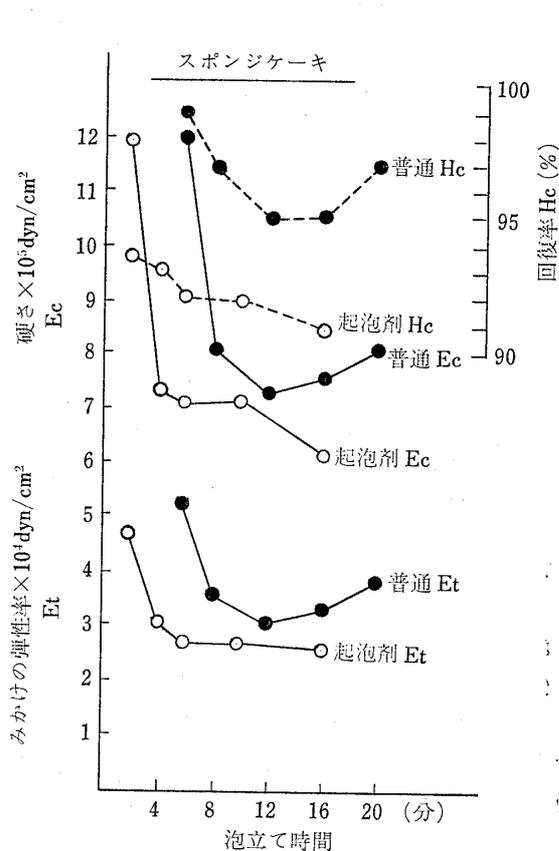


図 7. みかけの弾性率・回復率・硬さにおよぼす泡立て時間の影響

表 9. バタースポンジケーキのテクスチャー特性値および比容積

試料	テクスチャー特性値		比容積
	硬さ (R.U.)	凝集性 (R.U.)	
A	5.03	0.73	4.24
B	5.25	0.71	4.14
C	8.91	0.65	3.74
D	9.00	0.61	3.31

いる。この起泡剤スポンジケーキの回復率は図9によると92%で、普通スポンジケーキと差がある。

バタースポンジケーキのバターと卵の最適配合比率は諸特性値の総合的判断によればDの19%と36%、およびCの13%と42%であったが、C、D共に回復率は図10によると92%であった。

堀内³⁾によればパン、ケーキなどのいわゆるスポンジ状食品では、圧縮挙動より、むしろ回復挙動、復元力を求めることの方が実際的である。食品に関しては回復挙動の測定に規格、常法はないが、工業材料ではクッション用のフォーム材についてJIS測定法が定められてい

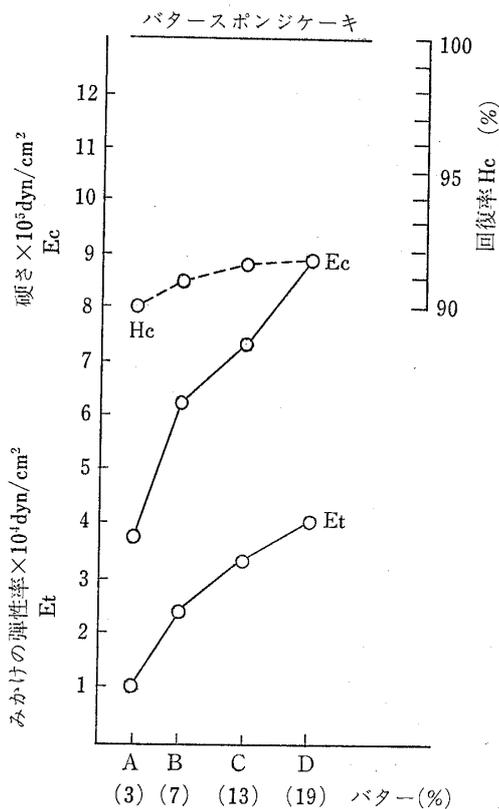


図 8. みかけの弾性率・回復率・硬さにおよぼすバターと卵の配合比率の影響

る。食品でも種類ごとに適当な圧縮ひずみを加えた後の残溜ひずみで表すのも一つの手段ではなかろうかと述べている。

スポンジケーキのレオロメーターによるテクスチャー特性値の硬さ、凝集性を測定した⁴⁾結果(表9)A, B, C, Dの順に硬さは漸増したが凝集性は漸減した。バターの増加が、スポンジ状組織の網目構造体の脆弱化に影響を与えて、凝集性を増していると思われる。

本実験の材料比率の範囲では、クリープ解析による粘弾性率はいずれもDはAの約4倍であるが、レオロメーターによる硬さはDはAの約2倍であった。これらのクリープ解析により、応力一定下の微小な圧縮に対する挙動が示されたのに対し、テクスチャー特性値の硬さでは、咀嚼を模した正弦運動による大きな圧縮での抵抗が示されている。これらの特性値は本質的には異なるけれども、この場合本実験の範囲では同様の傾向を示したものと考えられる。また比容積はバターの増加、卵の減少に従い減少した。

表10にバタースポンジケーキの官能検査の結果を示す。手で圧したときの硬さの順位は(No10)機器測定による粘弾性率およびテクスチャー特性値の硬さとよく

表 10. バタースポンジケーキの官能検査 (順位合計)

No.	評価項目	試料			
		A	B	C	D
1	内相のよい順位	60	58	38*	44
2	香りのよい順位	63*	60	45	32**
3	食べたときの硬さの順位 (やわらかいもの1位) ^a	63*	54	45	38*
4	食べたときの硬さのよい順位	68*	60	38*	34**
5	口どけのよい順位	74**	60	38*	28**
6	味のよい順位	73**	60	37*	30*
7	食べたときの弾力性の順位 (大きいもの1位) ^a	38*	43	51	68*
8	食べたときの弾力性のよい順位	60	53	44	43
9	総合してよい順位	73**	60	38*	29**
10	手で圧したときの硬さの順位 (やわらかいもの1位) ^a	27**	40	62*	71**

順位法による。*5%、**1%の危険率で有意差あり。パネル数20。a特性による順位, その他嗜好性による順位

対応した。これはナイフやフォークで圧したり、切ったりしたときの硬さとも関係が深い。一方食べたときの硬さの順位は(No3)機器測定による粘弾性率およびテクスチャー特性値の硬さと反対で口どけの順位(No5)と一致し、食べたときの硬さの感覚は口どけの影響を強く受けたものと考えられる。しかし、泡立て時間を異にしたスポンジケーキの官能検査の結果では食べたときの硬さの順位は機器測定による粘弾性率とよく対応した⁴³⁾。

藤井⁴⁰⁾らはスポンジケーキの構造に必要な条件としては、①十分に膨化していること、②きめが細かく均一であること、③ふんわりとやわらかいテクスチャーを保有していることであると述べている。また筆者もスポンジケーキの品質と気孔率との関係が深いことを報告しているが¹⁰⁾、これらはいずれも材料に油脂を用いないスポンジケーキについての結果である。

本研究ではバターを多用した場合に、総合評価においては好結果を得たが、比容積の低下が認められた。これは必ずしも好ましい条件ではないので、今後比容積と油脂添加量の限界などに関する検討および口中における硬さを表現できるような客観的測定方法を検討する必要がある。

文 献

- 1) 松井宣也: 調理科学, 18, 203 (1985)
- 2) 立野博資: 製菓事典, 朝倉書店, p. 337, 339 (1981)
- 3) 堀内久弥: 日食工誌, 34, 123 (1987)
- 4) M. Mizukoshi, T. Kawada and N. Matsui: Cereal Chem., 56, 305 (1979)
- 5) M. Mizukoshi: ibid., 62, 247 (1985)
- 6) 山崎清子, 島田キミエ: 調理と理論, 同文書院, 88 (1967)
- 7) E. J. Pyler: Baking Science and Technology Vol. 12, Siebel Pub. Co., (1973)
- 8) Davies J. R.: Cereal Chem., 14, 819 (1937)
- 9) H. Sheffé: Journal of Royal Statistical Society Series B., 20, 344 (1958)
- 10) 越智知子, 吉川誠次: 家政誌, 20, 151 (1969)
- 11) 福島登美子: 栄養と料理, 女子栄養大学出版部, 12, p. 74 (1982)
- 12) 飯田深雪: ケーキ (付クッキー) 婦人画報社, p. 17 (1978)
- 13) 宮川敏子: 自分で作れる洋菓子, 文化出版局, p. 46 (1972)
- 14) 森山サチ子: NHK きょうの料理, 洋菓子, 日本放送出版協会, p. 27 (1983)
- 15) 五十嵐敏夫: 洋菓子製法大全集, 中巻, 沼田書店, p. 217, 221 (1973)
- 16) 山崎清子, 島田キミエ: 調理と理論, 同文書院, p. 93 (1983)
- 17) 竹林やゑ子: 洋菓子教本, 柴田書店, p. 28 (1971)
- 18) 日本洋菓子全集刊行会編: 洋菓子入門, スポンジケーキ, 製菓実験社 p. 36 (1969)
- 19) 長尾精一: 小麦とその加工, 建帛社, p. 203 (1984)
- 20) 鎌田明彦: 世界の菓子, 全日本洋菓子工業会, p. 11 (1984)
- 21) W. W. Prouty: Bakers Digest 36, 71 (1962)
- 22) 松元文子, 向山りつ子: 家政誌, 8 (2), 47 (1957)
- 23) 松井宣也, 永室寿: 食品工業と界面活性剤, 光琳書院 (1965)
- 24) 藤田 哲: 食品工業, 11 (1968)
- 25) 吉松藤子, 太田静行: 調理と油脂, 学建書院, p. 222 (1977)

スポンジケーキの物性

- 26) B. Lowe: Experimental Cookery, John Wiley & Sons. p.366 (1955)
- 27) 曾根敏磨: 食品の粘稠性, 光琳書院, p.135 (1966)
- 28) 松井宣也: 油化学, 19, 734 (1970)
- 29) R. H. Matthews and E. H. Dawson: Cereal Chem., 43, 538 (1966)
- 30) E. J. Guy and H. E. Vettel: Bakers Digest, February, 43 (1973)
- 31) B. D. Budderneyer, J. R. Money maker and M. C. Meyer: Cereal Science Today, 7, 266 (1962)
- 32) D. I. Hornett and W. G. Thalheimer: JAOCS, 56, 948 (1979)
- 33) 川染節江, 山野善正: 家政誌, 37, 759 (1986)
- 34) 川染節江, 山野善正: 家政誌, 38, 559 (1987)
- 35) 越智知子, 千田真規子, 藤田彰子: 家政誌, 26, 484 (1975)
- 36) 越智知子, 工藤多賀子, 千田真規子, 鎌形節子, 日比泰子: 家政誌, 28, 513 (1977)
- 37) H. G. Muller 著, 松本幸雄訳: 食品レオロジー入門, 医歯薬出版, 137 (1977)
- 38) F. Shama and P. Sherman: S. C. I. Monograph, No. 27, 80 (1968)
- 39) 白木まさ子, 貝沼やす子: 家政誌, 30, 651 (1979)
- 40) 藤井淑子, 島田淳子: 家政誌, 34, 616 (1963)
- 41) 村田安代, 岡本純代, 小林トミ, 寺元芳子: 家政誌, 36, 151 (1985)
- 42) 市川朝子, 佐々木市枝, 佐々木由美子, 中里トシ子: 家政誌, 39, 829 (1988)
- 43) 越智知子, 千田真規子: 家政誌, 22, 280 (1971)
- 44) 越智知子, 土屋京子: 家政誌, 38, 1063 (1987)

新 刊 紹 介

岩井和夫・中谷延二責任編集

「香辛料成分の食品機能」

(A 5判上製 286 ページ 定価 4120 円 光生館)

最近機能食品というものが注目され, 近い将来機能食品という認可を得たものが市販されようとしている。香辛料は古くから一種の薬品として使用されてきているものが多く, その点から機能食品として認められるものが多いわけで, 香辛料を日常的な食品成分のひとつとして捉え, その特性ならびに機能を系統的かつ総合的に解明することは, 今後の「食」や「健康」の問題を考える上からはいうまでもなく, 学問的にも極めて重要であり, 食品産業の発展に寄与する処も少なくないという観点からまとめられたのが本書である。

日本栄養・食糧学会では総会におけるシンポジウムの内容を毎年出版しているが, 本書も昭和63年5月3日大阪市立大学で開催されたシンポジウム「香辛料成分の機能特性」の内容を, 世話人である京都大学名誉教授, 神戸女子大学家政学部教授の岩井和夫先生,

大阪市立大学生活科学部教授中谷延二先生お二人の責任編集のもとに作られたものである。

岩井先生は, 本誌21巻2号に「スパイスと調理科学」と題し原稿をいただいているが, お二人とも香辛料研究の権威の方で, 香辛料全般について, それぞれの専門家を選び編集されている。

内容は, ①香辛料香気成分の生理作用, ②香辛料の香気成分, 色素成分とその利用, ③香辛料の抗酸化性・抗菌性, ④香辛料辛味成分の体熱産生亢進作用とその発現機構, ⑤香辛料の殺線虫作用, ⑥ネギ属 (Allium) 植物の含硫黄成分とその生理作用, ⑦ギョウジャニンニクの有効成分とその生理作用, ⑧香辛料成分の分析-I, ⑨香辛料成分の分析-II, からなっている。

(元山)