

# ケーキのスポンジ組織形成に及ぼす糖類特に糖アルコール類の影響

(課題番号 09680025)

平成9年度～平成10年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2))

研究成果報告書

平成11年3月

研究代表者 井川佳子  
(広島大学教育学部教授)

## ケーキのスポンジ組織形成に及ぼす糖類特に糖アルコール類の影響

平成9年度～平成10年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(2)）研究成果報告書

### 研究組織

研究代表者： 井川佳子（広島大学 教育学部 教授）

### 研究経費

平成9年度：	2,300 万円
平成10年度：	500 万円
計	2,800 万円

### 研究発表

- (1) 学会誌等 （井川佳子，スポンジケーキの焼成過程に及ぼす糖代替の影響，日本食品科学工学会誌，45巻6号，357-363頁，1998年6月）
- (2) 口頭発表 （井川佳子，行友圭子，キシリトールを用いたスポンジケーキの性質，日本調理科学会平成9年度大会，1997年9月26日）  
（井川佳子，ケーキのスポンジ構造形成に及ぼす各種糖類の影響，日本応用糖質科学会平成10年度大会，1998年10月1日）

## 目 次

緒 言	3
第I章 ケーキバターの性質	4
1 実験材料	4
2 実験方法	4
2-1 バターの調製と焼成	4
2-2 バター及びバターモデルでの測定	5
3 実験結果	6
3-1 バター比重	6
3-2 糖の溶解度	6
3-3 バター中の気泡の変化	6
3-4 バターの熱分析	6
4 考察	11
4-1 バター比重とケーキ比容積及び糖の溶解度	11
4-2 糖の溶解度とバター中の気泡	12
4-3 バターの熱変性	12
第II章 スポンジケーキの焼成工程	13
1 実験材料	13
2 実験方法	13
2-1 バターの調製とケーキの焼成	13
2-2 バターの基本的性質	13
2-3 ケーキの焼成	13
3 実験結果	14
3-1 焼成中の変化	14
3-2 ケーキの比容積	16
4 考察	18
4-1 焼成中の温度履歴と収縮時期	18
4-2 バターTpとの関連	19
4-3 スポンジ組織の形成	19
4-4 ケーキの膨化程度と重量減少	20
第III章 ケーキの性質	21
1 実験方法	21
1-1 ケーキの調製	21
1-2 ケーキの物性測定	21
1-3 ケーキ内層の官能評価	21
2 実験結果	21
2-1 ケーキの物性	22
2-2 ケーキの官能評価	22
3 考察	22
3-1 ケーキの物性	22
3-2 官能評価	25
3-3 ケーキの物性と感覚的評価	26
要 約	27
参考文献	27

## 緒 言

糖アルコールは難消化性糖類の一つとして知られ、近年そのエネルギー低減効果、非齶蝕性をはじめ、腸内細菌叢の改善効果などの機能性を持つ甘味料として、食品への利用が拡大しつつある。糖アルコール類の中には、ソルビトールやマルチトールのように利用の歴史の長いものもあるが、最近になってエリスリトールの発酵法による製造が開始され、キシリトールが1997年4月に日本における食品添加物として許可されるなど、実際的な利用の途が開かれたものもある。また糖アルコール類は、水に対する溶解度が比較的高く、甘味の質が比較的スクロースに類似し、還元基を持たないために熱安定性の高いことが知られている。このような性質から、スクロースの代替材料として種々の焼き菓子類に利用されることが多い。一方糖アルコール類の基礎研究は、栄養生理学的側面に関するものが多く、食品学的・調理学的研究は少ない。またこの分野における糖アルコールを用いた研究では、それぞれの糖の有用性を示す事例報告に終始する場合が多い。

代表的な焼き菓子であるスポンジケーキにおいて、スクロースは甘味料として以外に、卵泡の安定効果や、ボディ効果と呼ばれるような嵩を与える役割を持つと考えられている。従ってスクロースを糖アルコールに置換することは、甘味の質や強度のみならず、ケーキの物理的性質等に大きな影響を与えることが容易に予測される。しかし、糖の代替とはどのような影響を与えるのか、さらにそれはそれぞれの糖の性質とどのように関連するのか、については不明な点が多い。

現在までのスポンジケーキに関する研究は、スクロースを材料としたものが圧倒的に多い<sup>1)</sup>。一方スクロース以外の単糖類、二糖類、一部の糖アルコール類を用いたケーキそのものの性質については報告が見られるが<sup>2~5)</sup>、スクロースを代替することがスポンジ組織の形成にどのように影響するのか、またその影響は何によって生じるのか、についてはほとんど考察されていない。これらの点を明らかにすることができれば、スクロースを置換しうる範囲や、特性の異なる糖相互の組み合わせ方の基本が判明する、という実用的な意義のみならず、スポンジ組織形成の機序に関する有用なデータが得られると考えられる。また糖の種類によって様々な物性を持つケーキが得られるので、物性と感覚評価との関連について知見が得られる可能性がある。

本研究で今回用いる5種の糖アルコール類、エリスリトール、キシリトール、ソルビトール、マルチトール、ラクチトールは炭素数が4~12であり、溶解性を始めとする物理化学的性質にも違いがある。また同時に比較の意味もあって、スクロース以外に3種の糖類、グルコース、マルトース、ラクトースを用いることにする。これらを用いたバターやケーキを相互に比較検討することによって、糖自身の持つ性質とスポンジ組織形成に関わる性質との関連がより明確になると考えられる。本研究では、卵泡やバターの性質の把握に始まり、流動性を持つバターがケーキとしての弾性構造を持つに至る全工程、及びケーキの物性や食感までを研究対象とするが、特に焼成中の現象に関わる糖類の影響を明らかにし、ケーキのスポンジ組織形成という最もダイナミックな過程を、糖の性質を通じて解明することを目指すものである。

## 第 I 章 ケーキバターの性質

スポンジケーキのバターは、全卵、糖類、小麦粉をほぼ同量ずつ含む濃厚な流動体である。この流動体に多量の気泡を抱き込ませてケーキバターとするが、その構成成分や状態から見て、化学的にも物理的にも非常に複雑な系である。糖類を替えることは流動体そのものの性質を変化させるだけでなく、混合される気泡の量、分散の程度、安定性に影響する。また同時に流動体の性質や気泡の状態は、ケーキ調製過程の中で最も劇的な変化を遂げる焼成工程にも大きな影響を与える。

この章の実験は、糖代替がバターの性質に与える影響について把握することを目的として行った。

### 1 実験材料

市販鶏卵(産卵後 6 日以内)、小麦粉(薄力粉：商品名バイオレット、日清製粉)、乳化剤(リョートーエステルSP、三菱化学フーズ)、蒸留水を用いた。糖類は表 1 に示す 9 種を用いたが、いずれも粉末或いは顆粒状であった。これらの糖類に元々含まれる水分を考慮した調節は行わなかった。また表 1 の右端に使用した糖の略号を示し、同時にこれらの糖類を用いたバターやケーキを表す試料記号としても使用した。糖を混合して用いる場合は 2 種混合のみとし、重量で 1 対 1 として G+M 或いは GM のように表現した。なお、スクロースは標準として単独でのみ使用した。

表 1 材料とした糖類一覧

名 称	分子量	商品名・等級・備考	略号
スクロース(Sucrose)	342	グラニュー糖、三井製糖株式会社	Su
グルコース(Glucose)	180	日本薬局方、山善製薬株式会社	G
マルトース(Maltose)	342	サンマルト S、林原商事株式会社	M
ラクトース(Lactose)	342	一水和物、ナカライテスク 1 級	L
エリスリトール(Erythritol)	122	日研化成株式会社	E
キシリトール(Xylitol)	152	日研化成株式会社	X
ソルビトール(Sorbitol)	182	ソルビトールSP、日研化成株式会社	ST
マルチトール(Maltitol)	344	粉末マビット、林原商事株式会社	MT
ラクチトール(Lactitol)	344	ラクチトールLC-0、日研化成株式会社	LT

### 2 実験方法

#### 2-1 バターの調製と焼成

バターは乳化剤を用いた全材料混合法で調製した。鶏卵は卵黄と卵白に分け、それぞれを篩に通した。糖類 97.5g をガラスボウル内に計り取り、卵黄 37.5g と乳化剤 6g を加えてゴムベラでよく混和した。ここに卵白 67.5g を加えてさらに混合した後、45°C の湯浴中で静

かに攪拌しつつボウル内混合物の温度を37°Cまで上げた。ミキシング用のステンレスボウルに混合物を移し、蒸留水15mlと4回篩った小麦粉82.5gを加えた。ゴムベラで軽く混合し、品温が25~27°Cになったことを確認した。ケンミックスミキサー(愛工舎製作所)の中速(約330rpm)で30秒攪拌した後、ゴムベラで上下を返すように混合した。再び中速で30秒攪拌し、先と同様にゴムベラ混合した後、中速で連続10分間攪拌し、最後に低速で1分間攪拌してケーキバターとした。

グラシン紙を敷いた直径18cmのケーキ型を用意し、ここに調製後5分以内のバターを250g入れ、10~15cm高さから10回落とすことで大きな気泡を除いた。170°Cに設定した電気オーブンレンジ(NE-M6401, 松下電器産業)の下段で30分間焼成した。

## 2-2 バッター及びバターモデルでの測定

### 1) バッター比重

調製直後のバターを20ml容の計量カップに隙間なく詰め、重量を測定した。バターの重量を同容器中に入る蒸留水の重さで除し、比重とした。

### 2) モデルによる糖の溶解度の測定

バターは37°Cまで加温して調製するが、この温度で使用した糖がどの程度溶解しているのか、また1対1混合により溶解度はどのように変化するかを知るために、測定を行った。使用した糖の内、溶解度の比較的低い糖はグルコース、マルトース、ラクトース、エリスリトール、マルチトールである。この5種と、これらを組み合わせた8種を試料として、次のように測定した。

バターの水分対糖の比は約10対9.03であることより、30ml容のねじ蓋つき試料瓶に水10gと糖9.03gを入れた。ふたをして軽く振り混ぜた後、37°Cに保った恒温水槽中に入れ、振とう装置で動揺させながら2時間保温した。この間30分ごとに取り出して15回ずつ振り混ぜた。恒温槽中に静置して、溶け残った糖を沈殿させた。上清をピペットで静かに取り出し、恒量となった秤量容器の中に約2g計量した。107°Cの恒温器中で乾燥し、秤量容器に残った固形物の重量を、上清に溶解していた糖量と見なした。

### 3) バッターモデルを用いた気泡の観察と測定

バターの安定性を知る方法の一つとして、乳化剤を含まないバターを調製し、20°Cから50°Cまでの気泡の消長を観察した。

卵黄37.5gと糖類97.5gをよく混和し、卵白67.5gと水15mlを加えて混合した後、40°Cの恒温槽で混合物を30°Cまで加温した。ケンミックスミキサーの中速で1分間攪拌した後、高速で15分間攪拌した。ここに小麦粉82.5gを3回に分けて加え、1回加える毎に低速で15秒間攪拌した。糖類はスクロース、グルコース、マルトース、ラクトース、エリスリトール、ソルビトール、マルチトール、ラクチトールの8種とした。調製したバターは一部を取り出して一旦密閉容器に入れ、10分以内に測定を開始した。

直径20mmの石英ガラス板上に少量のバターを取り、カバーガラスで静かに覆った。これを実態顕微鏡に設置した熱板上に置き、加熱速度を電圧で調製すると同時にバターの温度を熱電対温度計で測定した。顕微鏡に取り付けたCCDカメラで20、30、40、50°Cにおける画像をパーソナルコンピュータに取り込み、画像解析ソフトウェア(Image-Pro Plus)を用いて、泡の直径やサイズ別の分布等を解析した。なお室温は20°Cに調節した。

### 4) バターの示差走査熱量(DSC)測定

バターの熱変性温度を知るために示差走査熱量計(DSC120, セイコー電子工業)による熱分析を行った。バター20~25mgを、煮沸処理した密封型アルミニウム容器に計り取り、

20~125°Cの間を2.5°C/分昇温の設定で測定した。対照には同容器に蒸留水を入れたものを使用した。得られたDSC曲線から、吸熱開始温度( $T_o$ )、吸熱ピーク温度( $T_p$ )、吸熱終了温度( $T_c$ )を読みとった。

### 3 実験結果

#### 3-1 バッター比重

表2にバター比重と、参考としてケーキの比容積を並べて示した。ケーキ比容積の測定は、第II章の2-3の2)に示す方法で行った。

バター比重はラクトース単独を除き、0.38~0.52の間に分布した。エリスリトールとマルトースのバターは、0.5以上の値を示した。ラクトース単独は0.83と他とかけ離れた値を示し、含気程度の低いバターであることが示された。

図1に比容積との関係を示した。バター比重の大きい試料のケーキ比容積は概して小さく、両者の間には負の関係が見られた。

#### 3-2 糖の溶解度

表3に糖の溶解度を示した。糖単独でほぼ完全に溶解したものはグルコース、ソルビトール、マルトース、マルチトールであり、エリスリトールはわずかに、ラクトースは半分程度溶け残っていた。完全に溶解すると上清中の糖濃度は計算上47.45%になるが、マルトースは結晶水を含むためやや低い糖濃度となった。2種の糖を混合すると、溶解度はいずれも単独時の溶解度から算出した予測濃度に比べ、17~20%高くなった。ラクトースを含む混合糖はどの場合にも溶け残りが観察された。

#### 3-3 バッター中の気泡の変化

図2に各バターにおけるサイズ別気泡の数量分布を温度別に示した。いずれの試料も径0.05mm以下の数が最も多く、高温になるに従ってより大きな径の気泡数が増加した。エリスリトールとマルトースのバターは径0.05mmより大きな気泡の比率が高かった。ラクトースバターは気泡の総数が極端に少ない上に、径0.10mm以上の気泡が観察されず、結果として他のバターとかなり異なった様相を呈した。

#### 3-4 バッターの熱分析

図3にバターの熱分析曲線を数例示した。最下部に示した1例を除き、いずれも吸熱ピークは単一であった。ラクチトールとエリスリトールの混合糖の曲線には、エリスリトールの結晶融解と推定される小さなピークが低温側に現れ、高温側の大きなピークが他の例と同様の主ピークであった。この主ピークは、バター中の卵と小麦粉に含まれる蛋白質の熱変性と、澱粉の糊化による吸熱である<sup>6)</sup>。

図中の曲線は上から下に向かって、分子量の小さい2種、より大きい3種、最下部に混合糖を配置した。分子量の大きさと吸熱ピーク温度の高さはほぼ対応していることが分かる。また混合糖では、それぞれの糖単独の場合の中間の位置に主ピークが移動した。

表4に33種の糖を用いたバターの熱変性に対応する吸熱の、開始、ピーク、終了温度を示した。吸熱変化開始点( $T_o$ )及び吸熱変化終了点( $T_c$ )の読みとり困難な曲線があり、これは主ピークの前に現れる糖の結晶融解ピークが大きい場合に見られた。表4において、 $T_o$ や $T_c$ にデータ記載のないものがこれに当たる。また3個以上のデータが得られた場合は

平均値と標準偏差を示した。

吸熱変化開始点( $T_0$ )は72~88°Cの間に、変化のピーク点( $T_p$ )は77~93°Cの間に、変化終了点( $T_c$ )は93~101°Cの間に分布した。 $T_0$ の場合に標準偏差が1.0以上のデータがいくつか見られ、やや変動の多いことが分かった。糖単独使用時のピーク温度は、エリスリトール<キシリトール<グルコース<ソルビトールの順に低く、ラクチトール>マルチトール>スクロースの順に高かった。2種の糖を組み合わせた場合は、ほぼ中間のピーク温度を示し、いずれの糖の影響も同時に現れた。

表2 種々の糖類を含むバター比重とケーキ比容積

試料記号	バター比重	ケーキ比容積( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
Su	0.459	5.06
E	0.520	4.00
X	0.340	4.34
X+E	0.360	4.23
X+ST	0.360	4.68
X+MT	0.370	4.95
X+LT	0.370	5.04
G	0.445	4.06
G+E	0.422	4.63
G+ST	0.395	4.66
G+M	0.437	4.39
G+MT	0.408	4.90
G+L	0.510	3.90
G+LT	0.407	5.00
ST	0.385	4.83
ST+E	0.383	4.92
ST+M	0.415	4.92
ST+MT	0.393	4.97
ST+L	0.462	4.61
ST+LT	0.383	4.97
M	0.515	4.29
M+E	0.408	4.45
M+MT	0.432	4.85
M+L	0.488	4.36
M+LT	0.421	4.76
MT	0.427	4.14
MT+E	0.400	4.52
MT+L	0.480	4.40
MT+LT	0.395	4.20
LT	0.407	4.35
LT+E	0.407	5.00
LT+L	0.448	4.58
L	0.83	2.61



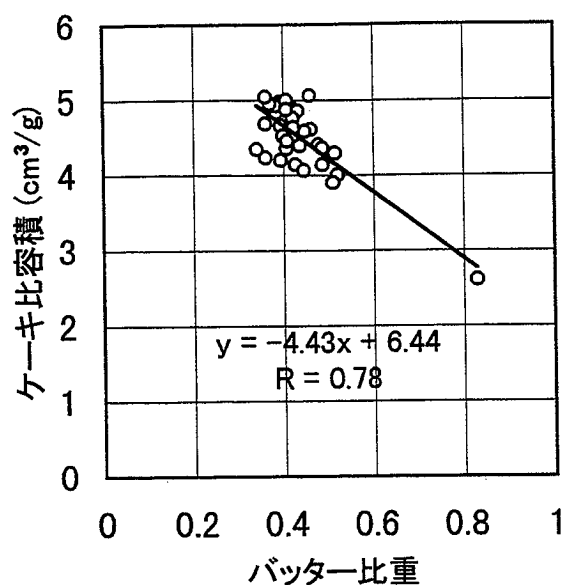


図1 バター比重とケーキ比容積

表3 いくつかの糖類の37°Cにおける溶解度

試料記号	上清中の糖濃度 (%)	予測糖濃度* (%)	沈殿の有無
E	43.66	--	有
G	47.47	--	無
ST	47.45	--	無
M	45.47	--	無
MT	47.46	--	無
L	22.79	--	有
E+L	39.86	33.23	有
E+M	46.05	44.57	無
E+MT	47.30	45.56	無
G+L	41.04	35.13	有
G+M	46.18	46.47	無
ST+L	41.03	35.12	有
M+L	38.69	34.13	有
MT+L	41.18	35.13	有

\* 単独時の上清中糖濃度を加えて2で割ったもの

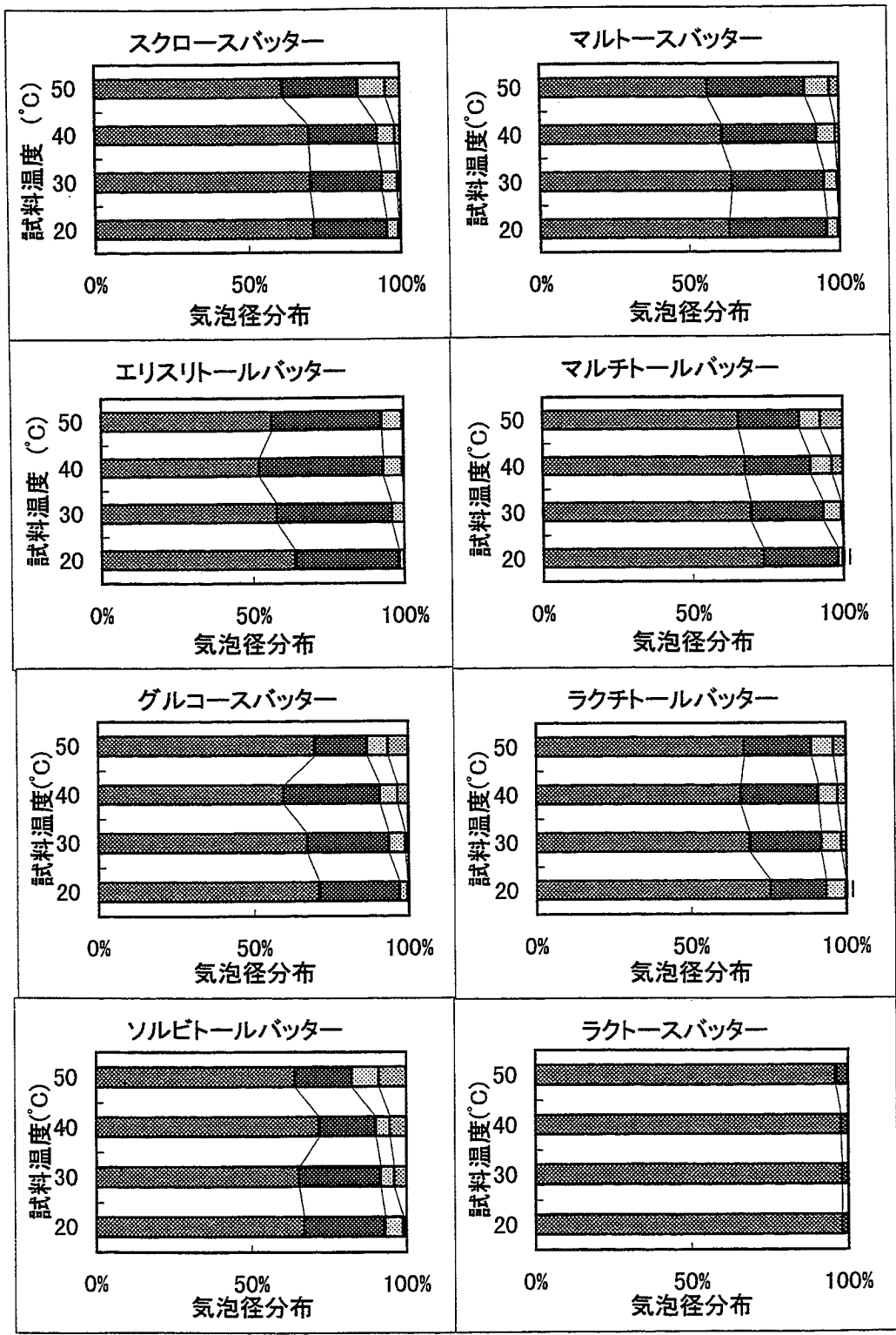


図2 温度によるバター気泡径分布の変化

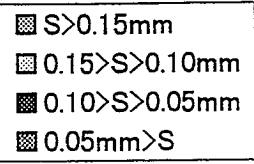


表4 熱分析によるバターの変化点温度

試料記号	変化点の温度 <sup>a)</sup>		
	To <sup>b)</sup> (°C)	Tp <sup>c)</sup> (°C)	Tc <sup>d)</sup> (°C)
Su	84.56±0.48	89.84±0.36	96.80±0.25
E	---	77.2	---
X	75.57±0.90	80.87±0.75	94.83±0.25
X+E	73.95	79.15	92.95
X+ST	76.73±0.64	82.50±0.20	95.93±0.91
X+MT	79.90±1.80	85.47±0.93	96.00±0.10
X+LT	80.87±0.84	86.77±0.25	96.50±0.46
G	76.13±0.93	81.76±0.65	96.96±0.45
G+E	73.80±0.95	79.16±0.65	94.96±0.90
G+ST	76.50±0.75	82.80±0.46	97.50±0.35
G+M	76.93±1.29	82.93±1.03	96.35±0.92
G+MT	80.20±0.28	85.73±0.68	96.86±0.32
G+L	---	84.50	---
G+LT	80.80±1.13	86.63±0.81	98.05±0.35
ST	77.20±0.10	83.27±0.12	96.65±0.49
ST+E	72.10±2.40	80.30±0.62	94.15±0.35
ST+M	77.20±0.55	84.27±0.95	95.65±0.49
ST+MT	80.87±1.05	86.47±0.47	96.93±0.75
ST+L	---	85.60	---
ST+LT	82.45±0.51	87.63±0.59	98.15±0.49
M	---	84.80	---
M+E	73.33±0.85	80.20±0.53	93.05±0.72
M+MT	81.57±0.40	87.50±0.10	97.26±0.93
M+L	---	87.10	---
M+LT	82.93±0.45	88.60±0.53	97.00±0.40
MT	85.47±0.55	90.97±0.47	97.20±0.82
MT+E	76.47±0.95	83.03±0.75	94.03±0.42
MT+L	---	86.80	---
MT+LT	86.63±0.35	91.57±0.50	98.47±0.50
LT	87.67±0.40	93.40±0.261	01.07±0.31
LT+E	77.4±0.87	83.97±0.42	94.63±0.32
LT+L	81.40	90.30	97.80

a)DSC曲線上の変化点前後に引いた接線の交点に対応する温度

3データ以上の場合に、平均値±SDで示した。

b)変化開始点

c)変化のピーク点

d)変化終了点

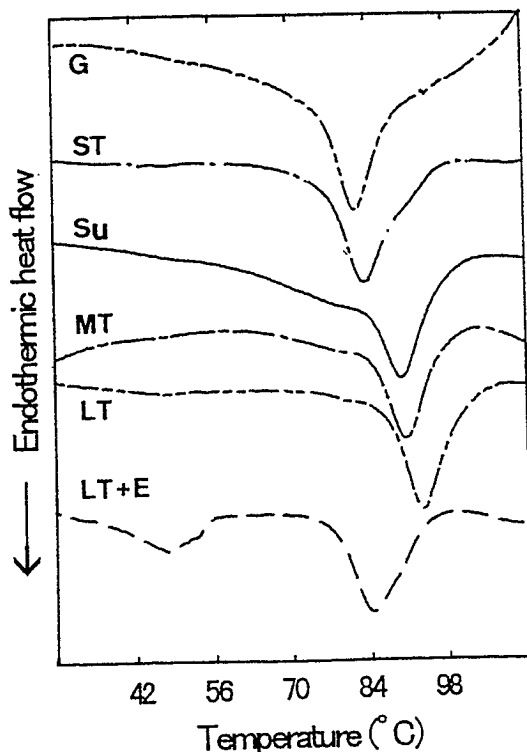


図3 バターの熱分析曲線

#### 4 考察

##### 4-1 バッター比重とケーキ比容積及び糖の溶解度

図1に示したバター比重とケーキ比容積の間には、強くはないが負の相関関係( $R = 0.78$ )が認められ、バター比重の小さい方がケーキ比容積が大きくなることを示していた。このような傾向を市川らも報告しており<sup>7)</sup>、ある程度以上の含気量であることが、ケーキの膨化を良好にすることを示していた。一方図中の各データ点を表2と合わせて見ると、比較的比重が高いにも関わらずケーキ比容積が大きいスクロースや、逆に比重は低いが比容積の小さいキシリトールがあり、バター比重以外の条件によって比容積が影響を受けていることも認められた。ケーキ比容積に関わる条件については、第II章以降の焼成工程の解析を通じ、再度述べることにする。

表2に示したバター比重の内0.45以上の値を示した試料は、スクロース、エリスリトール、グルコース+ラクトース、ソルビトール+ラクトース、マルトース、マルトース+ラクトース、マルチトール+ラクトース、ラクトースであり、混合糖ではラクトースを含む場合にのみ見られた。表3の溶解度実測値に示したように、エリスリトール単独とラクトースを含む溶液は37°C加温後も未溶解の糖を含んでおり、これがバター比重が大きくなる一因と考えられた。またエリスリトールを含む混合糖では、ラクトースとの組み合わせ以外で溶け残りが観察されず、単独時に比べてバター比重は小さくなったことも、こ

の推測を支持した。換言すれば、糖混合効果の一つは溶解度上昇に伴うバター比重の低下であると考えられる。

#### 4-2 糖の溶解度とバター中の気泡

バターに換した濃度で溶け残りが観察されたエリスリトールとラクトースは、図2に示すように、バター中の気泡径分布が他の試料と異なっていた。このような観察結果からもバター中の糖の溶解度が気泡の状態に影響すると考えられる。

今回の実験条件では、顕微鏡下で取り込んだ試料のコントラストが良好でなく、定量的なデータが得られにくかった。バターの性質を考慮する場合に、気泡の存在状態やその安定性は基本特性として重要である。しかし、短時間に变化する現象を取り扱うことになるので測定の困難さがあり、この点を解決することは今のところ出来ていない。今後さらに検討したい。

#### 4-3 バターの熱変性

バターの原材料である卵や小麦粉をそれぞれ単独に熱分析すると、前者は卵黄と卵白の熱変性ピークが60～85°Cの間に複数現れ、後者は60°C付近にほぼ単一ピークとして現れる。これらにスクロースを加えると、いずれも高温側に大きく移動する。小麦粉と卵を合わせた試料の熱分析結果には、材料の熱変性に対応するピークが複数見られるが、これにスクロースを加えたバターでは、大きな単一ピークが90°C付近に現れるようになる<sup>6)</sup>。このことはバターの熱変性がある温度帯で一気に生じること、即ち蛋白質の熱変性も澱粉の糊化もほぼ同時期に生じること示している。この変化はバターの流動状態から弾力を持った固体への劇的な変化、つまりケーキ生地硬化に対応する。

図3及び表4に示したように、スクロース以外の糖バターも基本的に単一ピークとなった。また、ほぼ糖の分子量に応じてピーク位置は移動し、バターのピーク温度は糖代替により最大16°Cの幅で変化した。即ち、糖の代替とはバターの熱変性温度を変化させることであり、ひいてはバターの硬化時期を左右することである。

図3の上から3つ目に示したスクロースのように、85°Cから始まる主ピークの前に開始点の不明な右下がりの曲線が描かれる場合がある。これは様々な理由による基準線からのずれを表しており、標準とした水入りセルと試料セルとの比熱容量の違いや、バターにわずかな吸熱が少しずつ生じている可能性、などが考えられる。従ってバターの熱変性の指標としては吸熱変化のピーク温度を当てることが妥当であり、加えてこの温度は表4のように標準偏差も小さい傾向にあった。

## 第II章 スポンジケーキの焼成工程

ケーキの焼成工程は、流動性を持つバターが内包する気泡の膨張によって体積を増し、同時に気泡を支える膜や膜の間の流動体が凝固し、全体としてスポンジ様の組織を呈する弾性体に変貌する最も劇的な段階である。この工程の解析には、バターの基本的な性質のみならず、空気泡の膨張とその固定化という動的な状態変化を捉えることが必要になる。ケーキの焼成工程を観察すると、焼成後期にケーキ高さが低下する現象が見られる<sup>6, 8)</sup>。この時点ではケーキ体積そのものが収縮するが、肉眼で確認できるのは高さの変化である。このような背景から焼成工程の状態変化を捉える試みの一つとして、焼成中のケーキ高さの変化測定を含めて実験を行った。

### 1 実験材料

第I章の結果から、比容積が小さくスポンジ組織を形成できなかった糖類、及び味覚上問題のあった試料を除外することにした。ラクトースを含む試料全て、エリスリトール及びマルトース単独、の計7試料を除き、残り26試料を実験対象とした。

実験材料は基本的に第I章と同じものを使用した。

### 2 実験方法

#### 2-1 バターの調製とケーキの焼成

第I章の2-1と同様に行った。

#### 2-2 バターの基本的性質

##### 1) バター比重

第I章の2-2の1)と同様に行った。

##### 2) バターの熱分析

第I章の2-2の4)と同様に行った。

#### 2-3 ケーキの焼成

##### 1) 焼成中の温度と収縮開始点

焼成中に中央部分(ケーキ型中心部から水平方向に15mm, 型底辺部より18mm上部)の温度変化を熱電対温度計(安立計器株式会社)で10秒ごとに測定した。

ケーキ中心部の表面に浮標を乗せ、焼成中の表面高さの変化を肉眼で観察した。最大高さが下がり始める点(収縮開始点)の時間を測定し、その時間を用いて中央部温度測定結果より、収縮開始温度を特定した。

##### 2) ケーキの重量と体積

焼成後のケーキは、型に入れた状態で室温に2~3時間放置した後重量を計った。グラシン紙を取り除いて再びケーキ重量を測定した後、菜種種子を用いて種子置換法により体積を測定した。得られた体積を重量で除し、比容積( $\text{cm}^3/\text{g}$ )を求めた。

### 3 実験結果

#### 3-1 焼成中の変化

##### 1) 温度変化

図4に典型的な温度上昇曲線を呈した4種(ソルビトール、グルコース、ラクトース、マルチトール)のバターの温度変化を示した。いずれも初期に3分程度急上昇した後、5~7分間に一時的な低下やラグが現れ、その後上昇して10分後には90°C以上に達した。この温度低下やラグは、下層にあった流動性を持つ新しいバターが膨張によって持ち上がり、温度センサー部分と接触するという、一種のオープンスプリングによると推定される。焼成開始後20分程度で最高温度に到達したケーキ中央部の温度は、焼成終了時にはやや下がる様子がいずれの試料でも認められた。ソルビトールは他の試料に比べて温度上昇が遅く、途中からグルコースに追いつくが、グルコースと同様に最高到達温度がラクチトールやマルチトールより低かった。

表5の2、3列に、試料全ての85~90°Cの昇温速度と最高到達温度を示した。

昇温速度は2.14から5.45まで分布し、キシリトール、グルコース、ソルビトールのような分子量の小さい糖及び X+E, X+ST, G+E, G+ST, ST+Eのような分子量の小さい糖の組み合わせで遅く、スクロース、マルチトール、ラクチトール、のような分子量の大きい糖及び M+MT, M+LT, MT+LTのような分子量の大きい糖の組み合わせで速くなった。

最高到達温度は、94.5~100.0°Cの間に分布した。また昇温速度の遅い試料では、最高温度が低く、速い試料は高くなる傾向が見られた。

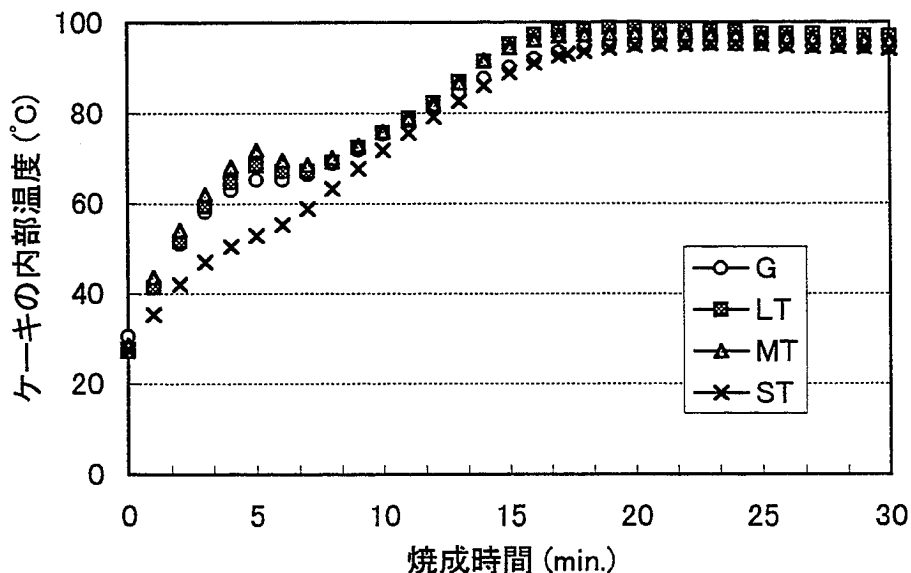


図4 代表的ケーキ試料の焼成中の温度変化

表5 焼成中の温度履歴・変化時期・重量減少とケーキ比容積

試料 記号	ケーキ焼成中の変化				バッタ ーの Tp** (°C)	ケーキ a)とb)		ケーキ	
	昇温 速度* (°C/分)	最高 温度 (°C)	収縮開始 温度 時間 <sup>a)</sup> (°C) (sec)			Tp到達 時間 <sup>b)</sup> (sec)	の 時間差 (sec)	比容積 (cm <sup>3</sup> /g)	重量 減少 (g)
Su	4.29	99.0	97.2	970	90.0	810	160	4.86	31.2
X	2.14	94.9	94.6	1365	80.5	800	565	4.34	30.1
X+E	2.23	94.8	94.6	1340	79.4	790	550	4.23	28.7
X+ST	2.78	95.2	93.6	1150	82.5	800	350	4.68	31.2
X+MT	2.73	94.5	93.5	1030	84.7	750	280	4.95	32.5
X+LT	4.20	97.1	96.1	1090	87.0	840	250	5.04	33.4
G	2.73	95.5	94.6	1105	81.8	730	375	4.17	31.7
G+E	2.61	95.7	95.1	1230	79.2	750	480	4.23	30.8
G+ST	3.00	95.2	94.5	1130	82.9	770	360	4.46	31.1
G+M	3.53	96.6	96.0	1055	82.7	710	345	4.41	32.3
G+MT	4.62	97.3	96.0	1070	86.5	770	300	5.22	33.2
G+LT	4.00	96.7	96.0	1020	87.0	790	230	4.99	32.8
ST	2.73	95.3	95.0	1210	84.5	810	300	5.11	30.0
ST+E	2.61	94.8	94.6	1285	80.5	780	505	4.30	29.9
ST+M	3.75	95.8	95.2	1020	83.2	730	290	4.80	32.5
ST+MT	4.29	96.4	95.2	995	86.3	780	215	5.09	32.3
ST+LT	5.00	96.2	96.2	1035	87.4	780	255	5.23	32.9
M+E	2.73	95.0	94.5	1165	79.8	730	435	3.86	31.9
M+MT	5.45	100.0	95.5	875	87.6	730	145	4.94	32.7
M+LT	5.45	99.5	97.2	925	89.0	750	175	4.95	32.5
MT	5.00	97.7	96.1	955	91.5	840	115	4.84	33.1
MT+E	3.00	95.1	94.8	1155	83.0	760	395	4.26	32.0
MT+LT	4.29	98.7	95.1	895	91.5	830	65	4.63	33.9
LT	4.62	98.7	94.7	895	93.2	870	25	4.58	33.6
LT+E	3.53	96.1	94.7	1020	84.1	750	270	4.96	31.3

\*: 85~90°Cの温度上昇速度

\*\* : DSC測定によるバッターの吸熱ピーク温度

a) : 焼成開始からケーキの最大高さが減少に転じる点までの時間

b) : 焼成開始から、ケーキ中央部温度がDSC測定でのバターTpに達するまでの時間



## 2) 収縮開始時期

表5の4、5列に、ケーキ高さが減少に転じた温度と時間を、収縮開始の温度と時間として示した。

収縮開始温度は93.5~97.2°Cの狭い範囲に分布した。収縮開始温度は最高温度の高さとほぼ対応した。収縮開始時間は875~1365秒の間に分布し、最大490秒の差があった。早く収縮開始する試料は昇温速度が速く、遅れて収縮するものは昇温速度が遅い傾向にあった。収縮開始期の最も早いM+MTは14.6分、最も遅いキシリトールは22.7分、スクロースは16.2分が変化点であった。

## 3) 吸熱ピーク温度とケーキのTp到達時間

表5の6列にケーキバターのDSC測定による吸熱ピーク温度(Tp)を示した。第1章の表4に示したTpは平均値であるが、表5では同じ機会に調製した試料の測定値を、同行に並べた。

7列にケーキ中央部温度がTpに到達した時間を示した。Tp到達時間は730~870秒に分布し、140秒という比較的小さな差となった。Tpの高低と試料のTp到達時間の長短は、必ずしも一致しなかった。

## 4) ケーキの重量変化

表5の10列に焼成後の重量減少を示した。ケーキ焼成中には約30gの水分減少が見られ、28.7~33.9gまでの値を示した。昇温速度の速い方が重量減少の大きい傾向を示した。

## 3-2 ケーキの比容積

表5の9列に、ケーキ比容積を示した。前述の吸熱ピーク温度と同様に、ここに示した比容積は同行のデータを得たと同じ試料の測定値である。最も比容積が小さいM+Eは3.86、大きいST+LTは5.23を示し、その差は約30%であった。比容積4.5以下の試料はX, X+E, G, G+E, G+M, ST+E, M+E, MT+Eで、分子量の小さい糖を含む場合であった。一方比容積が5.0より大きい試料はX+LT, G+MT, ST, ST+MT, ST+LTであった。比容積の小さいケーキの中には一旦できた気泡がつぶれたような断面の様子を示すものや、全体に気泡が少なく膨化不足の様子を示すものが見られた。

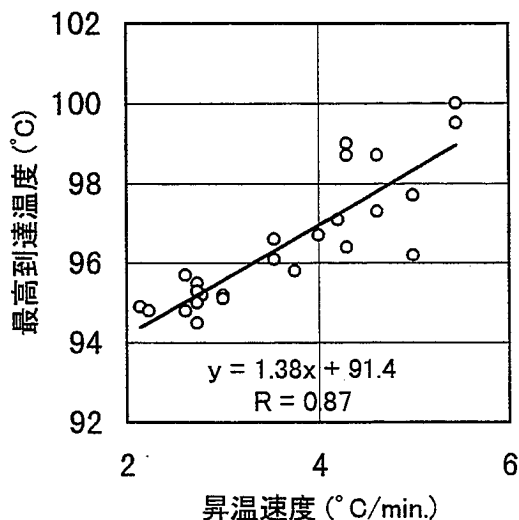


図5 昇温速度と最高到達温度

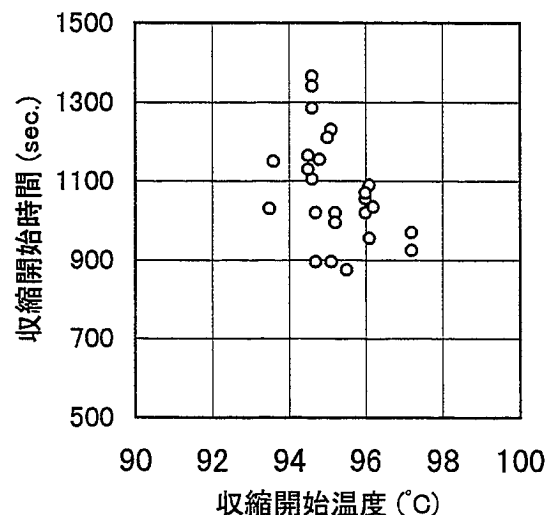


図6 収縮開始温度と時間

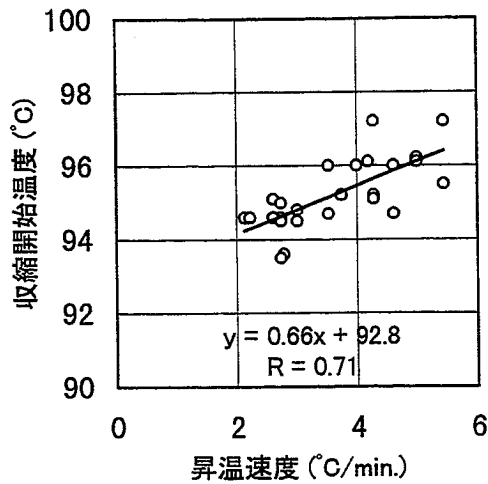


図7 昇温速度と収縮開始温度

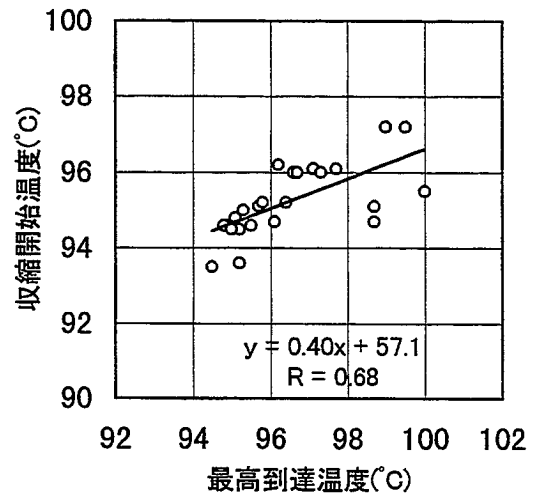


図8 最高到達温度と収縮開始温度

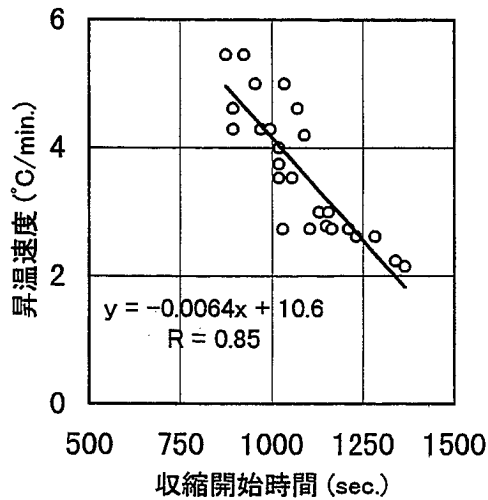


図9 昇温速度と収縮開始時間

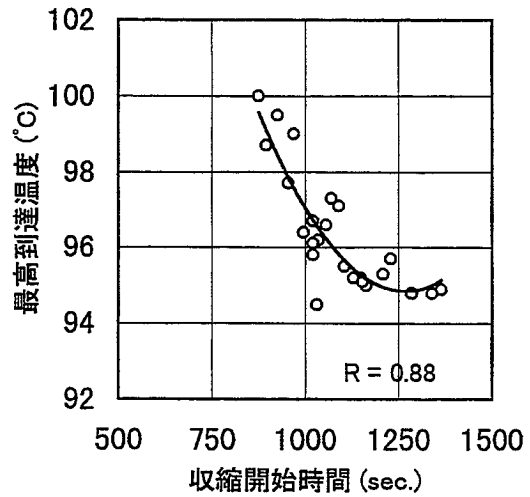


図10 最高到達温度と収縮開始時間

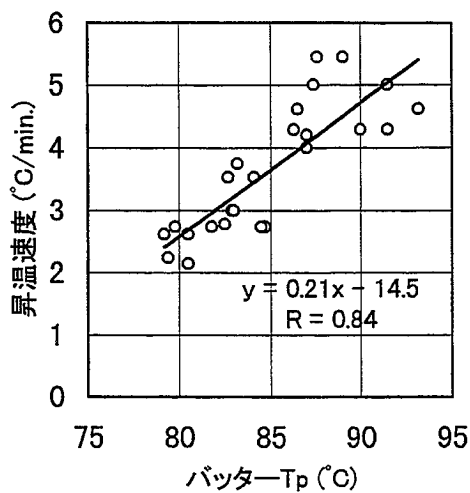


図11 バッター- $T_p$ と昇温速度

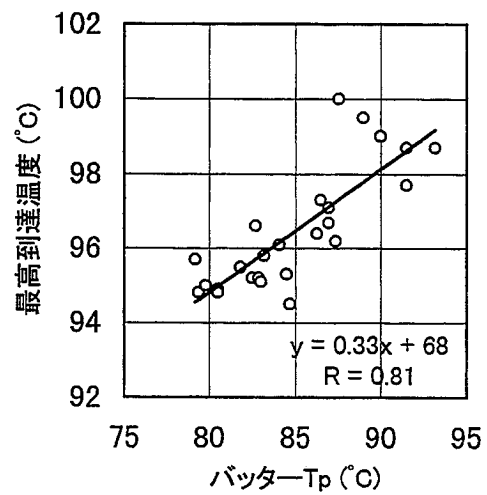


図12 バッター- $T_p$ と最高到達温度

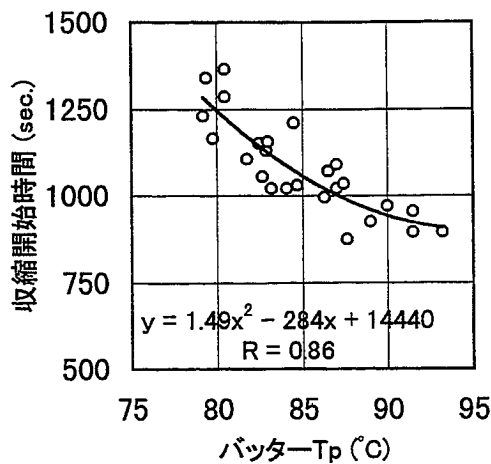


図13 バッター-Tpと収縮開始時間

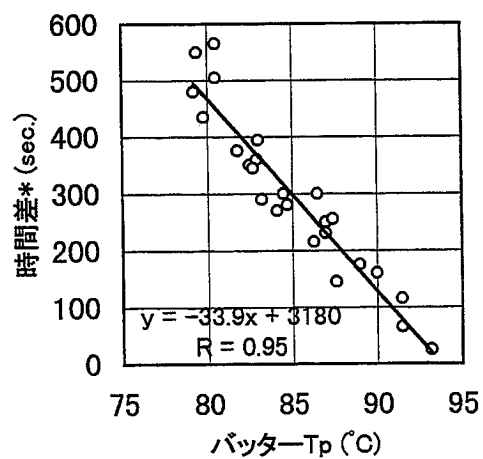


図14 バッター-Tpと時間差\*  
(\*: Tp到達から収縮開始までの時間差)

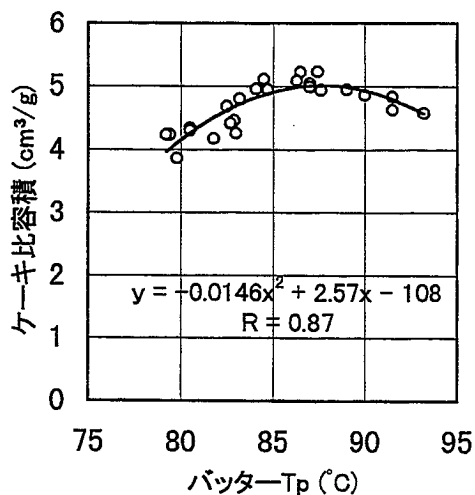


図15 ケーキ比容積とバター-Tp

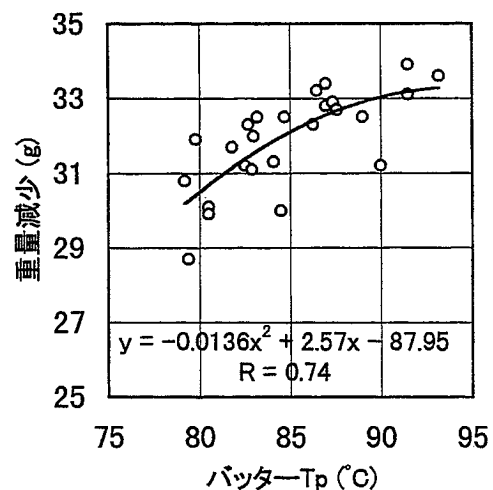


図16 焼成時重量減少とバター-Tp

## 4 考察

### 4-1 焼成中の温度履歴と収縮時期

図5に85~90°Cにおける昇温速度と最高到達温度に関係を示した。両者の間には正の相関( $R = 0.87$ )が認められ、昇温速度の速さと最高到達温度の高さはほぼ対応することが示された。

図6に収縮開始の温度と時間の関係を示した。両者の間にはほとんど関連が見られなかった。このことは、ケーキの温度上昇等が一様でないことを示唆していた。

図7に昇温速度と収縮開始温度、図8に最高到達温度と収縮開始温度との関係を示した。いずれも弱いながら正の相関( $R = 0.71, 0.68$ )があった。

図9に昇温速度と収縮開始時間、図10に最高到達温度と収縮開始時間との関係を示した。昇温速度と収縮開始時間の間には負の相関( $R = 0.85$ )が見られた。一方最高到達温度と収縮開始時間の間は2次曲線による近似( $R = 0.88$ )が可能であり、最高到達温度95°C以上では負の関係が見られた。

以上の相互関係より、昇温速度の速い試料は最高到達温度が高いと共に、収縮開始温度

も高くなる傾向にあり、加えて収縮開始時間が短くなることが分かった。但し、最高到達温度が95°C前後の試料と収縮開始温度との間には、一定の関係が認められなかった。

#### 4-2 バッターTpと温度履歴

図11にバターTpと昇温速度、図12にバターTpと最高到達温度との関係を示した。いずれの場合も正の相関( $R = 0.84, 0.81$ )が認められた。バターTpと昇温速度や最高到達温度とのこのような関連から、図4に示した温度上昇曲線の違いはバター自身の熱変性挙動の違いによるものと推察される。オープン内の空気は焼成中ほぼ一定温度に保たれており、庫内の熱を直接に受けるバター表面での温度上昇は、試料間の差が小さいと考えられる。従ってTpの低い試料では、比較的早い時期にバターの熱変性によって、空気を含んだ断熱効果の高いスポンジ様の層が生じ、水分蒸発や熱伝達速度が抑制される。その結果Tpの高い試料に比べ、昇温速度等が低下すると考えられる。

バターTpと収縮開始温度との間にはほとんど関連が見られなかった(図省略)。この場合の収縮開始温度とは、生地収縮時のケーキ中央部の温度である。収縮という現象には、硬化した生地の強度等が関与すると推測されることから、バターTpとは必ずしも対応しないのであろう。

また、バターTpとケーキのTp到達時間との間にも関連が見られず(図省略)、それぞれのケーキの温度履歴が一様でないことを示すものと考えられた。

図13にバターTpと収縮開始時間との関係を示した。この場合は緩やかな右下がりの2次曲線による近似( $R = 0.86$ )が可能であった。即ち、バターTpが低いほど収縮開始時間が遅くなること、バターTpが95°Cに近づくとつれほど900秒付近に収束することを示していた。バターTpが低いことは、前述のようにケーキ中央部の温度上昇速度が遅いことを示しており、これが収縮開始時期の遅れに繋がると考えられた。

#### 4-3 スポンジ組織形成

ケーキの収縮開始時期とは、ケーキ生地が膨化しつつ硬化し、硬化した生地に生じた亀裂などから内部蒸気圧の上昇と共に気体が放出され、膨化と気体放出との平衡が放出の方に傾き始めた時点と考えられる。換言すれば、ケーキ全体のスポンジ組織がほぼ完成した時期に対応する。一方、ケーキ中央部の温度がTpに達する時期は、バター熱変性の最盛期に当たり、厳密に言えば温度センサー付近のケーキ生地が硬化する時点と考えられる。表5の8列に示した、収縮開始時間からケーキ中央部のTp到達時間を差し引いた値は、従って、ケーキ中央部の硬化点からケーキ全体のスポンジ組織形成完了までの時間差を表している。この時間帯を、以下スポンジ組織形成期と呼ぶことにする。

図14にバターTpとスポンジ組織形成期との関係を示した。両者の間には負の相関( $R = 0.95$ )が見られ、バターTpが高い試料はこの期間が短いことを示していた。スクロースはバターTpを高くする糖であり、スポンジ組織形成期は160秒程度である。一方水越はスクロースケーキ生地の硬化と気体の放出が、ほぼ同時に生じることを報告している<sup>9)</sup>。本報告との違いは、焼成時のケーキ形態やバター硬化時期の見積もり方等が異なるためと考えられる。今回の実験に用いたケーキ型は直径18cmであり、横方向に温度差が大きくなる。他方水越はモデル焼成装置を用い、バターは20~26mlのメスシリンダーに入れて測定しており、バターの部位による温度差は非常に小さいと考えられる。従って、今回の実験に現れた時間差は、ある範囲の生地中の伝熱に要する時間を含み、現実的な焼成時には必然的に現れるものと考えられる。

図14に示された直線とX軸との交点は、93.8°Cである。Y軸は収縮開始時間とケーキのTp到達時間との差であるから、理論上  $Y = 0$  以下ではケーキ中央部が硬化する前にケーキ全体の収縮が始まることを意味する。従って93.8°Cに、今回の焼成条件下における良好なスポンジ組織形成の限界点が存在するとの解釈が可能である。

#### 4-4 ケーキの膨化程度と重量減少

図15にバターTpとケーキ比容積の関係を示した。両者の関係は、Tpが88°C付近に最大値を持つような2次曲線で近似( $R = 0.87$ )できた。この曲線は、バターTpには比容積を大きくする範囲があり、それはほぼ85~90°Cであることを示している。換言すれば、バターTpの調節によってケーキ比容積を変化させ得ることを示唆している。

ケーキ比容積はバターの膨化と収縮に関連する種々の要因に影響を受けるが、基本的には蒸気圧による膨化と、気泡を含む生地硬化と硬化後の強度の3要素で説明可能である<sup>9, 10)</sup>。硬化した生地の強度以外はケーキ温度の関数と見なせる。糖の違いによる硬化生地の強度差が蒸気圧に比して小さく無視できるならば、糖の種類の違いはバターの熱変性温度を変化させて生地の温度履歴に影響を与え、蒸気圧の大きさと生地の硬化時期を左右し、結果として膨化程度の違いを生じさせる主因となる。程度に差はあるものの、これまで述べてきた温度履歴や収縮開始時間とバターTpの間に見られた相関は、この推測を裏付けるものと考えられた。

図16に焼成時の重量減少とバターTpとの関係を示した。図に表したように右上がりの2次曲線で近似( $R = 0.74$ )でき、概してバターTpの高い場合に重量減少が大きくなることが示された。4-2に述べたように、バターTpの低い試料は表層部の熱変性が比較的早い時期に生じ、水分蒸発を抑制する傾向を示すものと考えられた。

## 第III章 ケーキの性質

### 1 実験方法

#### 1-1 ケーキの調製

第II章と同様の材料と調製方法でケーキ試料を得た。

#### 1-2 ケーキの物性

体積測定後のケーキはポリエチレンの袋を2枚重ねたものに入れ、口の部分を折り畳んで、温度20～23°Cで湿度58%の庫内に保存した。1日後に取り出して内層部分を30×30×高さ15mmの大きさに切り出した。レオロメータ(RX1600, アイテクノ)により定速圧縮を2回繰り返し、Paterasらの報告<sup>11)</sup>を参考にして、かたさ(第一回圧縮時の最大荷重kg)と凝集性を求めた。測定条件は、プランジャーの直径:18mm、クリアランス:試料高さの45%、圧縮速度:50mm/分とし、1試料につき9～10個のケーキ片を測定し、それぞれの値の平均値を算出した。

#### 1-3 ケーキ内層の官能評価

##### 1) 評点法によるケーキの官能評価

キシリトールを含む試料を除いた21種のケーキを対象として、-3～+3までの7段階で官能評価を行った。評価項目は、「やわらかさ」、「しっとりさ」、「砕け易さ」、「口の中での固まり易さ」、「甘味の強さ」、「後味の良さ」、「ケーキとしての好ましさ」の7つである。調製したケーキは2重にしたポリ袋に入れ、20°Cで湿度58%の保存庫に一晩置いた。ケーキの内層部分を20×20×20mmに切り出し、1回の評価毎に2片をトレイ上の白紙の上に並べ、タンブラーに入れた水と共に提供した。開始前と異なる試料を口に含む前に口をすすぐように指示した。パネルは20歳代の女子大学生13名で、事前に少なくとも1度同じ官能検査を体験させた。

##### 2) スクロースを標準とした官能評価

試料全体の中から膨化程度が比較的高く、外観がスクロースに近いケーキ13種を選び、スクロースを標準とした官能評価を行った。

前日に調製し、上記1)と同様に保存したケーキの内層部分を20×20×20mmに切り出し、密閉袋に入れた。スクロースケーキと試料ケーキ1種を一对とし、各2片ずつをトレイ上の薬包紙に載せ、タンブラーに入れた水と共に提供した。開始前と異なる試料を口に含む前に口をすすぐように指示した。標準のケーキ、試料ケーキの順に食し、1)と同じ7項目について、標準のケーキを0として、-3～+3までの7段階で評価させた。パネルは20歳代の女子大学生12名とし、評価に先立ち数日前にパネル全員に練習させた。

## 2 実験結果

### 2-1 ケーキの物性

図17に最大圧縮時の荷重kgをかたさとして示した。X、XE、Gがかたく、ラクチトールと混合した場合に概してかたさが小さくなった。キシリトール、グルコース、マルトースはケーキをかたくする傾向が見られた。

図18にケーキ片の凝集性を示した。スクロースと同程度の値を示した試料は、キシリトール、X Eをはじめ、グルコース、マルトース、エリスリトールを含む混合糖の場合であった。ソルビトールやラクチトールを含む場合は一度圧縮した生地が窪んだまま回復しない様子が観察され、凝集性の低さと対応していた。糖アルコールを用いたケーキは、もろく砕けやすいものが多かった。

## 2-2 ケーキの官能評価

図19と図20にキシリトールを含まない21種のケーキの評価点合計を、物理的性質及び好ましさ、味質及び好ましさの2グループに分けて示した。図より糖代替によって感覚的に様々な性質を持つケーキが得られたことが分かる。

スクロースは、やわらかく、ややしっとりしており、特には砕けやすくなく、やや固まりやすく、最も好まれた。G S T, S T, S T E, S T M, M E, M T Eはやわらかく、M T, M T L T, L Tはやわらかくないと評価された。しっとりさに欠けると判断されたものは、G L T, S T L T, M L T, M T, M T L T, L Tでラクチトールを含む場合が多かった。G L T, S T, S T L Tは砕けやすく、G Mのみ砕けにくいと評価された。G L TとS Tが口の中で固まりになりやすいと判断された。後味についてはスクロースが比較的優れ、ラクチトールがやや劣る以外は、全体に差が小さかった。甘味の強さはマルトースとラクチトールを含む場合に小さくなった。甘味の強弱と好ましさは、一致しない場合が数例あった。

図21にスクロースを標準とした13種のケーキの評価点合計を示した。ラクチトール以外のケーキは、スクロースと同等かより柔らかいと評価された。X S T, G M T, S Tはスクロースよりややしっとりしていると判断された。X S TとM M T以外は、砕けやすいと評価された。固まり易さについては大きな差は見られなかったが、S T L Tは砕け易さと口の中での固まり難さが対を成していた。X S TとX M T以外は甘味が弱く、後味と好ましさについては、L Tのみがやや劣る評価となった。

## 3 考察

### 3-1 ケーキの物性

ケーキのかたさと比容積の間にはほとんど関連が見られず、膨化程度と圧縮かたさは対応しなかった。これはスポンジ組織を構成している固形物部分の物理的性質が、使用した糖により様々であることに依るのかもしれない。

スクロースケーキの物性上の特徴は、適度にやわらかいことと凝集性が高いことである。即ち、圧縮かたさは小さいが、圧縮後の回復力が高いスポンジ組織を持っている。単一の糖でスクロースに匹敵するようなものは見られないが、かたさと凝集性の点から見ると、G E, M E, M M T, M T E, M T L T等が近い性質を示しており、還元糖と糖アルコールの組み合わせかマルチトールを含むケーキであった。糖アルコール同志の組み合わせでは凝集性の小さいケーキが多く、砕け易さがデータに現れたと考えられた。

図 17 種々の糖代替ケーキのかたさ

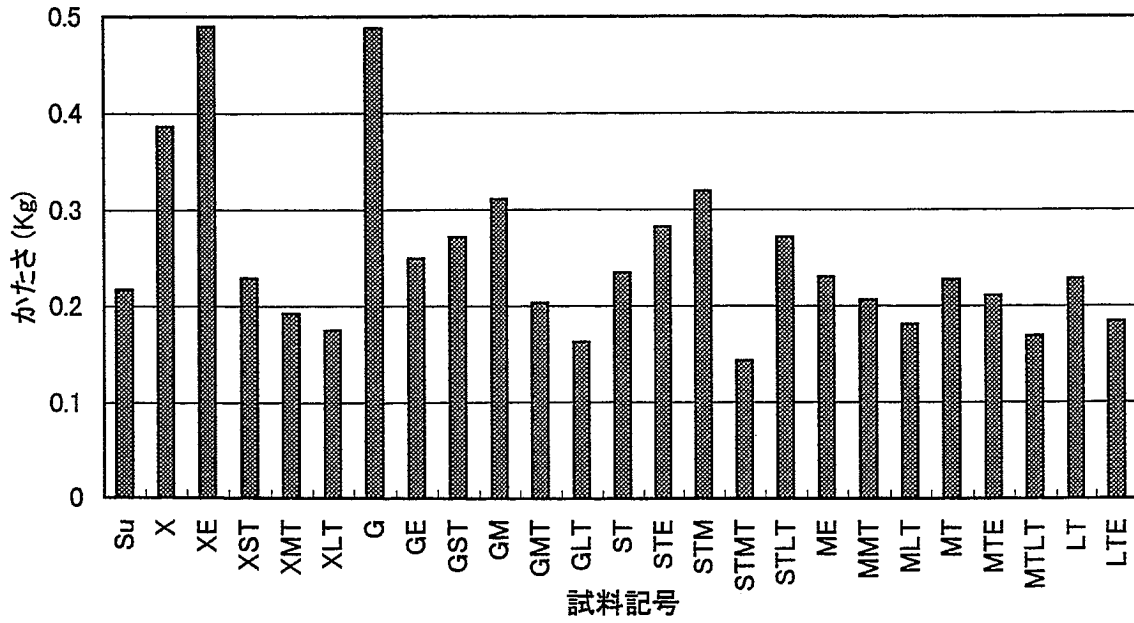


図 18 種々の糖代替ケーキの凝集性

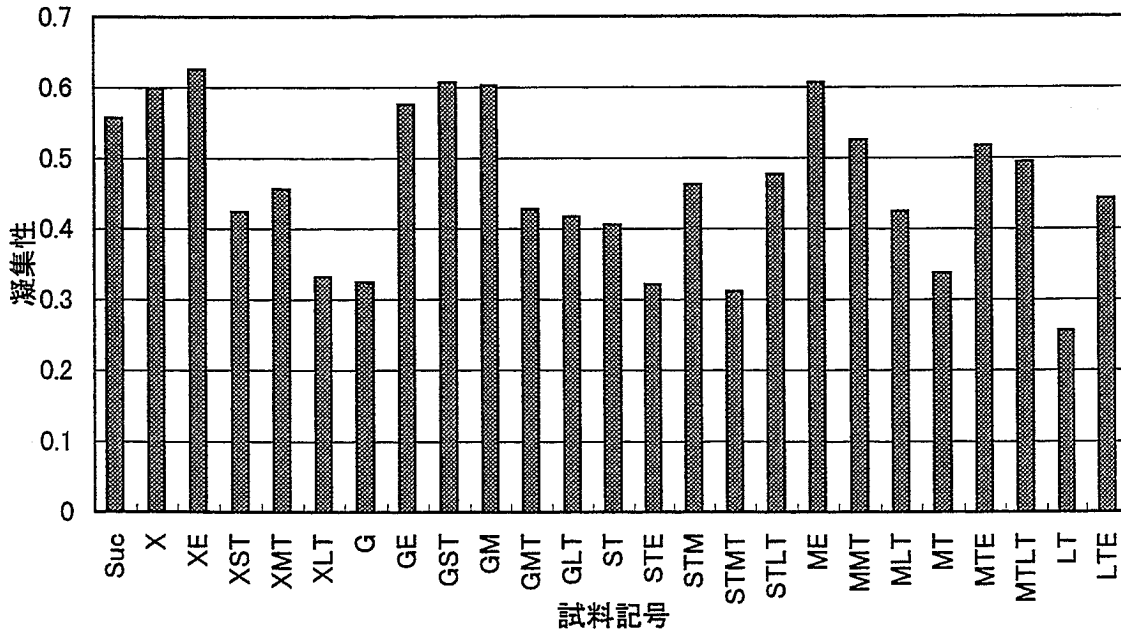




図 19 糖代替ケーキの物理的性質に関する評点合計

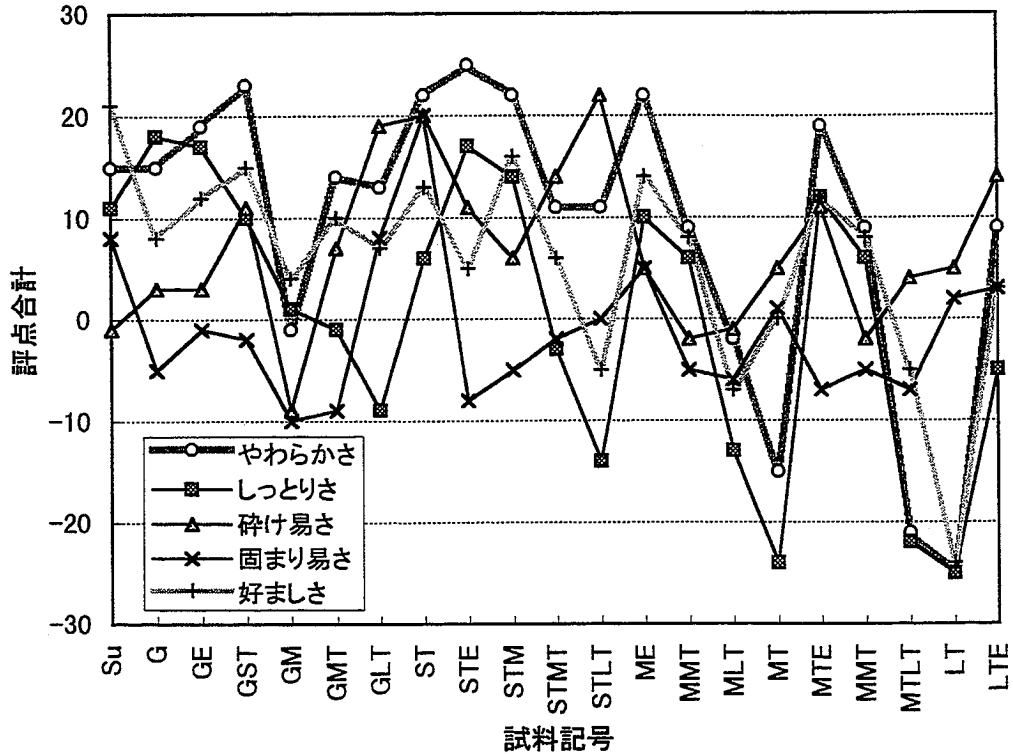


図 20 糖代替ケーキの味質に関する評点合計

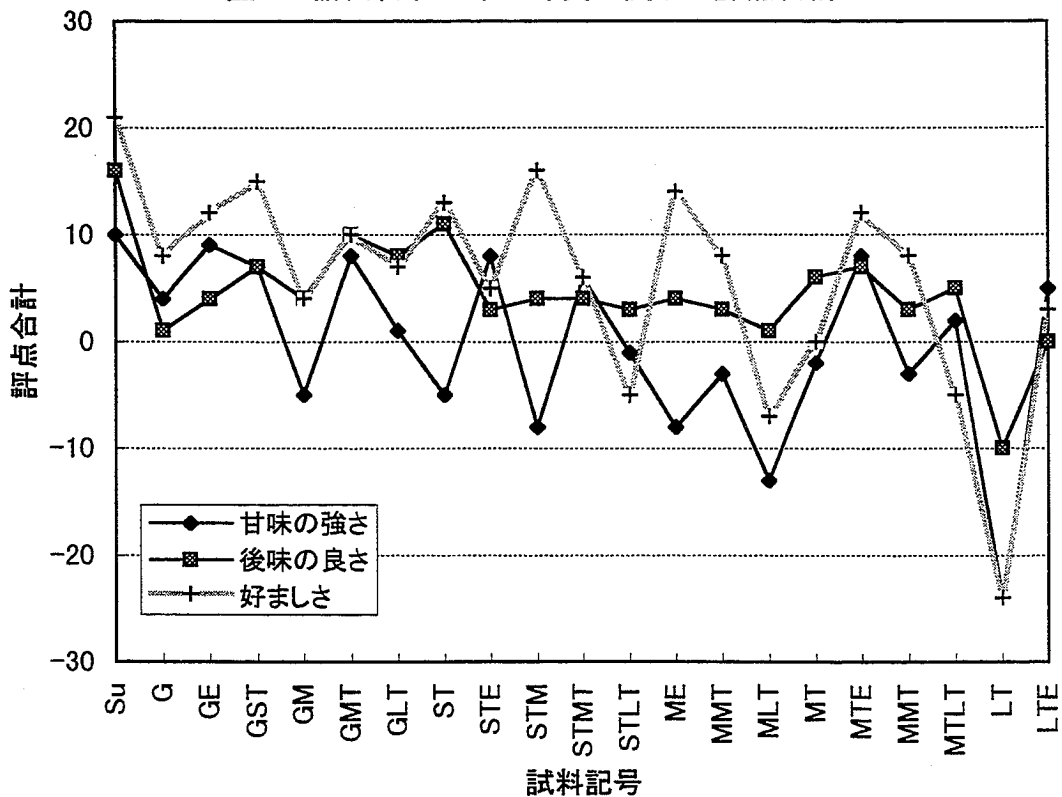
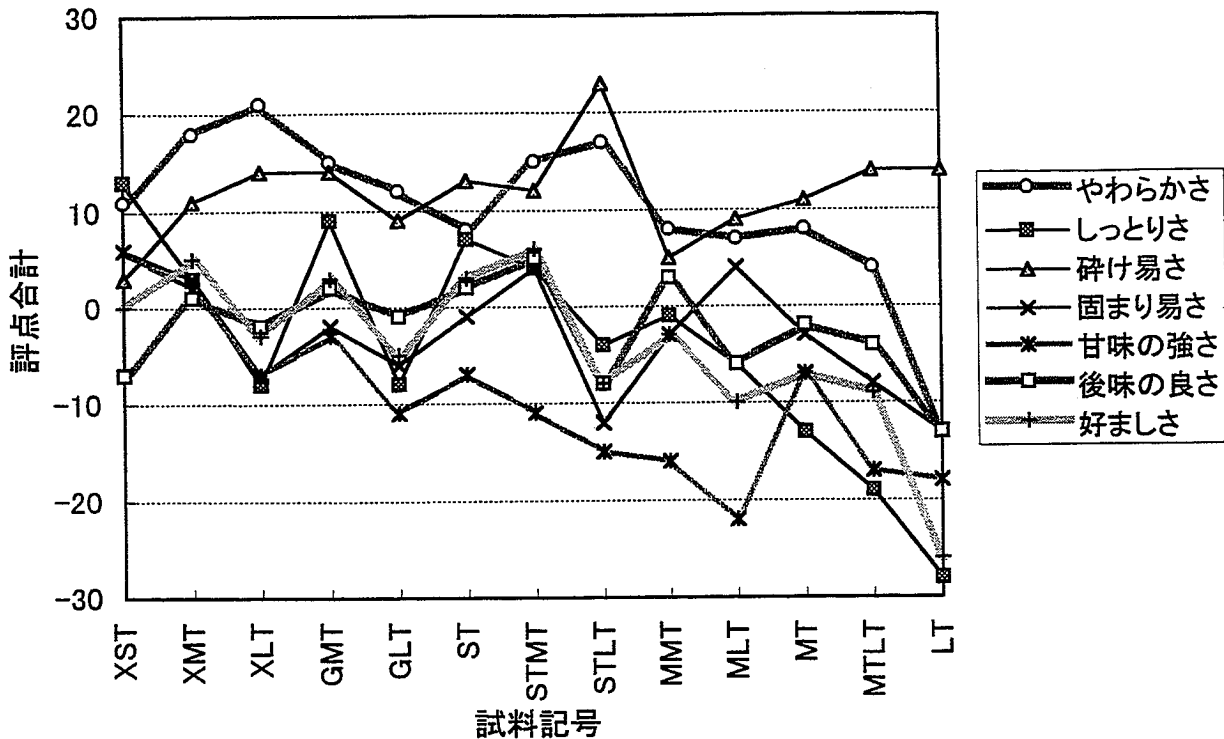


図 21 選択したケーキのスクロースを標準とした評点合計



### 3-2 官能評価

ケーキの総合評価である「ケーキとしての好ましさ」を軸にして見ると、21種のケーキの官能評価では(図19、図20)、GE, GST, GMT, ST, STM, ME, MTE, が好まれ、STLT, MLT, MTLT, LTが好まれなかった。グルコース及びマルトースは還元基を持ち、これらを含むケーキは焼成中にアミノ・カルボニル反応によって、表層部の強い褐変と香りの発生が見られた。このためケーキ内層にもカステラ様の風味が付き、しっとり感や好ましい香りが感じられたと推察された。一方ラクチールを含む場合には、甘味度が下がり、砕け易さが増して好まれ難くなったと考えられる。

図21に示したケーキ13種の官能評価では、スクロースを標準としたことで、好ましさの評価は0付近の値を示すものと、0以下とに大別できた。XST, XMT, XLT, GMT, ST, STMT, MMTは、スクロースと同程度と判断され、STLT, MLT, MTLT, LTはスクロースよりも好ましくないと判断された。キシリトールを含むケーキは、やわらかさやしっとりさを感じる人が多く、好ましさを増す傾向にあった。

スクロースを標準とするか否かで、やわらかさや砕け易さの判断が変動する場合があった。判断の容易さや精度は標準をおいた方が優れていると考えられるが、今回のデータで見る限り、好ましさや評価の全体像に大きな差は認められなかった。

2回の官能評価結果から、ケーキとしての好ましさに求められる条件は、やわらかさ、適度のしっとりさ、適度の甘味、等を挙げることができる。今回の試料の中で、スクロースケーキに比べて特段に優れていると判断されたものはなかったが、いくつかのケーキがスクロースと同等の好ましさであると評価された。

### 3-3 ケーキの物性と感覚的評価

感覚的なかたさと圧縮かたさの間には関連が見いだされなかった。一方、感覚的かたさとケーキ比容積の間には負の相関、逆に言えば感覚的やわらかさと比容積の間に正の相関(21種のケーキ:  $R = 0.89$ , 13種のケーキ:  $R = 0.79$ )が認められたことより(図省略)、パネルは比容積が大のケーキをやわらかいと判断する傾向にあることが分かった。圧縮による機械的なかたさと感覚的なかたさ判断とのこのような違いは非常に興味を引く点である。今後の課題としたい。

21種のケーキによる官能評価の場合に、しっとりさと凝集性の間には弱い正の相関( $R = 0.65$ )が、砕け易さと凝集性の間にはごく弱い負の相関( $R = 0.58$ )が見られた(図省略)。凝集性測定のような連続圧縮が、口腔内でケーキの受ける外力に近く、感覚との関連が現れやすいものと考えられる。好ましさとケーキ比容積の間にも正の相関( $R = 0.76$ )が見られ、膨化の良いケーキは好まれる傾向にあった。一方、13種のケーキの官能評価では、このような関係が見られなかった。これは比較的膨化が良くスクロースケーキに類似したものを選抜したことに依ると考えられた。

## 要 約

5種の糖アルコール類と3種の糖類を、スポンジケーキ中のスクロースに代替した場合に生じる諸現象を、バターの性質、焼成工程における温度変化や形態上の変化、形成されたスポンジ組織の物性として捉え、それらと糖類の性質との関係を考察し、バターの性質やスポンジ組織形成における糖類の影響がどのような機序によるものかを追求した。またケーキ組織の感覚評価を行って、ケーキの機械的な物性と感覚との関連についても探求した。得られた結果を要約すると以下の通りである。

- 1) 溶解度の低い糖を含むバターは比重が大きくなる傾向にあり、気泡の観察結果からもその安定性が劣ると判断される場合が多かった。糖類を2種混合すると溶解度が上昇した。また、バター比重とケーキ比容積の間には、負の相関が認められた。
- 2) バターの示差走査熱量測定により得られた吸熱ピーク温度(以下バターTp)は、糖の分子量にほぼ対応する高さを示し、ケーキ生地硬化温度を表すと考えられた。ケーキ焼成中の昇温速度や最高到達温度とバターTpの間には、正の相関が認められ、収縮開始時間とも関連していた。またケーキ比容積とバターTpの関係は、Tpが88°C付近に最大値を持つような2次曲線で近似できた。バターTpとケーキの温度履歴やケーキ比容積の間に見られた関係から、糖の代替はバターTpを変化させ、ケーキの温度履歴に影響を与え、ケーキの硬化時期や蒸気圧の強さを左右し、その結果として膨化の程度、即ち比容積に影響すると推察できた。さらに言えば、Tpを調節することによって、ケーキ比容積が改善できることが判明した。
- 3) 糖の組み合わせによって、多様な物性と触感を持つケーキが得られた。糖アルコールを含むケーキは概して砕けやすく、凝集性が低くなったが、キシリトールは例外であった。還元糖と糖アルコールを混合した場合に、スクロースケーキ類似の物性を示すケーキが得られた。これらのケーキはスクロースと同程度に好まれたが、還元基による褐変反応で生じた風味が嗜好に影響していると考えられた。やわらかさや適度な甘さは、好ましいケーキの条件であることを確認すると共に、感覚的なやわらかさは、圧縮応力よりもケーキ比容積の大きさと関係することが分かった。

## 参考文献

- 1) 松井宣也：調理科学, 18, 203~222 (1985)
- 2) 和田淑子・太田真知子：家政誌, 27, 167~172 (1976)
- 3) 和田淑子：調理科学, 11, 88~98 (1978)
- 4) 津田淑江：調理科学, 19, 193~199 (1986)
- 5) 市川朝子・三ツ村由香里：家政誌, 47, 445~452 (1996)
- 6) 井川佳子・白土弘子：家政誌, 46, 1055~1062 (1995)
- 7) 市川朝子・佐々木市枝・佐々木由美子・中里トシ子：家政誌, 39, 829~828 (1988)
- 8) 白土弘子・井川佳子：教科教育学研究, 第9号, 17~26 (1994)
- 9) 水越正彦：New Food Industry, 30(6), 63~73 (1988)
- 10) 水越正彦：New Food Industry, 30(7), 51~57 (1988)
- 11) Pateras, I. M. C., Rosenthal, A. J., Howells, K. F. and Mrshall, V. M. M. :Rheology of Food, Pharmaceutical and Biological Materials with General Rheology., Edited by Carter, R. E. (Elsevier Applied Science), p.186 (1990)