

凍結処理はパンの おいしさを損なわない？

農学部 応用生物化学科
食品機能学研究室 190562005
出光未和

目次

1 緒言	3
2 実験材料・方法	4
2.1 アンケート	4
2.2 官能検査	4
2.3 物性測定	5
2.4 評価	5
2.5 水分測定	6
2.6 SEM	6
2.7 統計処理	6
3 結果	7
3.1 アンケート	7
3.2 官能検査	7
3.3 物性測定	7
3.4 評価	9
3.5 水分測定	13
3.6 SEM	13
4 考察	13
4.1 官能検査と物性測定の関係について	13
4.2 美味しい食パンにかかせない要素の関わり合いについて	14
4.3 保存法の違いにより生まれる食感等の違いを生み出す要因について	15
5 要約	16
6 終わりに	16
7 謝辞	17
8 参考文献	17

1 緒言

¹共働き世代の増加、女性の社会進出、単身世帯の増加、食の簡便化などの現代のライフスタイルに合わせて食の外部化が進み、冷凍食品の需要は高まりを見せている。²一般社団法人日本冷凍食品協会によると、令和3年における国民一人当たりの冷凍食品消費量は、23.1 kg であり、前年と比べ0.6 kg増加している。10年前の平成23年と比較すると3.0 kg増加しており、この10年間で約15%も増加したことが分かる。これらの消費量の増加は、消費者の冷凍食品に対する「手抜き」や「体によくなさそう」といった意識が変化してきたことや、メーカー、流通サイドともに今が拡大の好機とみて高価格商品への取り組みを一段と強化し、冷凍食品の高品質化が進んだことが大きいうえに、人手不足が問題の外食産業においても業務用冷凍食品への需要が拡大したことが要因といえる。

また、コロナ禍に伴い、買い置きのできる冷凍食品の購入は人気が高まり、お弁当用としての利用だけでなく、朝食や昼食、夕食として冷凍食品を利用する人が増加している。毎日の食生活に主食にもおかずにもできる冷凍食品を取り入れることで、調理の手間が省け、現代の消費者のニーズに合致し、さらなる消費量拡大につながったと考えられる。また、同法人による³「冷凍食品の利用状況」実態調査により、コロナ禍を機に冷凍食品を利用し始めた人は冷凍食品利用者の1割程度存在している。

そのような背景がある中で²国内生産量上位20品目をみると、チャーハンやパスタ、うどんなどの主食が、常にトップ10にランクインしている一方で、主食の1つであるパンは焼成パン・パン生地を合わせても20位前後を推移している。数量でみても米類の6分の1程度で、麺類と比較すると10分の1以下しか生産されていない。これは、冷凍パンがあまり家庭用に向けて販売されておらず、ほとんど業務用としての利用しかなされてこなかったためであると考えられる。そのため、一般の人に冷凍パンのおいしさはあまり周知されていない。通常、食品を冷凍すると聞くとおいしさや栄養の面でマイナスのイメージを持たれがちであるが、この冷凍パンに関しては、⁴焼き立てを急速冷凍することで生まれるメリットが数多く存在する。

ここで、パンとは何かについて解説すると、パンの主となる原料は小麦であり、この小麦には大量のデンプンが含まれる他、^{5,6}6~15%のタンパク質が含まれ、そのうち約80%はグルテニン、グリアジンである。⁷そして、パンを捏ねる過程において、この2種類のタンパク同士がからみあってグルテンという弾力性に富んだ網目状のネットワークを形成し、小麦デンプン粒や抱き込まれた気泡を巻き込んでグルテン骨格となる。⁵このグルテンを含む生地中でイーストが働いて発酵が進むことで、炭酸ガスが小さな気泡となり細かいすだちを形成する。最後に、焼成する過程においてタンパクの変性、デンプンの糊化、ガスの膨張・放出がおこり、外皮はパリパリとしており、内相は柔らかいという特徴を持ったボリュームあるパンが形成される。そのため、パンのおいしさの最大要因はフレッシュネスにあるともいわれており、我々の口にするスーパー・マーケットなどで販売されるパンは日配品という毎日出荷される食品に分類される。そんなパンを冷凍することにより得られるメリットの例としては、保存料不使用が可能になる、⁸デンプンの老化防止による食感の向上が見込める、⁹リバイクした際に焼き立てを味わえるといったものがあげられる。また、⁴冷凍状態で保存されるため、賞味期限を大幅に延長することができ、食品ロスの削減につながるとされているほか、パンを製造する側にも労働環境改善などのメリットがあげられる。しかし、現在冷凍パン生地に関する研究は進んでいるものの、焼成後に冷凍したパンに関する研究はあまり進んでおらず、冷凍条件や生地内に含まれる原料の違いによる物性の比較などはほとんど行われていないのが現状である。

そこで、本研究では冷凍保存したパンと常温保存したパンの比較を行い、冷凍保存

することでおいしさに影響があるのかを調査した。また、2群を判別・比較することでおいしさを決めるうえで重要とされる項目を検証し、パン自体にどのような現象が起きているのかを明らかとすることを目的とした。

2 実験材料・方法

2.1 アンケート

2022年4月にSNSを利用して10代～50代の男女62人にGoogleフォームによるパンのおいしさの要因や食パンの食べ方等のアンケートを実施した。質問項目は以下のとおりである。

表1 アンケート項目

アンケート項目（すべて選択式）	
1.年齢	
2.性別	
3.パンが好き/おいしいと思うか	
4.なぜ好き/おいしいと思うか	
5.パンを購入する際に重視するポイント	
6.食パンの食べ方	
7.食パンを食べた時に好ましい味	
8.7のうち1番好ましい味	
9.食パンを食べた時に好ましい食感	
10.9のうち1番好ましい食感	
11.食パンを食べたとき人好ましい香り	
12.11のうち1番好ましい香り	

2.2 官能検査

・サンプル

[商品名] パンのトラ “高級食パン”

[原材料名] 小麦粉（国製造）、生クリーム、砂糖、AOP認定フランス産バター、塩、はちみつ、イースト、モルト

[賞味期限] 常温で3日間

この食パンを厚さが2cm程度になるようにスライスして、スライスしたものを4等分し、官能検査用サンプルとした。（食パン1本の両耳を切り落とし、15枚にスライスしたものを使用した。）なお、トーストするものに関しては焼いたのちにカットして官能検査に使用した。

・対象

名城大学 農学部 応用生物化学科所属 20代～50代の男女に行った。

・実施日

官能検査① 2022年11月29日（火） 「そのまま」の状態で実施

官能検査② 2022年12月6日（火） 「トースト」の状態で実施

・官能検査項目

[そのまま] 総合評価、硬さ、水分量、食感、小麦の味、甘さ

[トースト] 総合評価、硬さ、食感、小麦の味、甘さ、香り

・解凍条件

官能検査実施日の前日夕方から一晩かけて常温解凍した。¹⁰なお、現在業務用に販売されている冷凍パンは自然解凍して食べる物が多く存在している。

なお、本実験では冷凍食パンは焼き立て後すぐに急速冷凍した食パンのことを指す。

・焼成条件

日立オープントースター 型式 HT0-C1A 消費電力 1000W サーモスタッドを用いて、予熱 30 秒、メッシュ皿にのせて約 1 分 30 秒、裏返して約 1 分加熱した。

2.3 物性測定

・測定機械

YAMADEN RHEONER II シリーズ クリープメーター (RE2-33005C, -3305C)

・測定器具及び条件

破断強度測定…線形領域・非線形領域の決定のために測定した。

直径 5 mm プランジャー使用し、測定歪率 99% で行った。

テクスチャーメーター…口腔内での食感を数値化するために測定し、構造強度を含む総合的な評価を行った。直径 5 mm プランジャー使用した。測定条件は以下の通りである。

表 2 テクスチャーメーター測定条件

測定日	測定歪率
2022 年 11 月 29 日 (火)	30%、80%
2022 年 12 月 6 日 (火)	20%、70%

・解析

クリープメーター自動解析装置ソフトウェアを用いて、テクスチャーメーター解析 Windows、破断強度解析 Windows で解析した。また、以下の表 2 のように評価項目を設定した。

表 3 測定項目/評価項目

[テクスチャーメーター]
硬さ [N] : やわらかさ
もろさ [N] : しつとり感
ガム性 [N] : もっちり感
A2 エネルギー [J/m^3] : さっくり感

2.4 評価

¹¹統計処理ソフト R を用いて、因子分析、OPLS-DA、PCA を行った。

OPLS-DA は目的変数を用いた解析であるのに対して PCA は説明変数のみでの解析となる。そのため、PCA はデータ間の違いを際立たせる効果がある。以下に、それぞれの結果のグラフの¹²説明を記す。

表 4 OPLS-DA グラフ語句

項目

Model overview	予測軸(P1)及び、予測軸に対する直交軸(0 _x)の数、及びその R ₂ Y と Q ₂ Y への寄与率を表す。
pR ₂ Y, pQ ₂ Y	回帰モデルの有意性を表す。
Observation diagnostics	直交距離 Orthogonal distance(OD) と スコア距離 Score distance(SD) で要素の散らばりを表す。
Score (OPLS-DA)	予測軸と直交軸に対する要素の散らばりを表す。 横軸は主成分に対する散らばりのため、群分けのための数値軸であり、縦軸は同群内でのデータのちらばりを表す。 なお、R ₂ X は説明変数の差異の説明率、R ₂ Y は目的変数の差異の説明率、Q ₂ Y は交差検定の結果による予測能、RMSEE は二乗平均平方根誤差を表す。

表 5 PCA グラフ語句

項目	
Explained variance	データの違いをはつきりさせるために必要な主成分の数および、各成分の寄与率を表す。
Observation diagnostics	直交距離 Orthogonal distance(OD) と スコア距離 Score distance(SD) で要素の散らばりを表す。
Score (PCA)	主成分 1(t1) と 主成分 2(t2) に対する要素の散らばりを表す。なお、R ₂ X は説明変数の差異の説明率を表す。
Loadings	説明変数の主成分に対する寄与率説明変数の主成分に対する負荷量を表す。ある 1 つの主成分に対する全説明変数 Loading 値の 2 乗和は 1 となる。

2.5 水分測定

焼成前後ではかりを使って重さをはかり取り、その差を水分減少量とした。

2.6 SEM

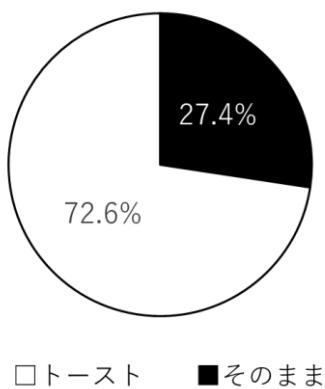
JSM-IT100 InTouchScopeTM 走査電子顕微鏡を用いてそのままの状態の常温保存食パン、及び冷凍保存食パンをイオンスパッタリングし、500 倍の倍率で高真空モードにて観察した。なお、サンプルは厚さが約 3mm、大きさが約 1cm×1cm の正方形にカットしたものを使用した。なお、常温保存食パンは加速電圧 1.0kV、冷凍保存食パンは加速電圧 15.0kV で観察した。

2.7 統計処理

統計ソフトは官能検査のアンケート項目に関しては、EZR の Fisher の正確検定、物性測定に関しては StatView-J 5.0 の t 検定を使用し、有意水準は 5% として解析した。また、因子分析、OPLS-DA、PCA は R を用いて検定を行った。

3 結果

3.1 アンケート



(Fisherの正確検定 $p<0.01$ n=62)

図 1 食パンの食べ方

食パンを「どのように食べることが多いか」というアンケートをとったところ、72%の人がトーストして食べることが多いと回答した（図1）。また、食パンに求めるおいしさの条件について尋ねたところ、食感に関しては、そのままの状態で「ふわふわ感」、「しっとり感」、「もちもち感」が求められ、トーストした状態で「カリカリ感」、「サクサク感」、「もっちり感」が求められることが分かった（表7）。味に関しては「甘さ」や「小麦感」が求められることが分かった（表8）。

表 6 好ましい食感

	ふわふわ	ふかふか	しっとり	もちもち	もっちり	柔らかい	カリカリ	サクサク	パリパリ	こだわりなし
人数 (人)	15	3	3	10	16	2	3	8	1	1

表 7 好ましい味

	甘さ	旨さ	香ばしさ	小麦感	ミルク感	バター感
人数(人)	19	6	2	20	6	9

3.2 官能検査

3.3 物性測定

官能検査①

官能検査①の結果より、食パンをそのまま吃るとき、常温で保存した食パンの方がおいしいと感じた人が有意に多かった（図2）。また、官能検査時のアンケートより常温保存食パンでは、**「やわらかい」、*「しっとり」、「もっちり」、「甘さ」、「小麦感」を感じた人が有意に多かった。（Fisherの正確検定 $p<0.05$ n=42）

同時に実行した物性測定の結果から、以下の図4~9に示す、「硬さ」、「ガム性」、「もろさ」の項目において弾性歪み領域である線形領域と弾性限度を超える非線形領域でグラフの挙動が逆転していることが分かった。「硬さ」においては、線形領域内では冷凍保存した食パンの方が有意に硬く、非線形領域では常温保存した食パンの方が有意に硬くなかった（図4,5）。「ガム性」、「もろさ」においても、線形領域内では冷凍保存した食パンの方が有意に高値をとり、非線形領域内では常温保存した食パンの方が有意に高値をとった（図4~9）。なお、「もろさ」においては、値が大きいほどプランジャーが食パン表面に刺さる際に表面の張力で耐えることができ

ているため、値が大きいほうがしっとりしていると評価する。

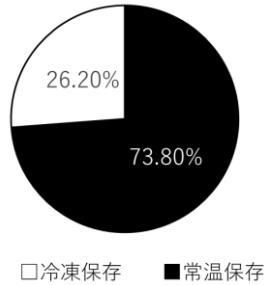


図 2 官能検査①
(Fisherの正確検定 $p<0.01$ $n=42$)

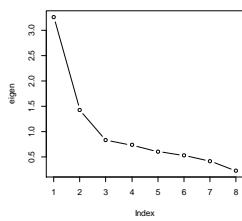


図 3 因子分析
スクリープロット

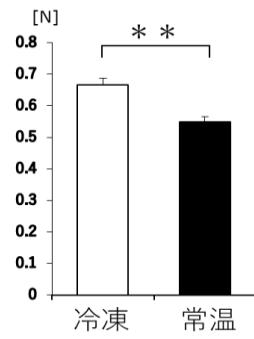


図 4 硬さの比較
(線形領域)
(t-test $p<0.01$ $n=25\sim29$)

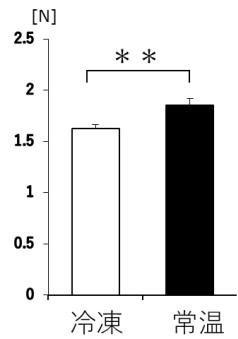


図 5 硬さの比較
(非線形領域)
(t-test $p<0.01$ $n=21\sim22$)

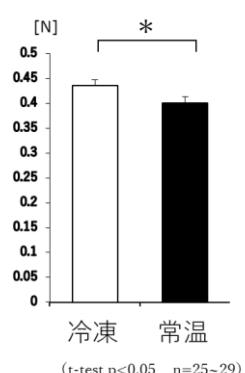


図 6 ガム性の比較
(線形領域)
(t-test $p<0.05$ $n=25\sim29$)

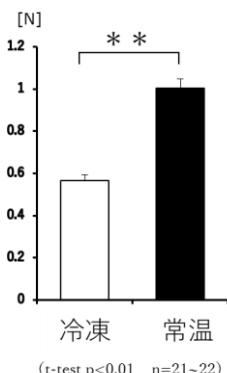


図 7 ガム性の比較
(非線形領域)
(t-test $p<0.01$ $n=21\sim22$)

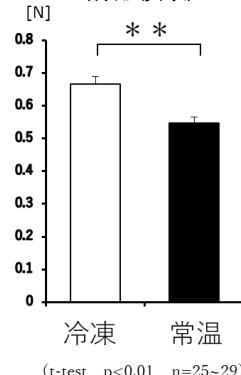


図 8 もろさの比較
(線形領域)
(t-test $p<0.01$ $n=25\sim29$)

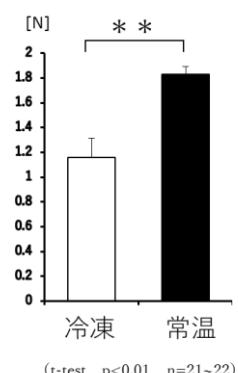


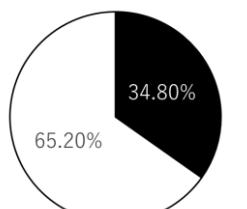
図 9 もろさの比較
(非線形領域)
(t-test $p<0.01$ $n=21\sim22$)

官能検査②

官能検査②の結果より、食パンをトーストして食べるとき、冷凍保存した食パンの方がおいしいと感じた人が有意に多かった（図 9）。また、官能検査時に行ったアンケートの結果より、冷凍保存食パンでは、「もっちり」、「甘さ」、「香り」を感じた人が有意に多かった。また、常温食パンでは「さっくり」を感じた人が有意に多かった。（Fisher の正確検定 $p<0.05$ $n=46$ ）

同時に行った物性測定の結果から、線形領域内のガム性、A2 エネルギーで有意な差が見られた。また、傾向として官能検査①時と同様に線形領域と非線形領域でグラフの挙動は逆転していた（図 11, 12, 13, 14）。

なお、「A2 エネルギー」は口腔内で 2 回目に咀嚼する時に必要なエネルギーを想定しているため、一度目でしっかりと破断され、二度目には口腔内での付着が少ないという状況で A2 エネルギーは小さくなるため、小さいほうがさっくりとしていると評価する。



□冷凍保存 ■常温保存
(Fisherの正確検定 N.S(p=0.0541) n=46)

図 10 官能検査②

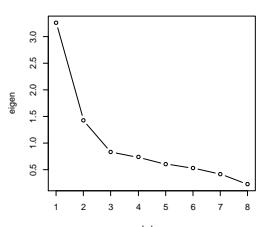


図 11 因子分析
スクリープロット

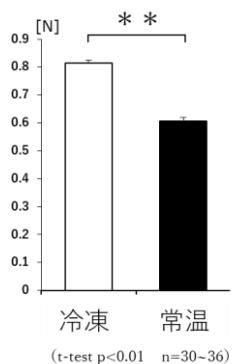


図 12 ガム性の比較
(線形領域)

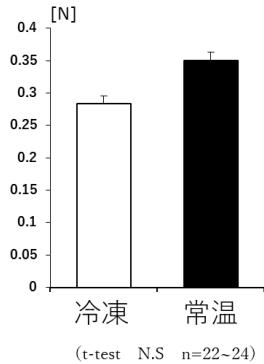


図 13 ガム性の比較
(非線形領域)

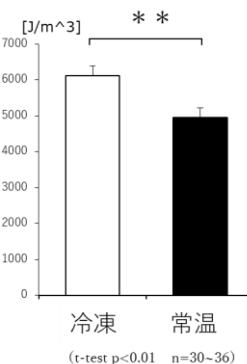


図 14 A2 エネルギー
の比較(線形領域)

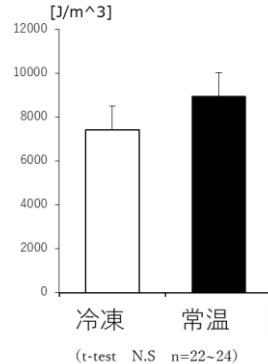


図 15 A2 エネルギー
の比較(非線形領域)

3.4評価

テクスチャーテスト

官能検査①時の物性について

線形領域内、非線形領域内とともに OPLS-DA、PCA で群別可能であった。

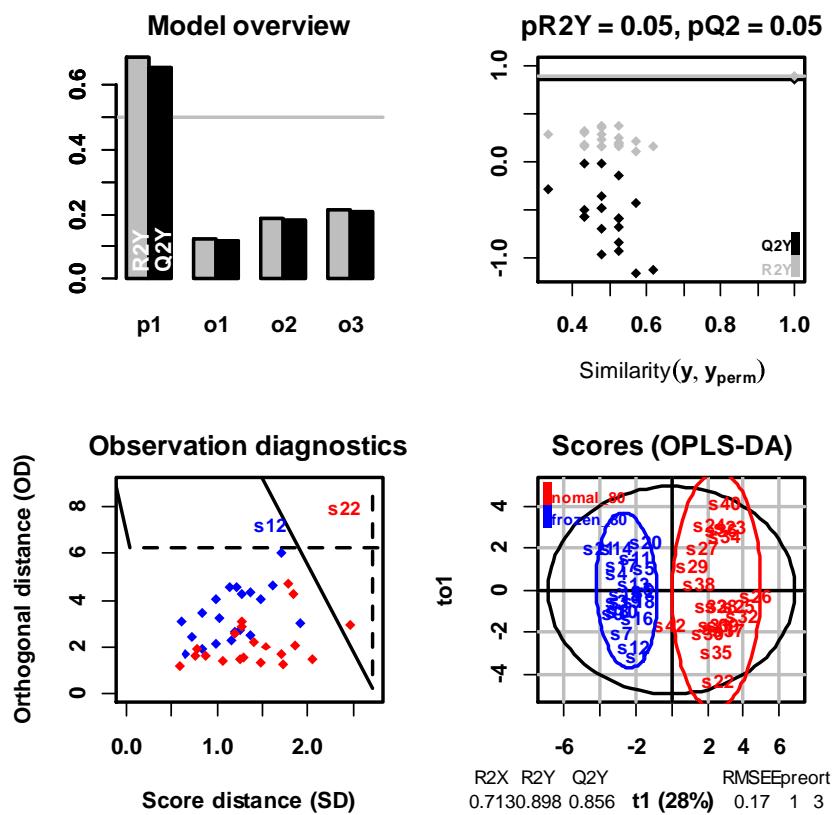


図 16 官能検査①時の物性測定データによる OPLS-DA(非線形領域)

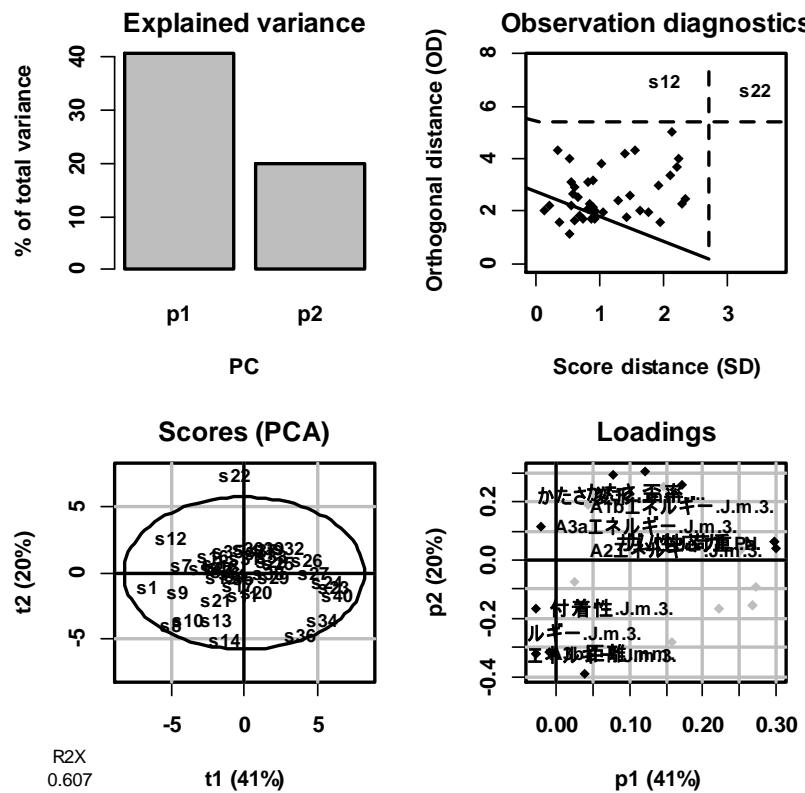


図 17 官能検査①時の物性データによる PCA(非線形領域)

官能検査②時の物性について

線形領域内、非線形領域内とともに OPLS-DA、PCA で群別可能であった。

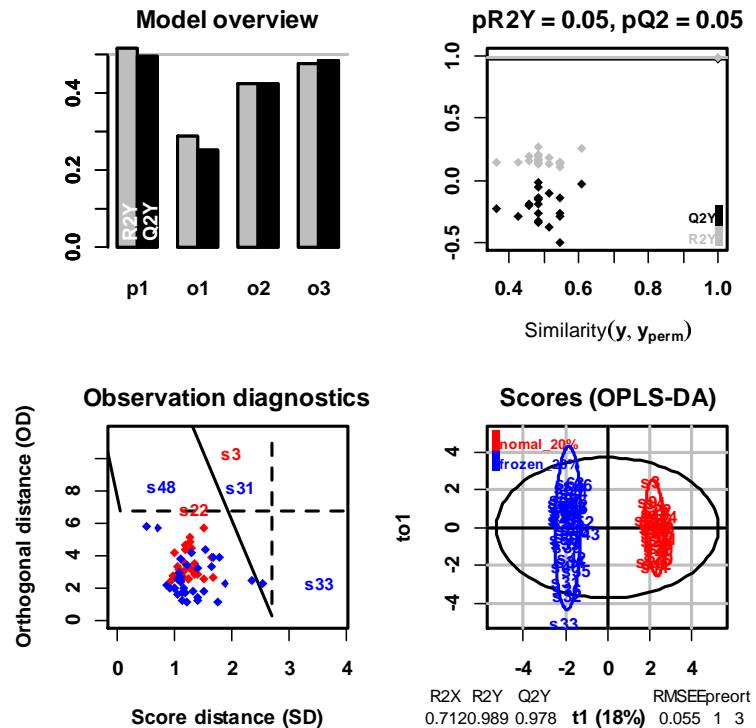


図 18 官能検査②時の物性測定データによる OPLS-DA(線形領域)

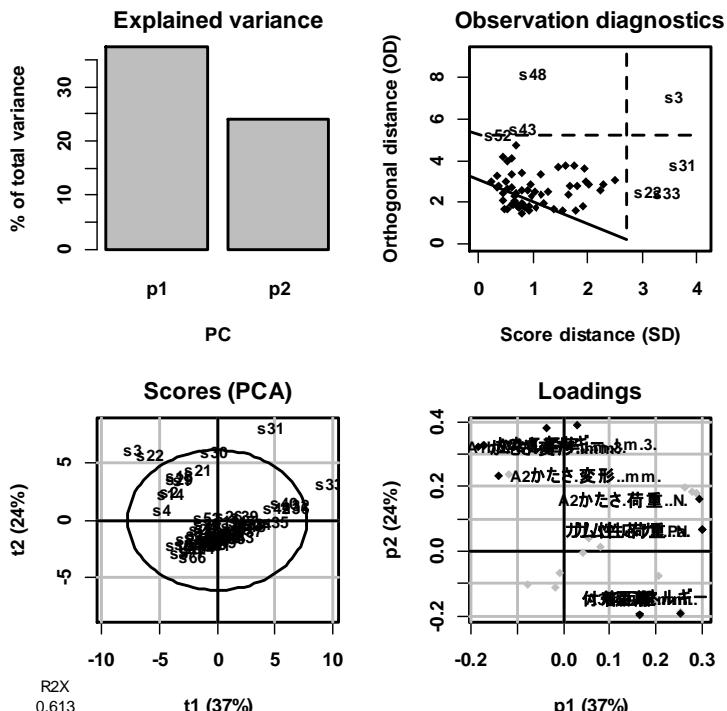


図 19 官能検査②時の物性測定データによる PCA(線形領域)

VIP 値について

OPLS-DA により算出した VIP 値をそれぞれの群で値が大きい順に記載した。

四角で囲ってある範囲は VIP 値が 1.0 以上だったつものを表しており、生状態（そのまま）におけるテクスチャーテストの圧縮歪率 30% の時 10 個、80% の時 12 個、トースト状態における同測定の圧縮歪率が 20% の時 14 個、70% の時 12 個という結果になった。また、濃い灰色で示してある説明項目は A2、網かけしてある説明項目は A3、薄い灰色で示してある説明項目は A1 と A2 に関与する。

なお、テクスチャーテストにおいて一つ目の山の波形に関する説明変数を A1、二つ目の山の波形に関する説明変数を A2、一つ目の山の跡にできる谷の波形に関する説明変数を A3 とする（図 20）。

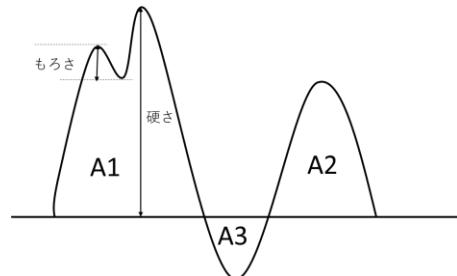
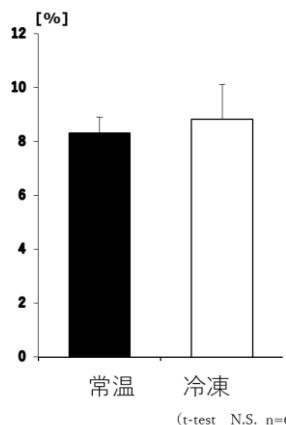


図 20 テクスチャーテストにおける波形説明

表 8 OPLS-DA データの VIP 値

生状態		焼成状態	
圧縮歪率	80%	圧縮歪率	20%
A1エネルギー.J.m.3.	1.384141	A2bエネルギー.J.m.3.	1.30373
A1aエネルギー.J.m.3.	1.380817	A1エネルギー.J.m.3.	1.262124
かたさ.応力.Pa.	1.301255	A1bエネルギー.J.m.3.	1.231311
最大荷重.N.	1.301255	かたさ.応力.Pa.	1.225597
かたさ.荷重.N.	1.301255	かたさ.荷重.N.	1.225597
A2かたさ.荷重.N.	1.276458	A2エネルギー.J.m.3.	1.190685
A2かたさ.応力.Pa.	1.276458	かたさ.歪率....	1.187566
A3b距離.m.m.	1.246389	A2かたさ.応力.Pa.	1.151022
A3bエネルギー.J.m.3.	1.225107	A2かたさ.荷重.N.	1.151022
かたさ.変形.m.m.	1.125315	かたさ.変形.m.m.	1.14206
かたさ.歪率....	1.042576	A1aエネルギー.J.m.3.	1.109531
A3aエネルギー.J.m.3.	1.012244	ガム性.応力.Pa.	1.063292
A2aエネルギー.J.m.3.	0.915926	ガム性.荷重.N.	1.063292
付着性.J.m.3.	0.865416	A2aエネルギー.J.m.3.	1.040645
もろさ.荷重.N.	0.811142	A2かたさ.歪率....	0.894309
A3a距離.m.m.	0.799679	A2かたさ.変形.m.m.	0.863256
A2bエネルギー.J.m.3.	0.771807	A3a距離.m.m.	0.837095
A2エネルギー.J.m.3.	0.729108	付着距離.m.m.	0.83564
ガム性.荷重.N.	0.728742	付着性.J.m.3.	0.789934
ガム性.応力.Pa.	0.728742	A3b距離.m.m.	0.785416
A1bエネルギー.J.m.3.	0.656037	凝集性	0.770014
A2かたさ.変形.m.m.	0.517881	A3aエネルギー.J.m.3.	0.744438
凝集性	0.508223	もろさ.荷重.N.	0.504871
A2かたさ.歪率....	0.498634	最大荷重.N.	0.49285
付着距離.m.m.	0.35563	A3bエネルギー.J.m.3.	2.46E-15

3.5 水分測定



常温保存したものと急速冷凍保存したもので、トーストした際に蒸発する水分率に顕著な差は見られなかった。

図 21 水分蒸発率の比較

3.6 SEM

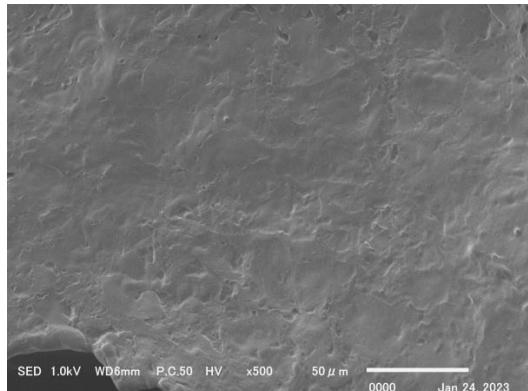


図 22 常温保存食パン

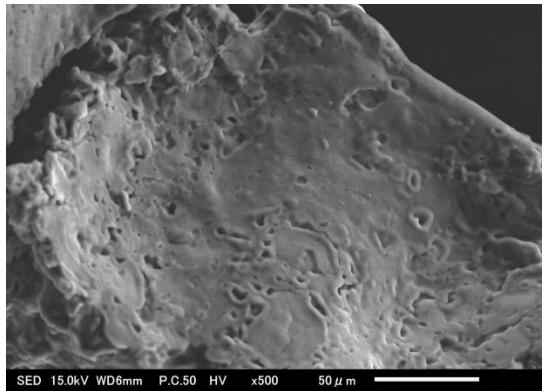


図 23 冷凍保存食パン

図 21 より常温保存した食パンの表面は滑らかであるのに対して、図 22 に表されている冷凍保存した食パンは表面に穴のようなものが観察された。

4 考察

本研究は、凍結処理がパンのおいしさに変化をもたらすかを明らかにすることを目的とした。そこで、凍結処理をして冷凍保存した食パンと常温で保存した食パンとの比較を行った。その結果、そのままで食べる場合は常温保存、トーストして食べる場合には冷凍保存した食パンの方がおいしいという傾向が見られた。

以下に 3 つの項目について考察を述べる。

1. 官能検査と物性測定の関係について
2. 美味しい食パンにかかせない要素の関わり合いについて
3. 保存法の違いにより生まれる食感等の違いを生み出す要因について

4.1 官能検査と物性測定の関係について

第一に、官能検査①からそのまま食べる際は常温の方がおいしいという結果であり、常温で保存した食パンの方が、「やわらかい」「しっとり」「もっちり」といった食感が感じられ、「甘さ」「小麦感」といった味も強く感じられるといった結果であった。これらの項目に関して因子分析を行ったところ、図 3 より⁸推移がなだらかになる前、か

つ固有値が 1 以上である因子の数は 2 つであり、これらの因子における各項目の因子負荷量は因子 1 では「もっちり」「おいしさ」の項目の値が高く、因子 2 では「甘さ」の値が高かった。また、これらの項目で相関行列を求めたところ、因子分析の結果と同様にもっちり感の項目においておいしさと正の相関がみられることが分かった。これらの結果から、おいしさを決める要因としてもっちり感が重要であることが示唆された。また、物性測定より、官能検査の結果と一致している項目は線形領域内で「やわらかさ」を示す硬さ(N)、非線形領域内で「しっとり」を示すもろさ(N)、「もっちり」を示すガム性(N)である。ここから、我々がそのままの状態の食パンを食べた時に感じている「やわらかさ」は食べ物が歯に当たった瞬間のことをさし、「しっとり」「もっちり」は歯が食べ物内に刺さった時に感じ取っていると考えられる。そのため、食パンをそのままの状態で食べる際は、食べ物を噛んだ瞬間から歯でしっかりと咀嚼するまでの一連の動作でおいしさを感じていることが示唆された。

第二に、官能検査②からトーストする際は冷凍保存した食パンの方がおいしいという傾向が見られる。また、冷凍保存食パンでは「もっちり」といった食感が強く感じられ、「甘さ」や「香り」が強く感じられるという結果であった。これらの項目に関して因子分析を行ったところ、図 11 より¹³推移がなだらかになる前、かつ固有値が 1 以上である因子数は 3 つであり、これらの因子における各項目の因子負荷量を見ると因子 1 では「もっちり」「おいしさ」「甘さ」の項目の値が高く、因子 2 では「香り」、因子 3 では「かたさ」の値が高かった。また、相関行列を求めたところ因子分析の結果と同様にもっちり感の項目においておいしさと正の相関がみられることが分かった。これらの結果から、おいしさを決める要因としてもっちり感が重要であることが示唆された。また、物性測定より、官能検査の結果と一致している項目は、線形領域内で「もっちり」を示すがガム性(N)、「さっくり」を示す A2 エネルギーである。ここから、私たちがトーストした状態の食パンを食べた時に感じている「もっちり」「さっくり」は食べ物が歯に当たった瞬間に感じ取っていると考えられ、トーストした食パンにおけるおいしさは口に入れて食べ物を食べた瞬間に強く感じていることが示唆された。

第三に、官能検査①・②より、味について甘さをより強く感じられるとき、もっちり感も感じている。一般に、¹⁴甘さを感じる機構は舌にある味蕾に、水やだ液に溶けた呈味物質がぶつかることで感じられる。そのため、水分が多く、流動性の高いものの方が味蕾にフィットして味を感じやすくさせる。ゆえに、今回のようにもっちり感が感じられる時、すなわち食べ物に程よい水分が含まれている時に、甘さを強く感じ、おいしさを補強する要素となっているのではないかと考えられる。¹⁵実際に、食べ物によって甘みを強く感じるためには必要な含有水分量が異なることは分かっており、これは材料配分や物性の影響を受けるとされている。

4.2 美味しい食パンにかかせない要素の関わり合いについて

官能検査によりおいしいと判断された食パンに共通する要素やそれらの関わり合いを明らかにすることで美味しい食パンを表現するモデルを作成できると考えられる。

第一に、食パンを焼成後そのまま食べる際のおいしさに関わる要素について、考察 4.1 より非線形領域における OPLS-DA と PCA の結果を考察していく。

図 16 より、主成分予測軸に対する直交軸は 3 つ存在し、 $R_2X : 0.7130$ 、 $R_2Y : 0.898$ 、 $Q_2Y : 0.856$ のため、この群別モデルは十分に説明されているといえる。この際の VIP 値の一覧を見てみると、 $VIP > 1$ を超える因子に A1 に関する説明変数が多く存在している。また、トーストした際の VIP 値と比べると A3 に関する説明変数が上位に多くランクインしていることが分かる。また、図 17 の Loadings より、p2 に関する説明変数で正方向にかたさや A1b エネルギー、負方向に付着性や A3b エネルギーがある。これ

らより、OPLS-DA、PCA のどちらの判別検定においても両群を判別するために重要な要因は A1 と A3 であることが示唆された。そして、A1 に関わる因子としては A1 エネルギーや硬さなどの「やわらかさ」に関わる要素、A3 に関わる要素としては A3 エネルギーや付着性などの「しっとり感」に関わる水分が関係してくる要素が含まれる。そのため、これらの違いによって常温保存食パンの冷凍保存食パンが群別されていると考えられる。

これらの結果から食パンをそのままで食べる際においしさを判断する上で重要な要因は「かたさ」や咀嚼時に必要となるエネルギー量に加えて、付着性によって表現されている「しっとり感」であり、¹⁶これらが合わさることで「もっちり」感が生まれていると考えられる。

第二に、食パンをトーストして食べる場合について、先に述べた官能検査と因子分析、及び物性測定の結果から線形領域における OPLS-DA と PCA の結果を考察していく。図 18 より群別できていることが見受けられ、主成分予測軸に対する直交軸は 3 つ存在し、 $R_2X : 0.7120$ 、 $R_2Y : 0.989$ 、 $Q_2Y : 0.978$ であるため、この群別モデルは十分に説明されているといえる。この際の VIP 値の一覧を見てみると、テクスチャー測定において A1 に関する説明変数に加えて A2 に関する説明変数や A1 と A2 の両方によって説明される変数が上位に上がっている。

また、図 19 の Loadings より p_2 に関する説明変数で正方向にかたさや A1b エネルギーなどの「やわらかさ」に関わる要素、負方向に付着性や A3 b エネルギーなどの「しっとり感」に関わる要素、 p_1 に関してガム性や A2 硬さなどの「もっちり感」に関する要素が正方向に集まっている。

これらの結果を受けて、OPLS-DA、PCA のどちらの判別検定においても両群を判別するために重要な要因は A1 と A2 であることが示唆された。また、A1 エネルギーや A2 エネルギーなどの咀嚼時に必要とされるエネルギー量に関わる因子が VIP 値の上位にランクインしているため、これらの違いによって 2 種の保存法の違いの食パンが説明されていると考えられる。そのため、トーストした食パンを食べる際には口腔内でのエネルギー量、すなわち「もっちり感」が重要であると考える。

4.3 保存法の違いにより生まれる食感等の違いを生み出す要因について

常温保存した食パンと冷凍保存した食パンの比較において、そのままで食べる際に常温保存食パンが好まれる理由は、冷凍や冷蔵で保存する際にはデンプンの β 化が最も進むと言われている-4°C の低温下（最大氷晶形成帯）に一定時間食パンが晒されるが、常温で保存した場合にはそのような温度帯変化がないため、デンプンの β 化が抑えられたと考えられる。一般的にデンプンの β 化がおこると「硬くなる」、「パサつく」などの現象が見られパンのおいしさが損なわれると言われている。そのため、¹⁷冷凍保存した上でデンプンの β 化が進み、生地が硬くなり、パサついたということが考えられる。そして、この食パンを解凍してそのまま食べるということは、デンプンは β 化されたままの状態で食べるということになるため、今回の一連の検査や測定において違いが見られたのではないかと考えられる。また、SEM による表面観察からも常温保存食パンと冷凍保存食パンでは見た目が異なるのが分かる。冷凍保存食パンでは表面に小さい穴のようなものが確認され、これは、冷凍することによって生じた氷晶による空隙であると考える。そして、解凍する過程においてこの穴にあった氷晶が溶けて、水蒸気として蒸発した結果、空隙として残ったと考えられる。これらの原因によりわずかな物性の違いが生まれ、今回の食パンの美味しさに関わるとされる「もっちり」感が失われる要因の一つになると考えられる。

一方で、トーストした際には冷凍保存食パンが好まれる。これは、トーストすることで、一度 β 化されてしまったデンプンも再加熱により α 化する。そのため、そのまま食べる際に感じていた、冷凍することにより生じるデンプンの β 化の影響は無視できる程度となることが推測される。むしろ、冷凍保存食パンは焼き立て後すぐに急速冷凍するため、焼き上がり後の水分の蒸発や焼き縮みが抑えられていると考えられる。しかし、図20からも分かるように、水分を多く蓄えておいたからといって、トーストすることによってより多くの水分が蒸発してしまうことはない。そのため、多くの水分を蓄えておくことができ、再加熱した際にはその水分によってより多くのデンプンを α 化できるためおいしく感じられたのではないかと考えられる。また、冷凍したことにより、焼き縮みを起こさずにパン内のすだち（気泡構造）を潰さずに構造を保つことができる。そのうえ加熱することによってデンプンの糊化が生じ、グルテン骨格との結びつきが強固になり、パン内の骨格がしっかりと強靭なものになったため、歯ごたえのあるもっちりとした、よりよい食感に繋がったのではないかと考えられる。

また、今回の実験系では常温保存食パンは常温保存期間が一日未満であったため、常温保存中に蒸発する水分は最小限にとどめられたと考えられる。¹⁸一般的に、パンは常に内部の水分分布を等しく保つために内相から外相に水分移動が起こり、クラスト面から水分が蒸発するとされる。そのため、¹⁹同じ実験系でパンの常温保存期間を2日や3日に伸ばした場合、常温保存中に蒸発する水分が多くなるため、今回と違った結果が得られる可能性もあるため、そのことについての検討も必要である。

5 要約

本研究は、凍結処理がパンのおいしさに変化をもたらすかを明らかにすることを目的とし、凍結保存食パンと常温保存した食パンとの比較を行った。その結果、そのまま食べる場合は常温保存、トーストして食べる場合には冷凍保存した食パンの方がおいしいという傾向が見られた。そして、官能検査や物性測定から、この傾向には食感が大きく関与していることが分かり、その要因としてデンプンの α 化と β 化が鍵となる可能性が示唆された。

6 終わりに

今回の研究では、官能検査と物性測定をそれぞれ独立した形で実験を行った。そのため、それぞれでの分析となってしまったが、双方をリンクさせて実験を行うことでより正確な分析を行うことができると考えられる。そのために、次のような実験系を提案する。

今回は使用サンプルは2cm程度の厚さにスライスした食パンを4等分して官能検査用のサンプルとしたが、これを2等分（上半部と下半分）し、2等分したものの中の1枚の1/4を官能検査用、もう半分を物性測定用とし、サンプル①、サンプル②、サンプル③…とすることで官能検査に使用するサンプルと物性測定用のサンプルを紐づけることができる。また、2種の比較をする際にはサンプルAもサンプルBも上半分もしくは下半分を提供するようにする必要がある。そして、官能検査は採点法で5段階評価するのが適当であると推測される。また、可能であれば官能検査と物性測定を同時にを行うことで、より食べた時に近い水分量のパンの物性を測定することができ、より正確な測定につながると考えられる。

冒頭に述べたように、冷凍食品の需要は高まりを見せており、メーカーも需要に合わせて数多くの冷凍食品が生まれている。冷凍食品は簡便さだけでなく、賞味期限の延長や食品添加物の削減などが可能であり、日配品の冷凍食品化が進めば、食品ロスが減るほか、労働環境の改善にもつながると考えられる。そのため、今後さらなる冷

凍食品の普及が進むと考えられる。技術の進歩とともに冷凍食品は進化をつづけ、一昔前の冷凍食品に植え付けられていた“マイナスのイメージ”は薄れてきている。利便性だけでなく、おいしさや社会的課題の解決のためにも冷凍食品を上手に日々の生活に利用していくことを推奨したい。

7 謝辞

本研究を進めるにあたり、林教授、長澤助教授には終始熱心なご指導を頂きました。心から感謝いたします。

また、サンプルとなる食パンを提供して頂きました株式会社トランプスコープ パンのトランさんには大変お世話になりました。なかでも、木原さんにはこちらの細かいお願いや急なお願いにも丁寧に対応して頂きました。厚くお礼申し上げます。

加えて、本研究の遂行にあたり快くアンケートや官能検査にご協力いただいた皆様に、感謝いたします。

最後に、食品機能学研究室の皆様には、多くのご助言、激励を頂きました。本当にありがとうございました。

8 参考文献

- ¹ 「農林水産省 令和2年度 食料・農業・農村白書 第2節 食料消費の動向」
https://www.maff.go.jp/j/wpAper/w_mAff/r2/r2_h/trend/pArt1/chAp2/c2_2_00.html
2023/01/26/13:21
- ² 「一般社団法人 日本冷凍食品協会 統計資料」
<https://www.reishokukyo.or.jp/statistic/consumption/> 2022/12/16/9:29
- ³ 「一般社団法人 日本冷凍食品協会 令和4年 “冷凍食品の利用状況” 実態調査について」<https://www.reishokukyo.or.jp/wp-content/uploAds/2022/04/reseArch2022.pdf> 2023/01/26/13:47
- ⁴ 田中康夫, “パンの冷凍”, コールドチェーン研究, Vol.2, No.4, p141-149, (1976)
- ⁵ 『小麦・小麦粉の化学と商品知識』, 財団法人製粉振興会, 平成19年8月, p42
- ⁶ 『小麦粉の魅力—豊かで健康な食生活を演出(再改定版)一』, 一般財団法人 製粉振興会, 令和4年5月, p6
- ⁷ 松本 博, “パンはどうしてふくれるか—製パンの科学—”, 化学と生物, Vol. 10, No. 5, p304-310
- ⁸ Frances E. Volz, P. E. Ramstad : Food Research 17, 81 (1952)
- ⁹ 『おもしろサイエンス 小麦粉の科学』, 大楠秀樹, 2017年9月, p72
- ¹⁰ テーブルマーク業務用総合カタログ 2022,
<https://www.tablemark.co.jp/business/catalog/all/index.html?page=1>,
2023/02/07/19:28
- ¹¹ 相良泰行, “食感性モデルによる「おいしさ」の評価法”, 日本調理科学会誌, Vol41, No. 6, p390-396 (2008)
- ¹² Etienne A. Thevenot, “roppls: PCA, PLS(-DA) and OPLS(-DA) for multivariate analysis and feature selection of omics data”, 1 novembre 2016
- ¹³ 村瀬洋一, “因子分析(Factor Analysis)—変数の背後にある要因の探索—”,
<https://www2.rikkyo.ac.jp/web/murase/seminar/17fact.pdf> (2017/09)
- ¹⁴ 阿部啓子, “味覚のしくみと甘み受容の分子論”, J. Appl. Glycosci, Vol. 50, No. 2, (2003)

¹⁵ 畑江敬子, “食品の奄美効率の決定要因と予測に関する研究”, 独立行政法人 農畜産業振興機構 調査報告より(2005)

¹⁶ 藤田沙南, 村上陽子, “油脂の添加が米飯パンの物理特性に及ぼす影響”, 日本家政学会誌, Vol. 66, No. 7 p329-341(2015)

¹⁷ 別役千世, 新原立子, “ゆで麺の冷凍貯蔵によるレオロジー的性質の変化とデンプンの糊化度の変化—冷凍および解凍条件の影響—”, 日本家政学会誌, Vol. 150, No. 11, p1183-1188(1999)

¹⁸ 呉 計 春, 相 良 泰 行, 瀬 尾 康 久, 森 嶋 博, “食パンの焼成プロセスにおける熱及び物質移動特性”, Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi Vol. 43, No. 10, 1117~1123 (1996)

¹⁹ 山田大樹, 伊勢木智行, 井上俊逸, 吉野信次, 坪井一将, 村山大樹, デニス・サンチャゴ, 小疋 浩, 山内宏昭, “湯種中の加熱糊化澱粉が生地の製パン性に与える影響”, Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 62 (11), 547-554, 2015