

冷凍における菓子類の物性評価

東孝憲, 田中彰, 山木一史

Evaluation of physical properties of frozen confectionery

Takanori Azuma, Akira Tanaka, Kazufumi Yamaki

In this study, we investigated factors affecting the rheological properties of sponge cakes and roll cakes during frozen storage by the accelerated aging test repeated freeze-thawing and the prolonged frozen storage test. In the accelerated aging test, the plateau area calculated from the stress-strain curve was increased for the sponge cake, whereas decreased for the roll cake, as the number of times of freezing and thawing increased. It was considered that the frozen storage changed the sponge cakes to a rough internal structure and the roll cakes to a dense internal structure. In the prolonged freezing test, the plateau area of sponge cake did not increase, but the number of cross-sectional voids decreased during the frozen storage period. The plateau of the roll cake in the prolonged frozen storage test decreased with freezing, which was consistent with the results of the accelerated aging test.

These results showed that the plateau region corresponds to changes in the internal structure of frozen sponge cakes and roll cakes, which was considered that the measurement of the plateau region as a new quality evaluation method of frozen confectioner.

KEY-WORDS : frozen confectionary, physical properties, quality evaluation

キーワード : 冷凍, 菓子類, 物性評価, 品質評価

北海道の製菓産業は、豊富な原材料と豊かな自然に恵まれた観光資源を有する地域特性を活用して成長し続けている。しかし、今後人口減少による市場競争が激化することが予想されるため、需要拡大には輸出の拡大などの対応が急務となっている¹⁾。北海道が推進する輸出拡大戦略において菓子類は重要品目となっておりⁱⁱ⁾、輸出を考慮した場合には冷凍での流通が必須となる。冷凍流通には、冷凍解凍後も冷凍前に近い品質が維持されることが求められる。しかし、冷凍解凍の過程では氷結晶の生成や成長、再結晶化などによって内部構造に変化が生じるため、冷凍期間が長期に及ぶ場合、食感変化など品質劣化が問題となる。品質劣化は食品の種類によって

様々であり、現在までに冷凍における品質劣化の発生メカニズムやその対策に関する知見が数多く報告されている¹⁾。しかし菓子類では、製造方法および原材料配合の異なるスポンジケーキについて、冷凍貯蔵品と冷蔵貯蔵品の性状の違いを検討した報告があるものの²⁾、冷凍における品質劣化についてはほとんど取り組みがなく、基礎的知見が不足している。

そこで本研究では、スポンジケーキおよびロールケーキを対象として、冷凍解凍を繰り返す虐待試験および長期冷凍保存試験により、冷凍保存が菓子類の物性に及ぼす影響を把握するとともに、各種物性値と官能評価やその他測定値との関連性を明らかにすることにより、冷凍菓

事業名：経常研究

課題名：冷凍における生菓子の物性変化の把握と要因の解析

子類の品質評価に活用可能な物性評価方法の検討を行った。

実験方法

1. 試料の調製

(1) 生地配合

スポンジケーキおよびロールケーキの配合を表1に示した。すなわち、スポンジケーキの配合は、薄力粉100部に対し、全卵140部、上白糖120部、気泡性乳化油脂5部、ベーキングパウダー1部、植物油脂10部および水20部とし、ロールケーキの配合は、薄力粉100部に対し、全卵210部、上白糖120部、気泡性乳化油脂5部、ベーキングパウダー1部、植物油脂10部および水20部とした。

(2) 生地の調製

生地調製は、卓上ミキサー（KPL9000S、愛工舎製作所）を用いて、オールインミックス法により行った。すなわち、ミキサーボウルに上白糖および気泡性乳化油脂を入れ、均一になるまで混合した後、ホイッパーにより50rpmで2分間攪拌しつつ、裏ごしした全卵を加えた。さらにミキサーボウルに篩った薄力粉およびベーキングパウダーを加えた後、植物油脂および水を回し入れ、50rpmで1分間攪拌した後、適宜ゴムベラでかき落としを繰り返して、生地比重が 0.45 ± 0.02 となるよう、150rpmで8分間攪拌を行った。攪拌後、再度最低速で1分間攪拌したものを生地とした。

(3) 生地の焼成

スポンジケーキは、シリコン樹脂加工耐油紙を敷いた直径18cmのケーキ型に調製した生地350gを流し込み、オーブン（ES6-2-4、栄和製作所）で180℃、30分間焼成後、室温で放冷したものを試料とした。また、ロールケーキは、シリコン樹脂加工耐油紙を敷いた27cm角のロールケーキ型に調製した生地450gを流し込み、オーブンで180℃、15分間焼成し、室温で放冷後、片面に市販の調製済みホイップクリーム（ホイップ&ホイップ、明治）

140gを塗布した。通常、ロールケーキはこの状態から巻いて製造されるが、巻くことはロールケーキ生地の物性に影響を及ぼすことから、平板の状態の試料をロールケーキのモデルとして試験に供した調製した各種試料は、シリコン樹脂加工耐油紙で包装した後、ポリエチレン袋に入れた状態で冷凍保存試験に供した。

2. 冷凍保存試験

(1) 虐待試験

虐待試験は、調製したスポンジケーキおよびロールケーキを-25℃で約30時間冷凍した後、5℃で16時間かけて解凍する冷凍解凍処理を1～3回繰り返すことにより行った。

(2) 長期冷凍保存試験

長期冷凍保存試験は、調製したスポンジケーキおよびロールケーキを-25℃で冷凍し、最長14ヶ月間保存した。

3. 品質評価

品質評価には、冷凍保存後の試料を5℃で16時間かけて解凍したものを試験に用いた。

(1) 物性測定

物性測定は、クリープメータ（RE233005C、山電）を用いて、テクスチャープロファイル分析（TPA）および圧縮試験を行い、ロールケーキでは、破断試験を併せて実施した。スポンジケーキは、幅20mm×長さ20mm×高さ20mmで切り出したものを試験に供した。ロールケーキは、クリームを除去した後、クリームが塗布されていた面を下側として、TPAおよび圧縮試験には、各種試料を幅20mm×長さ20mm×高さ15mm、破断試験には、幅20mm×長さ40mm×高さ15mmで切り出したものを試験に供した。

TPAは、直径40mmの円板プランジャーを用いて、圧縮速度60mm/分、最大ひずみ率66.7%で行い、かたさと凝集性を算出した。

圧縮試験は、直径40mmの円板プランジャーを用いて、圧縮速度60mm/分、最大ひずみ率80.0%で行った。また、JIS H7902 ポーラス金属の圧縮試験³⁾を参考に、得られた応力-ひずみ曲線の20%から30%のひずみ範囲における応力について、最小二乗法による直線回帰を行い、回帰直線の傾きをプラトー領域の弾性係数、応力の標準誤差から推定した95%信頼区間内のひずみ範囲をプラトー領域のひずみ範囲として算出した。

破断試験は、1mm幅のくさび形プランジャーを用いて、圧縮速度60mm/分、最大ひずみ率80.0%で行い、破断応力を評価した。

(2) 画像解析

表1 スポンジケーキおよびロールケーキの材料とその配合

材料	配合 (部)	
	スポンジケーキ	ロールケーキ
全卵	140	210
上白糖	120	120
薄力粉	100	100
ベーキングパウダー	1	1
気泡性乳化油脂	5	5
植物性油脂	10	10
水	20	20

スポンジケーキの断面は、柴田らの方法⁴⁾を参考に画像解析を行い、気泡構造を定量化した。すなわち、スポンジケーキの断面をイメージスキャナ (EP804A, EPSON) にて解像度300dpiで撮像した。得られた画像より、一片20mmの正方形領域を選択し、画像処理ソフトImageJ (アメリカ国立衛生研究所) を用いて、otsu法で二値化し、空隙数および空隙率を計測した。

(3) 水分および水分活性測定

虐待試験のスポンジケーキおよび長期冷凍保存試験の各種試料の水分は、常圧加熱乾燥法⁵⁾ (105℃, 5時間) により測定した。水分活性は、水分活性測定装置 (LabMaster-aw, Novasina) を用いて測定した。

4. 官能評価

虐待試験における官能評価に用いたスポンジケーキおよびロールケーキは、冷凍解凍を1回および3回繰り返した試料を用いた。長期冷凍保存試験における官能評価に用いたスポンジケーキおよびロールケーキは、保存期間3カ月および14カ月冷凍保存した試料を用いた。パネルは20代から60代の男女食品加工研究センター職員とし、虐待試験はパネル10名、冷凍保存試験はパネル20名で実施した。評価項目は、歯切れ、歯ごたえ、崩れやすさ、しっとり感および口溶けとし、5点評点法の絶対評価で評点した。

5. 統計解析

すべての統計処理はRおよびRコマンドの機能を拡張した統計ソフトウェアであるEZRを使用した⁶⁾。

結果および考察

1. 虐待試験

虐待試験におけるスポンジケーキの各種物性値の推移を表2に示した。その結果、TPAにおけるかたさおよび凝集性は、冷凍解凍1回から3回まで変化せず、冷凍解凍による影響は認められなかった。一方、プラトー領域のひずみ範囲は、21.1%から24.8%に変化しており、冷凍解凍の繰り返しで拡大することが明らかとなった。スポンジケーキの水分、水分活性を表3に示した。水分活性は冷凍解凍による変化が認められなかったが、水分は32.0%から27.9%に減少しており、冷凍解凍により乾燥することが明らかとなった。また、スポンジケーキ断面の空隙数および空隙率の推移を比較した結果、冷凍解凍1回から3回までの測定値にはいずれも5%水準で有意な差が認められなかった (データ非掲載)。

次に、虐待試験におけるロールケーキ試料の各種物性値の推移を表4に示した。その結果、TPAにおけるか

たさは、冷凍解凍1回で 18.5×10^3 Pa、冷凍解凍2回および3回で各々 23.7×10^3 Paおよび 22.9×10^3 Paを示し、冷凍解凍2回目以後に高値を示した。一方、プラトー領域のひずみ範囲は、冷凍解凍1回で23.7%、冷凍解凍2回および3回で各々 14.5%および14.1%を示し、冷凍解凍2回目以後で縮小した。また、冷凍解凍1回、2回および3回における破断応力は、各々 24.3×10^4 Pa、 21.2×10^4 Paおよび 18.9×10^4 Paを示し、冷凍解凍回数の増加に伴って低下した。

虐待試験で実施した圧縮試験における応力-ひずみ曲線の代表的な波形を図1に示した。本波形は、低ひずみ領域ではほとんど応力変化のないプラトー領域、次いで急激に応力が増加する緻密化領域となる多孔質材料に特有の波形を示した。多孔質材料の圧縮特性において、プラトー領域が重要な因子となることから、プラトー領域の測定はポラス金属の特性評価に利用されており⁷⁾、パンやスポンジケーキ生地テクスチャー評価への活用も検討されている⁸⁾。また、プラトー領域は、気泡など内部の空隙が座屈し崩壊する現象を表しており、対象物の密度の影響を受けることが知られている⁹⁾。すなわち、プラトー領域のひずみ範囲は、対象物が低密度の場合に低値、高密度の場合には高値を示す。したがって、虐待

表2 虐待試験におけるスポンジケーキ試料の各種物性値の推移

冷凍解凍 (回)	TPA		圧縮試験	
	かたさ ($\times 10^3$ Pa)	凝集性 ($\times 10^{-1}$)	プラトー領域 の弾性係数 (Pa)	プラトー領域 のひずみ範囲 (%)
0	6.8 \pm 0.9	5.7 \pm 1.0	35.3 \pm 0.0	21.1 \pm 0.0 ^a
1	5.9 \pm 0.2	6.7 \pm 0.1	34.2 \pm 0.0	21.8 \pm 0.6 ^{ab}
2	6.0 \pm 0.8	3.8 \pm 1.3	34.4 \pm 0.0	25.6 \pm 0.1 ^c
3	5.6 \pm 0.2	6.9 \pm 0.0	34.2 \pm 0.0	24.8 \pm 0.1 ^{bc}

数値は平均値 \pm 標準誤差を示す。

同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

表3 虐待試験におけるスポンジケーキの水分および水分活性の推移

冷凍解凍 (回)	水分 (%)	水分活性
0	32.0 \pm 0.5 ^a	0.90 \pm 0.00
1	32.2 \pm 0.3 ^a	0.90 \pm 0.00
2	28.2 \pm 0.2 ^b	0.90 \pm 0.00
3	27.9 \pm 0.5 ^b	0.90 \pm 0.00

数値は平均値 \pm 標準誤差を示す。

同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

試験におけるスポンジケーキのプラトー領域のひずみ範囲の増加は、内部構造が粗となる変化が発生したことが推察された。冷凍解凍に伴い、スポンジケーキの水分が減少したことから、本内部構造変化は生地乾燥が一因と考えられた。また、虐待試験におけるロールケーキの破断応力が減少し、プラトー領域のひずみ範囲が縮小したことから、冷凍解凍によってクリーム成分がスポンジ生地や空隙に移行したことが推察された。すなわち、生地への成分移行により内部構造が脆弱化し、空隙への成分移行により、内部構造が密となったことが示唆された。

冷凍解凍がスポンジケーキおよびロールケーキの官能評価に及ぼす影響を表5に示した。冷凍解凍を3回繰り返したスポンジケーキのしっとり感の評点は、冷凍解凍1回の評価よりも5%水準で有意に低く、冷凍解凍によりしっとり感の評点が低下することが示された。本結果も物性評価と同様、乾燥による影響と考えられた。また、冷凍解凍を3回繰り返したロールケーキのしっとり感の評点は、スポンジケーキと同様に冷凍解凍1回よりも5%水準で有意に低いと評価された。冷凍解凍の繰り返しにより、スポンジ生地にはクリーム水分や脂質などの成分が移行したことが考えられる。水分や脂質含量は、スポンジケーキの官能評価に影響を及ぼすことが報告されており、これらが増加することにより、しっとり

感が増強されることが報告されている^{10), 11)}。本試験において、既報と異なる結果が得られた一因として、生地や空隙への成分移行により、内部構造の脆弱化や高密度化が過度に生じた可能性がある。そのため、官能評価において、しっとり感とは異なる食感と評価されたものと推察された。

2. 長期冷凍保存試験

長期冷凍保存試験におけるスポンジケーキ試料の各種物性値の推移を表6に示した。かたさ、凝集性および弾性係数は冷凍保存の期間と明確な関連性が認められず、虐待試験と同じ傾向を示した。また、プラトー領域のひずみ範囲は、保存期間中に有意差は認められなかったが、冷凍0ヶ月で20.4%、冷凍8ヶ月で21.7%を示し、長期冷凍保存により増加する傾向が認められた。

長期冷凍保存試験におけるスポンジケーキ試料の水分、水分活性、断面の空隙数および空隙率の推移を表7に示した。水分、水分活性および空隙率には、変化が認められなかったが、空隙数は減少する傾向が認められ、冷凍前の689.3個/400mm²から冷凍8ヶ月で623.0個/400mm²となった。したがって、長期冷凍保存によって、空隙が合一し、虐待試験同様に内部構造が粗となる変化が発生したことが示唆された。

長期冷凍保存試験におけるロールケーキの各種物性値の推移を表8に示した。その結果、TPAにおけるかた

表4 虐待試験におけるロールケーキの各種物性値の推移

冷凍解凍 (回)	TPA		破断試験	圧縮試験	
	最大応力 ($\times 10^3$ Pa)	凝集性 ($\times 10^{-1}$)	破断応力 ($\times 10^4$ Pa)	プラトー領域の 弾性係数 (Pa)	プラトー領域の ひずみ範囲 (%)
0	18.3 \pm 0.9 ^a	5.8 \pm 0.0	24.2 \pm 0.5 ^a	82.9 \pm 5.1	25.9 \pm 3.5 ^a
1	18.5 \pm 2.1 ^a	5.1 \pm 1.0	24.3 \pm 1.1 ^a	104.4 \pm 10.2	23.7 \pm 3.0 ^a
2	23.7 \pm 1.1 ^b	5.7 \pm 0.0	21.2 \pm 0.5 ^{ab}	102.4 \pm 4.9	14.5 \pm 0.7 ^b
3	22.9 \pm 0.8 ^{ab}	4.8 \pm 0.8	18.9 \pm 0.3 ^b	101.0 \pm 5.5	14.1 \pm 1.0 ^b

数値は平均値 \pm 標準誤差を示す。

同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

表5 虐待試験における各種生菓子の官能評価

生菓子	冷凍解凍 (回)	歯切れ	歯ごたえ	崩れやすさ	しっとり感	口溶け
スポンジケーキ	1	3.3 \pm 0.3	2.9 \pm 0.3	3.0 \pm 0.4	4.0 \pm 0.3	3.4 \pm 0.3
	3	3.1 \pm 0.3	3.3 \pm 0.3	2.7 \pm 0.3	2.8 \pm 0.4*	3.1 \pm 0.4
ロールケーキ	1	3.7 \pm 0.3	3.7 \pm 0.2	3.0 \pm 0.2	3.9 \pm 0.3	3.4 \pm 0.3
	3	3.1 \pm 0.4	3.2 \pm 0.2	3.1 \pm 0.3	3.1 \pm 0.2**	3.0 \pm 0.3

歯切れ:良い(5点)~悪い(1点), 歯ごたえ:ある(5点)~ない(1点), 崩れやすさ:崩れやすい(5点)~崩れにくい(1点), しっとり感:ある(5点)~ない(1点), 口溶け:良い(5点)~悪い(1点)とし、絶対評価で評点した。

数値は平均値 \pm 標準誤差を示す。

*は冷凍解凍回数1回に対し5%水準で有意差, **は1%水準で有意差があることを示す (Mann-WhitneyのU検定)。

さは、冷凍前の $12.7 \times 10^3 \text{Pa}$ から冷凍4ヶ月目には $21.9 \times 10^3 \text{Pa}$ となり、増加する傾向が認められた。一方、冷凍前および冷凍4ヶ月目の破断応力は、各々 $22.3 \times 10^3 \text{Pa}$ および $20.0 \times 10^3 \text{Pa}$ 、プラトー領域のひずみ範囲は、各々 26.3%および20.0%を示した。したがって、長期冷凍保存試験におけるTPAにおけるかたさ、破断応力およびプラトー領域のひずみ範囲の結果は、虐待試験の結果と傾向が一致した。また、長期冷凍保存したロールケーキ

は、破断応力が低下する傾向あり、生地の脆弱化が認められた。長期冷凍保存試験におけるロールケーキ試料の水分および水分活性の推移を表9に示した。その結果、保存に伴い漸増する傾向が認められ、クリーム層からスポンジ層へ水分移行することが明らかとなった。したがって、ロールケーキにおいては長期冷凍保存試験と虐待試験の傾向が一致し、生地が脆弱化し、内部構造が密となったことが示唆された。

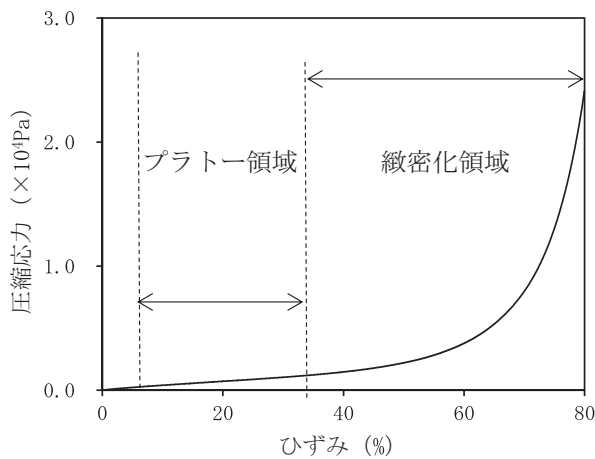


図1 圧縮試験における応力-ひずみ曲線

表6 長期冷凍保存試験におけるスポンジケーキ試料の各種物性値の推移

保存期間 (月)	TPA		圧縮試験	
	かたさ ($\times 10^3 \text{Pa}$)	凝集性 ($\times 10^{-1}$)	プラトー領域 の弾性係数 (Pa)	プラトー領域 のひずみ範囲 (%)
0	7.6 ± 0.6	6.6 ± 0.1^a	33.4 ± 1.7	20.4 ± 0.5
2	5.8 ± 0.2	7.0 ± 0.1^b	33.2 ± 2.5	21.4 ± 0.8
4	7.2 ± 0.4	7.0 ± 0.0^b	37.4 ± 2.2	20.5 ± 0.5
6	6.5 ± 0.4	6.8 ± 0.1^{ab}	30.8 ± 1.5	20.7 ± 0.8
8	6.8 ± 0.3	6.9 ± 0.1^b	32.0 ± 1.3	21.7 ± 0.7

数値は平均値±標準誤差を示す。
同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

長期冷凍保存試験における各種生菓子の官能評価を表10に示した。冷凍3ヶ月の短期保存品と冷凍14ヶ月の長期冷凍保存品を比較した結果、長期間の冷凍保存により、スポンジケーキはしっとり感および口溶けが低下し、ロールケーキは歯ごたえおよび崩れやすさが低下することが明らかとなった。スポンジケーキのしっとり感や口溶けの低下は、虐待試験と同様、内部構造が粗となる変化に起因すると考えられる。また、ロールケーキの歯ごたえおよび崩れやすさの低下は、長期冷凍保存による生地の脆弱化に起因すると考えられ、物性評価結果と一致した。

本研究で実施した虐待試験におけるプラトー領域の評価から、スポンジケーキは構造が粗となる変化、ロールケーキでは構造が密となることが示唆された。一方、虐

表7 長期冷凍保存におけるスポンジケーキ断面の空隙数および空隙率の推移

保存期間 (月)	水分 (%)	水分活性	空隙数	空隙率 (%)
0	31.3 ± 0.0	0.89 ± 0.01	689.3 ± 16.7^a	44.6 ± 0.4
2	31.4 ± 0.3	0.89 ± 0.00	644.5 ± 5.8^{ab}	45.1 ± 0.9
4	32.0 ± 0.3	0.90 ± 0.00	674.8 ± 40.1^{ab}	44.6 ± 0.4
6	32.4 ± 0.4	0.90 ± 0.00	601.8 ± 10.4^b	45.4 ± 1.0
8	32.3 ± 0.3	0.90 ± 0.01	623.0 ± 13.5^{ab}	44.0 ± 0.8

空隙数は400mmあたりの数を示す。
数値は平均値±標準誤差を示す。
同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

表8 長期冷凍保存試験におけるロールケーキ試料の各種物性値の推移

保存期間 (月)	TPA		破断試験 破断応力 ($\times 10^4 \text{Pa}$)	圧縮試験	
	最大応力 ($\times 10^3 \text{Pa}$)	凝集性 ($\times 10^{-1}$)		プラトー領域の 弾性係数 (Pa)	プラトー領域の ひずみ範囲 (%)
0	12.7 ± 1.5^a	0.6 ± 0.0	22.3 ± 0.3^a	74.7 ± 2.5^a	26.3 ± 2.0^a
2	15.8 ± 0.5^a	0.6 ± 0.0	21.2 ± 0.1^{ab}	81.4 ± 7.6^a	19.1 ± 2.2^b
4	21.9 ± 0.8^b	0.6 ± 0.0	20.0 ± 0.6^{bc}	113.8 ± 1.8^b	20.0 ± 1.6^{ab}
6	21.0 ± 0.8^b	0.5 ± 0.0	19.5 ± 0.3^c	107.3 ± 2.5^b	14.1 ± 1.1^b
8	22.6 ± 1.1^b	0.6 ± 0.0	18.5 ± 0.4^c	117.1 ± 6.9^b	15.8 ± 1.0^b

数値は平均値±標準誤差を示す。
同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

待試験は冷凍解凍の繰り返しにより、品質劣化を加速する試験であり、長期冷凍保存で劣化する品質とは異なる傾向を示す可能性がある。当該評価方法を踏まえて、長期冷凍保存試験を実施した結果、スポンジケーキでは、保存中にプラトー領域のひずみ範囲の増加に有意な差は認められなかったものの、断面の空隙数の減少が認められ、冷凍保存中に空隙の合一が進行したことが示唆された。すなわち、長期冷凍保存においてもスポンジケーキは構造が粗となる変化が起こったことが示唆され、本変化は、虐待試験結果と一致した。また、ロールケーキの長期冷凍保存試験の結果、長期冷凍によりプラトー領域のひずみ範囲の縮小が認められたことから、虐待試験と同様に構造が密となる変化があったものと推察された。したがって、虐待試験は、長期冷凍保存試験と類似した傾向を示し、品質劣化指標の探索には有用な方法であることが示唆された。

一方、スポンジケーキの長期冷凍保存試験において、プラトー領域のひずみ範囲の増加に有意差が認められなかったことは、虐待試験よりも長期冷凍保存試験による品質劣化が小さいことに起因することが示唆され、虐待条件については、長期冷凍保存結果を踏まえて検討する必要があると考えられた。

以上から、スポンジケーキおよびロールケーキの冷凍

における物性変化は、いずれも生地の変質変化に起因しており、プラトー領域の測定は冷凍菓子類の品質評価方法として有用であることが明らかとなった。

要約

スポンジケーキおよびロールケーキの冷凍における劣化要因を虐待試験および長期冷凍試験により評価し、その品質指標を検討した。その結果、冷凍によってスポンジケーキの内部構造は粗、ロールケーキの内部構造は密となることが明らかとなり、いずれの生菓子においても冷凍による物性変化の要因は生地の変質変化に起因することが示唆された。また、応力-ひずみ曲線におけるプラトー領域のひずみ範囲は、スポンジケーキの虐待試験において増加する傾向が認められた一方、ロールケーキの虐待試験および長期保存試験では減少する傾向が認められたことから、プラトー領域の解析は、生菓子の冷凍における品質評価方法として有用であることを明らかにした。

文献

- 1) 安藤泰雅, 根井大介, 河野晋治, 鍋谷浩志 (2017). 食品の冷凍および解凍に関する技術開発の現状と今後の課題. 日本食品科学工学会誌, 64, 391-428
- 2) 市川朝子, 佐々木市枝, 佐々木由美子, 中里トシ子 (1988). 冷凍貯蔵におけるスポンジケーキの性状変化. 日本家政学会誌, 39, 829-837
- 3) 日本規格協会: ポーラス金属の圧縮試験方法, JIS H7902 (2016).
- 4) 柴田真理朗, 杉山純一, 蔦瑞樹, 藤田かおり, 杉山武裕, 粉川美踏, 荒木徹也, 鍋谷浩志, 相良泰行 (2010). イメージスキャナを用いたパン気泡構造の計測手法の開発. 日本食品科学工学会, 57, 243-250.
- 5) 厚生労働省監修 (2005). 「食品衛生検査指針 理化

表9 長期冷凍試験におけるロールケーキの水分および水分活性の推移

保存期間 (月)	水分 (%)	水分活性
0	35.6±0.1 ^a	0.92±0.00 ^a
2	36.9±0.4 ^{ab}	0.92±0.00 ^b
4	37.7±0.5 ^{bc}	0.94±0.00 ^c
6	38.4±0.5 ^c	0.93±0.00 ^d
8	38.3±0.1 ^c	0.93±0.00 ^d

数値は平均値±標準誤差を示す。
同一項目で異なるアルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukey法)。

表10 長期冷凍保存試験における各種生菓子の官能評価

生菓子	保存期間 (月)	歯切れ	歯ごたえ	崩れやすさ	しっとり感	口溶け
スポンジケーキ	3	3.9±0.2	3.1±0.2	3.3±0.2	4.0±0.2	3.5±0.2
	14	3.4±0.2	3.2±0.2	3.0±0.2	2.6±0.2**	2.6±0.2*
ロールケーキ	3	3.3±0.2	3.2±0.2	2.9±0.2	3.6±0.2	3.0±0.2
	14	3.6±0.2	2.6±0.2*	3.5±0.2*	3.7±0.9	3.3±0.9

歯切れ: 良い (5点) ~ 悪い (1点), 歯ごたえ: ある (5点) ~ ない (1点), 崩れやすさ: 崩れやすい (5点) ~ 崩れにくい (1点), しっとり感: ある (5点) ~ ない (1点), 口溶け: 良い (5点) ~ 悪い (1点) とし, 絶対評価で評点した。
数値は平均値±標準誤差を示す。

* は冷凍解凍回数1回に対し5%水準で有意差, ** は1%水準で有意差があることを示す (Mann-WhitneyのU検定)。

- 学編」初版，社団法人日本食品衛生協会，東京。
- 6) Kanda Y. (2013). Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics, *Bone Marrow Transplant.*, 48, 452-458.
- 7) 馬渕守，山田康雄，文翠娥 (2002). 金属セル構造体の圧縮変形特性. 鑄造工学, 74, 822-827
- 8) 西津貴久 (2014). 小麦粉製品の内部構造と食感の評価. 化学と生物, 52, 671-679
- 9) Gibson L. J. and Ashby M. F (1987). 「セル構造体」, 大塚正久訳, 内田老鶴圃, 東京.
- 10) 市川朝子，菊嶋和菜，下村道子 (2007). かぼちゃの添加がスポンジケーキの食味と物性に及ぼす影響. 日本調理科学会誌, 40, 80-89
- 11) 渡辺祐子，柳沢幸江，寺元芳子 (1986). バターケーキの保存性に及ぼすバター量の影響. 家政学会誌, 37, 101-106

引用URL

- i) https://www.dbj.jp/upload/docs/hokkaido1403_01.pdf (2023. 7.24)
- ii) <https://www.maff.go.jp/hokkaido/suisin/keiei/shokusan/yusyutsu/attach/pdf/top-13.pdf> (2023. 7. 24)