バタースポンジケーキの生地物の物性と組織に 及ぼすバター含量の影響

川染節江*・三木英三**・合谷祥一**・山野善正**

Effect of Butter Content on Physical Properties and Structure of Sponge Cake Batter

Setsue KAWASOME*, Eizo MIKI**, Shoichi GOHTANI**
and Yoshimasa YAMANO**

* Kagawa-ken Meizen Junior College, 1-10, Kameoka-cho,
Takamatsu-shi, Kagawa 760

** Department of Bioresource Science, Kagawa University,
2393, Ikenobe, Miki-cho, Kagawa 761-07

Effect of butter content (0, 40, 80 and 120% to flour) on the physical properties and the structure of sponge cake batter (200 g of egg, 100 g of sugar, 100 g of flour and 0.5 g of baking powder) was studied by using a rheometer and a cryo-scanning electron microscope (SEM). The fluidity of batters increased remarkably with increasing butter content from 0 to 120%, and that of batters aged for 10 to 30 min increased with increasing butter content up to 80% and decreased slightly by the addition of 120% of butter. Both dynamic modulus (G') and dynamic loss (G'') of batters aged for 10 to 30 min decreased slightly with increasing butter content up to 80%, and the values of batters increased slightly by the addition of over 80% of butter. Significant negative correlation was obtained between the dynamic modulus and the fluidity of batters and also between the dynamic loss and the fluidity of batters. The loss tangent ($\tan \delta$) of batters aged for 10 to 30 min decreased with increasing butter content. The change in $\tan \delta$ with butter content was similar to the change in parameter C obtained from the formula $y = An^C e^{Bn}$ ⁸⁾ derived by 10 biting trials reported previously (y = overall hardness, B = rate of breakdown, C = resistance to breakdown). In addition, the significant correlation was obtained between the $\tan \delta$ and specific cake volume. Thus, the $\tan \delta$ seems to be an important parameter explaining the physical properties of sponge cake batter. Mixture of large and small round air cells were observed in the batters with butter content of 0, 80 and 120% by SEM observation. Plication was observed clearly at the surface of lipid globules of 20~60 μm in diameter. From these results, it is concluded that the best physical properties and structure of sponge cake batter are obtained by addition of 80% of butter to flour.

(Received Sep. 24, 1991)

バタースポンジケーキでは、バターが他の油脂に比べ、ケーキにより風味としっとりとした食感を付与する効果があることが知られている¹⁾。筆者らは、バタース

ポンジケーキの品質や嗜好性を左右するテクスチャーについて研究しており、すでに、バター²⁾³⁾、卵黄⁴⁾、砂糖⁵⁾の配合比や生地の調製法⁶⁾の影響および顕微鏡観察によ

* 香川県明善短期大学 (〒760 香川県高松市亀岡町1-10)

** 香川大学農学部 (〒761-07 香川県木田郡三木町池戸 2393)

り調べた、膨化に及ぼす卵黄の効果⁷⁾などについて報告した。また、人のそしゃくを想定した、レオメーターによる連続 10 回の圧縮試験から、ケーキのレオロジー特性を表すモデル式を導出し、理論的にバター添加の効果を明らかにし、官能検査の結果と併せ、小麦粉に対し 80% の添加が適当であることを報告した⁸⁾。

スポンジケーキの生地物の物性については、粘度と生地の比重または密度の関係を検討した報告がある⁹⁾¹⁰⁾。筆者らは、生地の粘度の測定法として、測定時間が短く操作が簡単な、セルの孔から生地を流下させる方法を考案し、一定時間内の流動量がみかけの粘度の指標となることを報告した¹¹⁾。本報では、バタースポンジケーキの生地のみかけの粘度を表す流動量および動的粘弾性の放置による変化を測定し、これまでに得ているケーキの比容積やテクスチャーとの関係およびクライオ-走査型電子顕微鏡観察(クライオ-SEM 法)により観察した生地の組織との関係について若干の知見を得たので報告する。

試料および実験方法

1. 試料の調製および放置

試料は、既報²⁾⁸⁾に準じ、新鮮卵 200 g (卵白 130 g, 卵黄 70 g), 上白糖 100 g, 小麦粉 100 g (薄力粉, バイオレット, 日清製粉(株)), ベーキングパウダー 0.5 g (奥野製菓工業(株))を基本とし、無塩バター(雪印乳業(株))を小麦粉に対し 0, 40, 80 および 120% 添加する 4 種とした。ケーキの生地の調製も既報²⁾⁸⁾の方法に準じ、共だて法によった。すなわち、ハンドミキサー(MK-H2 ナショナル, 特製茶せん型ビーター)により、卵と砂糖を 800 rpm で 8 分間攪拌し起泡させ、次に小麦粉、溶かしたバター(40℃)の順に加え、330 rpm の低速でそれぞれ 30 秒間攪拌混合した。試料調製中の室温は約 23℃ であった。調製後の生地は、25℃ の恒温槽中に保存し、流動量、密度および動的粘弾性の測定に供した。

2. ケーキ生地の流動量と密度の測定

既報¹¹⁾の方法に準じ、65 ml 容のアルミケースの底の中央に設けた直径 8 mm の孔から生地 20 g が 10 秒間に流下する生地の重量を測定し、みかけの粘度の指標とした。すなわち、この重量が大きいほどみかけの粘度は低いことを表す。

生地の密度は、同じく 65 ml 容のケースに注入した生地の重量を測定し、単位体積当たりの重量比で表した。スポンジケーキの生地にバターを加えることは、前述のように焙焼後のケーキの風味や食感をよくする反面、生

地の気泡を不安定にし、消泡に寄与する¹²⁾ので、当然生地の粘度や密度に影響を及ぼすと考えられる。そこで、生地の流動量と密度は、過去の実験と同じく調製直後(放置時間 0)と、さらに 1. で述べたように生地調製後 25℃ の恒温槽中に放置し、10, 20 および 30 分後に測定した。

3. 動的粘弾性の測定

動的粘弾性は、同軸二重円筒型のレオメーター IR-200 (岩本製作所)により、外筒および内筒の直径がそれぞれ 2.2, 1.8 cm のセルに 13.5 ml の試料を入れ、セル内で試料を安定させ、生地の流動量および密度の測定と同様に、放置時間 10, 20 および 30 分後に、角速度 0.63-9.43 rad s⁻¹ の間で測定した。結果は赤羽ら¹³⁾と同じく、動的弾性率 (G'), 動的損失 (G'') および損失正接 ($\tan \delta$) の値で表した。

4. クライオ-SEM 法¹⁴⁾による組織の観察

組織の観察は、日立走査型電子顕微鏡 (S-800) によった。まず、少量の生地を液体窒素中 (-197℃) で瞬間凍結し、冷却したナイフで切断後、試料台にのせ、再び液体窒素中に約 20 秒間保持後、直ちに、電子顕微鏡中の試料台にのせて、表面に霜がついている場合には、-90℃ まで昇温して昇華させ、切断面に金を蒸着して加速電圧 3 KV で観察した。

結果および考察

1. ケーキ生地の流動量と密度に及ぼすバター含量の影響

Fig. 1 に、バター含量による生地の流動量の変化を

Fig. 1 Effect of butter content on the flow of sponge cake batter aged for 0 (○), 10 (●), 20 (△) and 30 (▲) min

示した。生地の流動量は調製直後(○)では、バター含量の増大に伴い直線的に増加したが、10~30分間放置した3試料は、それぞれバター含量40%までは急激に、以後80%まではややゆるやかに増加するが、それ以上の添加では減少する傾向を示した。しかし、バター含量80%までは、調製直後(○)と放置10分後(●)の測定値に大差はなく、放置10分間における物性の変化は小さいと推察される。バター含量が80%まで増大すると、生地のみかけの粘度は、放置時間が長いほど低くなることがわかる。バター含量120%では、放置によって生地の流動量が減少しているが、これは、放置により混入したバターの温度(40℃)が徐々に下がり固体状態に近くなり、バター含量が多いために生地の流動性にも影響を及ぼした結果によると推察できる。

生地の密度はFig. 2に示すように、バター含量が増大するほど、また、放置時間が長くなるほど大きくなった。バター含量80%までの試料については、生地の流動量と密度の変化は相似しており、総体的には、Fig. 3のように両者の間に有意な正の相関性が得られる。したがって、生地の流動量が増加することは、気泡が扁平になったり消失したりして、含気量が減少していることを示唆している。

2. 動的粘弾性に及ぼすバター含量の影響

動的粘弾性の周波数依存性は、過去の実験で最もよい品質が得られた、バター含量80%の試料を用いて測定した結果を、時間による変化率を示す角速度に対して表した(Fig. 4)。動的弾性率(G' , ○)は角速度の増大に伴い上昇し、動的損失(G'' , ●)は、 6.28 rad s^{-1}

Fig. 2 Effect of butter content on the density of sponge cake batter aged for 0 (○), 10 (●), 20 (△) and 30 (▲) min

Fig. 3 Correlation between the flow and the density of sponge cake batter including 0 (○), 40 (●), 80 (△) and 120 (▲) % of butter

Correlation coefficient is 0.728 ($\alpha = 0.01$, $n = 16$).

Fig. 4 Effect of angular velocity on dynamic modulus (G' , ○), dynamic loss (G'' , ●) and loss tangent ($\tan \delta$, △)

までは上昇したが、以後若干減少した。損失正接($\tan \delta$, △)は、 3.14 rad s^{-1} までゆるやかに、以後急激に減少する傾向を示した。これらの結果から、粘弾性とバター含量との関係の表示には、以後、角速度による測定値がほぼ中間の値であった、 3.14 rad s^{-1} における測定値を用いた。

Fig. 5 および 6 にみられるように、動的粘弾性および動的損失は、両値とも各放置時間でバター含量80%までは低下するが、その後120%では上昇した。すなわち、バター含量80%の生地が、各放置時間で、弾性的要素も粘性的要素も最低値を示す。このようなバター含量

Fig. 5 Effect of butter content on dynamic modulus (G') determined at 3.14 rad s^{-1} for sponge cake batter aged for 10 (●), 20 (△) and 30 (▲) min

Fig. 6 Effect of butter content on dynamic loss (G'') determined at 3.14 rad s^{-1} for sponge cake batter aged for 10 (●), 20 (△) and 30 (▲) min

による粘弾性の変化は、Fig. 1 の生地流動量の変化を反映しており、動的損失と流動量との間には、Fig. 7 に示すような有意な負の相関性がみられる。また、図示はしていないが、動的弾性率と流動量との間にも、危険率 5% で有意な負の相関性 ($r = -0.459$, $n = 24$) が認められた。以上のことから、生地のみかけの粘度を表すとみなせる生地の流動量の変化は、生地の粘弾性の変化を反映しているといえる。また、バター含量による各放置時間での動的損失の変化 (Fig. 6) は、既報²⁾の圧縮試験により得られた硬さ、ガム性およびそしゃく性の変化とほぼ同じ様相を示しているの、結果的には生地の粘弾性がケーキのテクスチャーを左右しているといえる。

Fig. 7 Correlation between dynamic loss (G'') and the amount of flow of batter determined at 3.14 rad s^{-1} including 0 (○), 40 (●), 80 (△) and 120 (▲) % of butter

Correlation coefficient is -0.780 ($\alpha = 0.001$, $n = 24$).

Fig. 8 Effect of butter content on loss tangent ($\tan \delta$) of sponge cake batter determined at 3.14 rad s^{-1} aged for 10 (●), 20 (△) and 30 (▲) min

3. ケーキ生地の損失正接に及ぼすバター含量の影響

Fig. 8 に示す損失正接は、放置時間による差は小さいが、3 試料ともバター含量の増大に伴って小さくなり、生地の物性はより弾性的になることがわかる。 $\tan \delta$ と密度との間には、Fig. 9 のような有意な負の相関性 ($r = -0.705$, $\alpha = 0.001$, $n = 24$) が得られた。このことから、密度が高い、つまり含気量が少ないと、生地はより弾性的な構造になることがわかる。したがって、 $\tan \delta$ が小さいケーキの生地は、焙焼後含気量が少なく官能的にはケーキの弾力性が低いテクスチャーになることが示

唆され、このことは、既報²³⁾で得ている圧縮試験の結果と一致する。

ケーキ生地 の物性と焙焼後の製品の物性との関係を考察する。tan δ と既報²⁾で得ている生地 の膨化を示すケーキの比容積との関係は、有意な正の相関性 ($r=0.952$, $\alpha=0.001$, $n=12$) が得られ、tan δ の値が大きいケー

Fig. 9 Correlation between loss tangent and the density of sponge cake batter determined at 3.14 rad s^{-1} including 0 (○), 40 (●), 80 (△) and 120 (▲) % of butter

Correlation coefficient is -0.705 ($\alpha=0.001$, $n=24$).

キ生地は膨化がよいことになる。さらにバター含量による tan δ の変化は、連続 10 回の圧縮試験⁹⁾で得られたケーキのレオロジー特性を表すモデル式 $y = An^C e^{Bn}$ (y : 最大圧縮応力, n : 圧縮回数) の「変形のしやすさに対する抵抗力 (変形回復力): しっとりさ」を示すパラメータ, C の変化とほぼ同じ様相をしており、生地 の動的粘弾性とケーキの物性との対応性が高いといえる。また赤羽ら¹³⁾は、ゲイズタンパク質の加熱・未加熱ゲル、寒天ゲルおよび卵白ゲルについて、動的粘弾性と tan δ の測定値を比較し、ゲルの種類によって tan δ の値が異なることから、tan δ がゲルのレオロジー的性質を示唆すると指摘している。このことを考えあわせると、スポンジケーキの場合は、tan δ が製品の膨化の程度を表す比容積および硬さや弾力性などのレオロジー特性を表すよい指標になるといえる。

4. ケーキ生地 の構造

Fig. 10 は、バター含量 0 (a), 80 (b) および 120 % (c) の調製直後の生地 の、主に気泡の構造を観察したものである。バターを含まない生地には、主に大きな気泡が多いが、80% では小さい気泡が多く、120% では大小の気泡が混在している。いずれも大きな気泡はやや扁平になり、直径約 $100 \mu\text{m}$ 以下のものは球形になり、越智ら¹⁵⁾の気泡の観察結果と一致している。また、バター含量により気泡の大きさが異なることは、Fig. 3 に示した密度の差に対応していると考えられる。すなわ

Fig. 10 Scanning electron microscopic (SEM) photographs showing the air cells in three sponge cake batters containing 0 (a), 80 (b) and 120% (c) of butter

Larger air cells in butter free batter (a) is found than that in batter containing 80% of butter (b).

ち、バターを含まない生地は、多数の大きな気泡の中に空気を多量に含んでいるので、バター含量 80 および 120% のものより密度が小さくなることわかる。

Fig. 11 は、放置による生地の構造の変化を示している。放置 10 分後では、バター含量 80% (a), 120% (c) のいずれも調製直後 (Fig. 10) にみられた大きな気泡は数が少なくなり、形も変形し、回転楕円体を保てないものが多くなった。放置 30 分後では、同じくどちらの試料でも、さらに、大きくなった気泡も小さい球形

の気泡も数が少なくなった。このように、放置による気泡形態の変化は、Fig. 2 で示した放置により密度が増大することと関連していると考えられる。すなわち、従来からいわれている、バターが生地の気泡を消失させる効果は、バターの添加量が多く、また、生地の放置時間が長いほど、著しくなることが、今回の組織の観察から明確になった。

Fig. 12 はバターの存在状態をみたものである。a はバター含量 80% の生地調製直後のもので、b はバター

Fig. 11 SEM photographs showing the change of air cells by aging (a): Butter 80%, aged for 10 min. (b): Butter 80%, aged for 30 min. (c): Butter 120%, aged for 10 min. (d): Butter 120%, aged for 30 min.

Both the air cells containing butter of 80 and 120% became larger by aging (See Fig. 10).

含量 120% の生地は放置 10 分後のものである。どちらにおいても、バターは、直径約 20~60 μm の球形を呈し表面に明らかに多数のひだ (←) が観察された。

以上のように、クライオ-SEM の写真からバター添加の有無にかかわらず、生地中の気泡は大小の球形、または回転楕円体を呈しており、以前⁷⁾に報告したように、光学顕微鏡による観察でケーキ中でも、大小の球形がみられ、今回の観察結果と比べて、生地中の気泡の形状が、焙焼後もかなり保持されているものとみなせる。また、バターは生地中では前述のように直径は約 20~60 μm であり、光学顕微鏡下で直径約 100~300 μm の球形を呈した⁷⁾ことを考えあわせると、バターの脂肪球は、焙焼によって大きな球状となることがわかる。

比較のため、バターを 80% 含むケーキの構造の写真を、Fig. 13 (ケーキの中央部 (a)、底部 (b)) に示す。生地中で気泡を取り囲んでいた卵、砂糖、小麦粉で構成されていた連続相は、焙焼により固化し、ケーキ中では、多孔質性の網目構造となっている。この網目構造が疎であるか、密であるかによってケーキの硬さや弾力性が異なってくるといえるが、Fig. 13 で明らかなように、網目構造は中央部 (a) が底部 (b) より疎であり、したがって、日常よく経験するように、ケーキの中央部分が底部より膨化のよいことが示されたといえる。

以上のように、バター含量 80% の試料が動的粘弾性は最低値を、また、 $\tan \delta$ はほぼ中間値を示し、クライ

オ-SEM による観察により、気泡はやや小さいものが多いことがわかった。これらの傾向は、すでに²⁾³⁾⁸⁾スポンジケーキのテクスチャー測定と官能評価から、小麦粉に対しバター 80% 添加の試料の品質が良好であると結論していることを裏づけている。

要 約

スポンジケーキの生地は粘弾性と構造に及ぼすバター含量の影響を検討するため、バターを小麦粉に対し、0~120% 添加した試料について、レオメーターによる粘弾性の測定および走査型電子顕微鏡による観察により、次のような結果を得た。

(1) みかけの粘度を反映する生地の流動量は、生地調製直後 (放置前) では、バター含量の増大に伴い直線的に増加したが、放置 10~30 分後のものは、120% では若干低下した。

(2) 生地調製後、25℃ の恒温槽中で 10~30 分放置した生地の動的粘弾性 (G' , G'') は、バター含量 80% までは減少するが、80% 以上のバター含量では増大し、粘弾性の値とみかけの粘度を反映する生地の流動量との間に有意な負の相関性が得られた。また、バター含量による動的粘弾性の変化は、既報²⁾のケーキの圧縮試験による硬さ、ガム性およびそしゃく性の変化とほぼ同様相であった。

(3) バター含量が増大するほど、損失正接 ($\tan \delta$)

Fig. 12 SEM photographs showing lipid globules in the batter of 80% (a) and 120% (b) of butter aged for 10 min

Plication is observed at the surface of lipid globules of 20~60 μm in diameter.

Fig. 13 SEM photographs showing the structure of the center (a) and bottom (b) of cake containing 80% of butter

The porous structure of cake center is rougher than that of cake bottom.

は小さくなり、より弾性的な生地になった。tan δ と生地密度との間には有意な負の相関性が、また、tan δ とケーキの比容積との間には有意な正の相関性が得られた。さらに、バター含量による損失正接の変化は、圧縮試験により得られているケーキのレオロジー特性を表すモデル式⁹⁾ $y = An^C e^{Bn}$ のパラメータ、C (変形のしやすさに対する抵抗力) の変化と類似していた。したがって、スポンジケーキ生地の動的粘弾性は、焙焼後のケーキの物性をよく表すといえる。

(4) クライオ-SEM の写真から、調製直後の生地の気泡はバターを含まないものでは、主にやや大きな回転楕円体が多いが、80% では小さいものが多く、120% では大小の気泡が混在しており、いずれも、気泡は直径約 100 μm 以下になると球形を呈することがわかった。

(5) 生地の気泡の消失は、バター含量が多く放置時間が長くなるほど著しくなり、バターの添加により密度の増大をきたすことが、組織観察から明確になった。

(6) 脂肪球は直径約 20~60 μm の球形をなし、表面に多くのひだを観察された。

以上のように、ケーキ生地のみかけの粘度および動的粘弾性と生地の物性に大きな役割を示す組織のどちらにもバター含量が影響し、小麦粉に対し 80% 添加した試料が特徴的な様相を示し、既報のケーキのテクスチャー形成と官能評価が良好であったことを裏づけられた。

終わりに、小麦粉を提供していただいた日清製粉(株)に深謝いたします。

本論文の概要は、平成 3 年度日本家政学会第 43 回大会において発表した。

文 献

- 1) 宮内 昭・西浦孝輝：調理科学，17，30 (1984)。
- 2) 川染節江・山野善正：家政誌，37，759 (1986)。
- 3) 川染節江・山野善正：家政誌，39，731 (1988)。
- 4) 川染節江・山野善正：家政誌，40，151 (1989)。
- 5) 川染節江・山野善正：家政誌，42，53 (1991)。
- 6) 川染節江・山野善正：家政誌，39，21 (1988)。
- 7) 川染節江・田村咲江・中尾亜里子・山野善正：家政誌，40，279 (1989)。
- 8) 川染節江・石間紀男・山野善正：家政誌，41，413 (1990)。
- 9) 山上ユリ子：食品の物性，第 2 集，山野善正・松本幸雄編 (食品資材研究会，東京)，p. 43 (1976)。
- 10) 白木まさ子・貝沼やす子：家政誌，30，651 (1979)。
- 11) 川染節江・山野善正：家政誌，38，559 (1987)。
- 12) 竹林やゑ子：洋菓子材料の調理科学，(柴田書店，東京)，p. 160 (1982)。
- 13) 赤羽ひろ・中浜信子：調理科学，22，37 (1989)。
- 14) 木村利昭：食品の物性，第 13 集，松本幸雄・山野善正編 (食品資材研究会，東京)，p. 63 (1987)。
- 15) 越智知子・木村利昭・相良康重：家政誌，42，347 (1991)。

(平成 3 年 9 月 24 日受理)