

Ⅳ 米粉パンの比容積に影響を与える因子

「米粉パン」と呼ばれるパンには様々なものがある。小麦粉に少量の米粉を添加して製造したものから米粉のみを主原料として製造した100%米粉パンまでである。原材料の観点からこれらを大別すると表1のように4種類になる。本稿ではこの表のように、小麦の一部を米粉に置換したものを部分置換米粉パン、小麦から抽出したグルテンを増粘添加物とするグルテン添加米粉パン、そしてこれらに米粉100%のグルテンフリーパンを加え、米粉を使用して作られるパンを総じて「米粉パン」と記載する。

小麦粉というパンに適した素材があるのに、なぜ米粉を使用してパンをつくるのだろうか？日本において、その一番の目的は米の消費拡大である。国内の米の消費量は漸減していてピーク時の昭和37年には年間一人当たり118kg消費していたが平成26年では56kgと半分以下に落ち込んでいる¹⁾。米の大部分は炊飯米として利用されているが、炊飯米としての利用だけでなく新しい形態での消費が期待されている。農林水産省で取りまとめた「21世紀新農政2008」においては『「ご飯」としてだけでなく、「米粉」としてパン、麺類等に活用する取組を本格化する』と記されている。新規用途向けの米の生産補助など、米粉利用を促進する政策も実施された。このような行政的な後押しもあり、米粉を製パンに利用する研究・開発は米の消費拡大の一環として行われてきた。また、近年の地産地消の流れもあり、地元で生産した米を使ってパンを作りたいという要望もある。農林水産省の資料によるとパンなどの新規用途の米粉の利用量は平成24年以降で年間2万トン台前半となっている²⁾。そのほか、東南アジアにおいては米の価格が小麦より安いのでパンの増量を目的として米粉が添加されている。さらに、アレルギー疾患への対応という目的がある。特に西欧においては小麦アレルギー対策という理由が最も重要である。例えば、小麦由来のグルテンを摂取すると自己免疫によって小腸の微絨毛が脱落するセリアック病が知られている。そのためグルテンを全く含まない素材でパンを作る需要があり、米粉を利用したパンが開発されている。

米粉をパンの製造に利用するにあたり当初の大きな問題点は米粉を多量に使用するとパンが膨らまなくなることであった。小麦粉の一部を米粉に置き換えた場合、2割程度までなら米粉を入れても膨らみに対する影響は少ないが、それ以上増量していくと増量に従い膨らみが悪くなる。膨らみを改善するという目的で様々な技術開発がなされた。

この膨らみの程度を定量的に示す指標が比容積である。比容積はパンの容積

* ベーカーズパーセントによる表記で主原料である粉の量を100%とする。

(mL) をその重量 (g) で割った数値である。比容積が大きくなるほどパンはよく膨らんでいることになる。比容積が大きいとソフトな食感のパンとなる。小麦粉パンについて例えば山形食パンでは比容積は4～5になる³⁾。米粉を主原料としたパンではそこまで膨らまない。これまでの技術でもせいぜい4程度である。本稿ではパンの比容積にスポットを当てて部分置換米粉パンおよびグルテン添加米粉パンの比容積を左右する米粉の因子について概説する。

米粉パンの事情

米粉パンには特有の事情があり、小麦粉全量を米粉にそのまま置き換えてもパンは出来ない。図1は文献をもとに作図したグルテンの模式図である⁴⁾。小麦粉にはグルテニンとグリアジンというタンパク質が含まれている。グルテニンは弾性があり、グリアジンは粘性を持つタンパク質である。小麦粉に水を加えてこねているうちにグルテニンとグリアジンが絡み合って生じるタンパク質の構造体がグルテンである。グルテンには適度な粘弾性がありパン生地のかなかで酵母から発生するガスを保持する役割を持っており、パンが膨らむための最も重要な成分である。しかし、米粉にはこのグルテニンとグリアジンが含まれないため、水を加えて練ってもグルテンができない。

米の製粉について

米粉は以前から和菓子や煎餅の原料として使用されてきた。製粉方法の例として、上下2つのロールの間に穀粒を挟み込むことによって粉碎するロールミル、

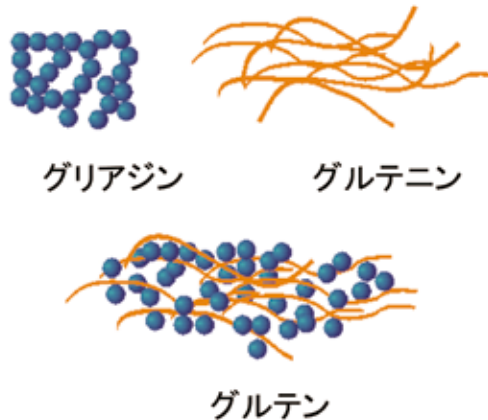


図1 グルテンの模式図

小麦粉に水を加えて捏ねると成分として含まれているグリアジンおよびグルテニンが絡み合ってグルテンが形成される。

回転するハンマーやピンを米に衝突させて粉碎するハンマーミルやピンミル，杵と臼により粉碎する胴搗き製粉，ブレードを回転させて生じた気流の中で米同士またはライナー（粉碎室の内壁）と衝突させる気流式製粉などがある。粉の平均粒径を小さくでき損傷澱粉の量を低く抑えられることから，近年は湿式気流製粉と呼ばれる製粉方法がパン用としてよく利用されている⁵⁾。

これに対し小麦粉では製粉はほとんどロールミルで行われている。米の粒は硬いため小麦のようには砕けやすすくないので，ロールミルで米を製粉すると粒径の大きな粉しかできない。これはあまりパンに向いていない。ロールミルは団子用の上新粉の製造に使用されている。図2は上新粉，市販のパン用米粉と小麦粉を比較した走査型電子顕微鏡写真である。上新粉は粒径が大きく，パン用の米粉および小麦粉は粒径が小さい。

パンの構成材料

パンには様々な種類のものがあるが，これらは共通の材料から構成されている。小麦粉パンの基本的な材料は小麦粉，パン酵母，塩，水である。これに副材料として糖類，油脂，乳製品など加えている。米粉パンではこの小麦粉の一部あるいは全部を米粉に置き換えている。

上述したように米粉には小麦粉におけるグルテンの作用をする物質が存在しな

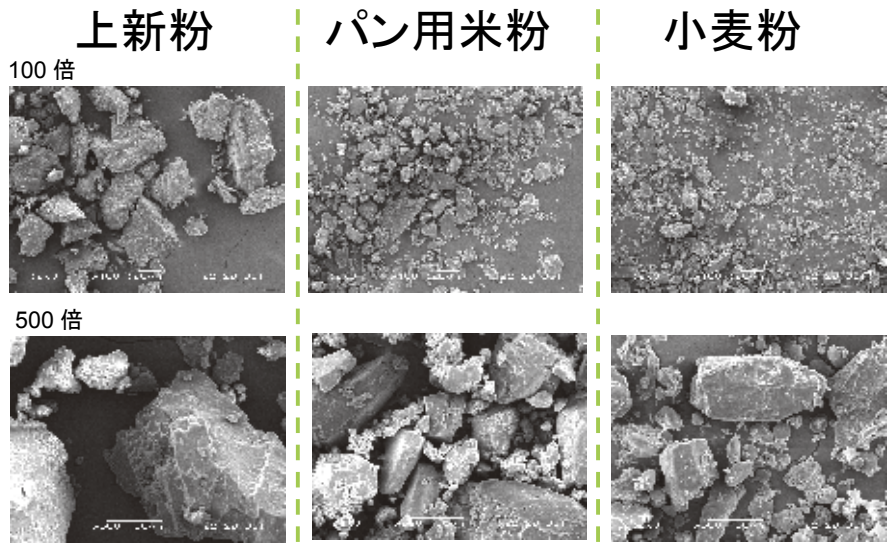


図2 上新粉，パン用米粉，小麦粉の比較

上新粉，パン用米粉，小麦粉の走査型電子顕微鏡写真。上段が¹⁰⁰倍，下段が⁵⁰⁰倍の倍率。

い。米にもタンパク質は存在するがグルテンのような性質を持っていない。そこで米粉パンでは粘性の物質を添加するなどの工夫によりパンとして生地を膨らませている。例えば、小麦粉の一部を米粉に置換し小麦粉のグルテンの粘性を利用する、小麦粉から抽出したグルテンを添加する、米を一部糊化させて加える、あるいはグアガム等の増粘剤を添加するなどである。

米粉パンの種類

表1に示したように米粉パンには幾つもの製法(原材料の組み合わせ)がある⁶⁾。この4つの分類をまとめると、部分置換米粉パンおよびグルテン添加米粉パンから成る小麦粉パン的なパンの系統と、米粉のみのパン(グルテンフリー米粉パン)の2つの系統になる。

グルテンを含む前二者の米粉パンは通常的小麦粉パンに比較的近い形状、食感を持っている。これに対し米粉100%で調製したグルテンフリー米粉パンでは加水量が多く、ドロドロした生地のままパン型に流し込んで焼成することが多い。食感も蒸しパンに近い。食感は小麦粉パンと異なるがその代わりに小麦アレルギーに対応できるのはこのタイプのパンである。

比容積に影響を与える因子

1) 平均粒径

パンに適した米粉の平均粒径はある程度小さいことが必要であると言われてい

表1 米粉パンの種類

名称	米粉割合	増粘添加物	特徴
部分置換米粉パン (米粉入りパン)	～20%*	基本的に小麦から生じるグルテンを利用するが、少量の乾燥グルテンを添加する場合もある。	小麦粉の一部を米粉に置き換えたパン。米粉を2割程度まで置き換えるのは容易だが、3割以上増やすと比容積の低下などの影響がみられる。
グルテン添加米粉パン	～85%	小麦から抽出した乾燥グルテンを添加する。米粉の15～20%程度添加する場合が多い。	米粉に乾燥グルテンを添加して製造したパン。
グルテンフリー米粉パン(増粘剤添加)	～100%	グアガムなどの増粘剤を添加する。	小麦由来の成分を使用していないので小麦アレルギーに対応可能である。
グルテンフリー米粉パン(増粘剤無添加)	～100%	米を一部糊化させるなど米自体により粘性を生じさせる。	小麦由来の成分を使用していないので小麦アレルギーに対応可能である。

* ベーカーズパーセント：主原料である粉の全量を100%として表記する。

る。江川によると、粒度の粗い上新粉を用いてグルテン添加米粉パンの製パン試験を行った場合は、発酵時に生地が割れガスが抜けて膨張しないという⁷⁾。しかしながら粉の平均粒径を小さくすると損傷澱粉が増加しやすい。このためか実験的には粒径が小さい粉を使用すると比容積が低下することがしばしば報告されている^{8) 9)}。この点に関しては後でまた述べる。

2) 損傷澱粉

損傷澱粉は機械的な力などにより損傷を受けた澱粉のことである。小麦粉を走査型電子顕微鏡で観察すると大粒澱粉の中に割れている澱粉粒がみられる¹⁰⁾。米粉の場合は損傷を受けている部分は外観的には観察されないことが多い。現在のところ損傷澱粉の構造的な詳細は不明である。そもそも澱粉自体の構造も詳細な点に関しては不明である。

損傷澱粉の測定はメガザイム社の測定キットを用いた酵素処理法がよく用いられている¹¹⁾。本法ではカビ由来 α -アミラーゼが健全澱粉粒には作用しにくい⁵⁾が、物理的に損傷を受けた澱粉粒には作用するという原理を用いている。米粉の製パン適性には損傷澱粉含量が低いことが重要であるとされている⁵⁾が、後述のように米粉パンの比容積におよぼす「損傷澱粉」の影響は吸水量の増加であると考えられる。損傷澱粉含量の数値は上述のように酵素の作用性により測定しており、米粉の製パン特性を直接的に説明しているものではないという点に留意が必要である。

小麦粉の場合、適量の損傷澱粉の存在は吸水率を高め、生地を滑らかにする効果があるとともに、製パン中に小麦内在アミラーゼの適度な作用がおこる適度な範囲の損傷澱粉が製パンには必要であるとされている。そもそも小麦は粉になりやすい性質があり、粉に粉碎する時にそれほどエネルギーを加える必要はないので損傷澱粉含量が高くなる。小麦粉と米粉で損傷澱粉自体の性質が異なるということではなく、その存在量が問題である。

米粉に関しては、米が硬いために十分な平均粒径までに粉碎する過程で多大な機械的な力が加わり、その際に熱も発生し、それゆえ粉にダメージを与え損傷澱粉の量が増える場合が多い。このように米粉では製粉過程で損傷澱粉含量が高くなりやすい。このため米粉の製粉技術ではいかに損傷澱粉含量を下げるかが注目されてきた。ちなみに粉が硬いと機械的損傷を受ける率が高くなることに関して、小麦でも軟質小麦より硬質小麦を粉にした場合に損傷澱粉の量が多くなることが知られている¹²⁾。

上述したように損傷澱粉の影響はパン生地の吸水量の増加である。損傷澱粉により生地が多くの水を吸水するようになり、適度な生地の柔らかさを得るためにはより多くの水を生地に加える必要が生じる。この結果が焼成後のパンにどのような影響を及ぼすか、小麦粉パンでは図3のように考えられている（文献をもと

に作図) ^{13) 14)}。パン生地には無数の気泡が含まれているが、その1つを取り出して模式的に示した。大きな丸は1つの気泡の断面図である。内側には酵母から生じたガスが入っており、その周囲を気泡膜が包んでいる。気泡膜上に描かれた小さい白い丸は健全澱粉であり、水をあまり吸収していない。薄い水色で示したのは損傷澱粉で既に水を吸収している。いずれの場合も生地中には水分があり生地に柔軟性を与えている。焼成により健全澱粉は多量の水を吸収して膨潤しグルテンより水分を奪う。このことによりパンは硬化する。しかし損傷澱粉は既に水を吸っているので健全澱粉ほどは水を吸収することはできない。従って焼成後にはグルテンに水分が残ることになる。グルテンに水分が残っているとパンが硬化しないので焼成後にケービング（腰折れ）が起きやすくなる。これと同様の現象が米粉パンでも起きていると考えられる。

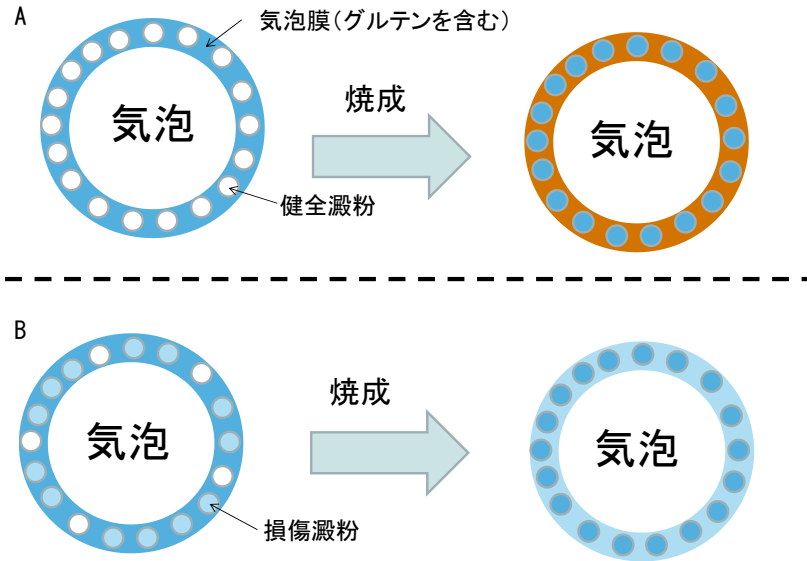


図3 損傷澱粉が多いと焼成後にケービングが起きる原因を示した模式図

A: 損傷澱粉が少ない場合の気泡, B: 損傷澱粉が多い場合の気泡

図中で水色の濃さが水分量の多少を示す。Aについて焼成前の生地気泡膜が青色なのは水を多く含んでいることを示す。健全澱粉は吸水量が少ないので白色で表現した。(矢印の右側の) 焼成後の状態に関して、焼成時に澱粉が糊化する際に気泡膜から水を奪い水分を含むので焼成後の澱粉を青で示した。Bについて健全澱粉と比較して損傷澱粉は吸水量が多いので水色で示してある。焼成後の状態に関して、澱粉が糊化する際に気泡膜から水を奪うが、損傷澱粉は焼成前から既に水分を含んでいるのでその分吸収する水の量が減るために気泡膜にAの場合よりも水分が残る。このため焼成後の気泡膜を水色で示した。

3) 吸水特性

吸水量が少なく吸水速度が速い米ほど部分置換米粉パンの比容積は増大する傾向であると松木らは指摘している¹⁵⁾。吸水量は損傷澱粉含量と、吸水速度は平均粒径と相関があったという。江川も濡れ特性が $0.02 \text{ mm}^2/\text{s}$ 以上がパンに適した条件としている⁷⁾。ここで濡れ特性とは、粉体に液体（ここではメタノール）を添加した際に粉体表面に液体が広がる速度を表す⁵⁾。

4) 安息角

安息角は粉体を積み上げた際に自発的に崩れることなく安定を保つ斜面の最大角度である。安息角は粉の粒子形、水分含量、粒子の大きさの影響を受ける。粒子が角張っていると安息角は大きくなる。例えば角張っている川砂は高く積み上げることができるが、粒が丸い海砂では流動してしまい安息角が小さくなる。また、粒子径が小さくなると安息角は大きくなる。宍戸らの報告⁵⁾から、江川は粒子形が丸い粒子がパンに適しているとして、安息角 50° 以下がよいパンの条件としている⁷⁾。

5) アミロース含量

高橋らの報告によるとグルテン添加米粉パンの最大比容積はアミロース含量が25%前後で得られる¹⁶⁾。低アミロース米はケーピングを起こしつぶれてしまう。また、高アミロース米はパンの硬化速度が速い傾向がみられ、中アミロース米（15～25%程度）が最もグルテン添加米粉パンに適しているとしている。

因子間の関係

著者らはハンマーミル、ピンミル、湿式および乾式の気流粉碎など10種類の米粉を使用してグルテン添加米粉パンを調製し（加水量80%）、パンの比容積に関係すると考えられる因子の相関関係を調べた（表2）¹⁷⁾。比容積と相関関係がみられたのは損傷澱粉含量であった。それに対して平均粒径の影響ははっきりしなかった。図4はこのうち損傷澱粉、平均粒径、比容積の関係を取り出して図にしたものである。今述べたように損傷澱粉と比容積には負の相関がみられた。また、Bの平均粒径と比容積のプロット図で●（青い丸印）は損傷澱粉含量が27.1%と極めて高く、平均粒径が小さいにもかかわらず、全体として比容積は小さい。このように損傷澱粉含量が高いと平均粒径が小さくても比容積は小さくなる。

表3は小麦粉の30%を米粉に置き換えて、加水量は一定のままホームベーカリーを使用してパンを焼き、パン用など市販の米粉の特性とパンの比容積の関係を調べたものである¹⁸⁾。通常はパン用に使用されない和菓子用の米粉も加えて比較した。この場合も損傷澱粉量が多い米粉では比容積は小さい傾向がみられた

表 2 米粉および米粉パンの各特性値間の相関係数¹⁷⁾

	平均 粒径 (μm)	損傷澱 粉含量 (%)	米粉水 分含量 (%)	アミロース 含量 (%)	ゆるめカ サ密度 (g/mL)	安息角 ($^{\circ}$)	スパチュ ラ角 ($^{\circ}$)	比容積 (mL/g)
損傷澱粉含量 (%)	-0.380							
米粉水分含量 (%)	0.557	-0.667*						
アミロース含量 (%)	-0.402	-0.245	-0.039					
ゆるめカサ密度 (g/mL)	0.787**	-0.397	0.281	-0.530				
安息角 ($^{\circ}$)	-0.537	0.410	-0.375	0.481	-0.581			
スパチュラ角 ($^{\circ}$)	-0.587	0.609	-0.756*	0.069	-0.460	0.500		
比容積 (mL/g)	-0.126	-0.670*	0.656*	0.563	-0.263	-0.088	-0.400	
硬さ (kPa)	-0.211	0.676*	-0.831**	-0.251	-0.095	0.317	0.576	-0.888**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

ゆるめカサ密度：容器にゆるく充填した時の粉体の密度。

安息角：少しずつ粉体を水平面に落下させて積み上げた時にできる山の斜面と水平面との間の角度である。

スパチュラ角：スパチュラとはへらという意味で、粉体を積み上げた中にスパチュラを水平に埋め込み上方に引き上げた時にスパチュラの上に残った粉体の傾斜角度である。

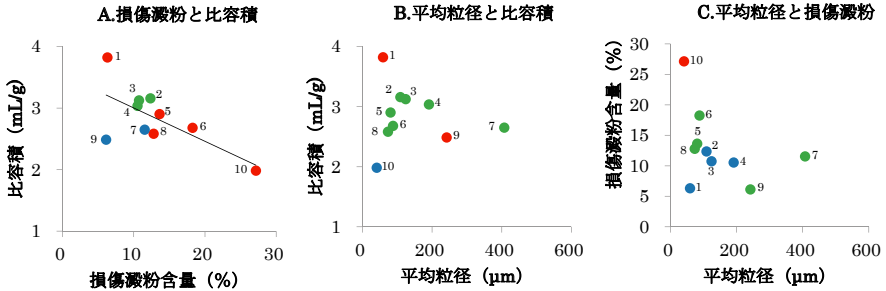


図 4 損傷澱粉，平均粒径，比容積の間の相関性の散布図

A：損傷澱粉含量と比容積の相関性の散布図

平均粒径による区分 ●：< 100 μm ，●：100 ~ 200 μm ，●：> 200 μm

B：平均粒径と比容積の相関性の散布図

損傷澱粉含量による区分 ●：< 10 %，●：10 ~ 20 %，●：> 20 %

C：平均粒径と損傷澱粉含量の相関性の散布図

比容積による区分 ●：< 2 mL/g，●：2 ~ 3 mL/g，●：> 3 mL/g

散布図中の番号と米粉試料の製粉方法（番号は比容積値の降順）

1: 湿式気流製粉, 2: UDY 社サイクロンサンプルミルによる製粉, 3: ハンマーミル製粉 (2.0 mm スクリーンを使用), 4: レッチェ社超遠心式粉碎機による製粉, 5: 乾式気流製粉, 6: ハンマーミル製粉 (1.0 mm スクリーンを使用), 7: 小型電動臼による製粉, 8: 湿式気流製粉, 9: ピンミル製粉, 10: ハンマーミル製粉 (0.7 mm スクリーンを使用)

表3 米粉の特性および製パン比容積¹⁸⁾

試料名	平均粒径		損傷澱粉		比容積	
	(μm)	s.e.	(%)	s.e.	(mL/g)	s.e.
米粉 A	51.9	0.27	2.87	0.03	3.48	0.02
米粉 B	91.2	2.19	5.49	0.11	3.41	0.04
米粉 C	68.1	1.18	3.66	0.07	3.55	0.01
米粉 D	68.9	0.45	3.19	0.05	3.52	0.01
米粉 E	87.2	3.62	4.10	0.05	3.47	0.01
米粉 F	57.2	0.64	3.06	0.08	3.50	0.05
上新粉	90.4	0.17	9.55	0.10	3.43	0.05
上用粉	92.5	0.51	4.85	0.08	3.55	0.01
玄米粉*	128	0.37	52.8	1.15	1.91	0.02
味甚粉*.*	157	0.58	71.9	0.95	2.56	0.12
寒梅粉*.*	201	0.36	72.9	0.67	2.14	0.10
羽二重粉**	79.4	0.41	22.4	0.17	3.26	0.14
最中粉**	83.0	0.39	20.9	0.24	3.28	0.01
牛皮粉**	135	0.29	7.71	0.11	3.58	0.02
大福粉**	97.9	0.23	6.60	0.29	3.41	0.03
小麦粉					3.68	0.03

製パン条件：小麦粉 196 g, 各種米粉等 84 g, 油脂 20 g, 砂糖 20 g, スキムミルク 6 g, 塩 4 g, ドライイースト 3.6 g, 精製水 190 ml を配合し, エムケー精工(株)製の HBK-100 を用いて製パンした。

*：玄米粉、味甚粉、寒梅粉において損傷澱粉の値が高い理由は製造工程の途中で加熱処理されており澱粉がアルファー化されているためである。

**：味甚粉、寒梅粉、羽二重粉、最中粉、牛皮粉、大福粉は餅粉である。

($R^2 = 0.848$)。平均粒径と比容積の関係でも平均粒径が小さい粉の方が比容積が大きくなる傾向がみられた ($R^2 = 0.557$)。また、原因は明らかでないが牛皮粉では損傷澱粉含量の値がやや高いにも関わらず比容積は比較的大きかった。今後さらに比容積を決定するメカニズムについて解明する必要がある。

グルテン添加米粉パン¹⁹⁾ および部分置換米粉パン¹⁵⁾ に関して損傷澱粉含量が比容積と逆相関することが報告されている。損傷澱粉はパンの比容積に強く影響する因子である。これに対して平均粒径に関しては、平均粒径が小さくなるほど比容積が増大するという報告もあり⁵⁾、逆に平均粒径が小さい方が比容積が小さくなるという報告もある^{8) 9)}。平均粒径が小さいと比容積が小さくなると報告される場合、平均粒径が小さくなるとともに損傷澱粉含量が増大していることが多い。

米粉の特性の一つが他の因子と関係している場合が多い。そして米粉の持つ平均粒径や損傷澱粉含量などの因子を独立にコントロールできないことが多い。例

えば上述のように、平均粒径を小さくすると、損傷澱粉含量が増大する。この結果、損傷澱粉含量の影響を受けてパンは膨らみにくくなる。この場合、損傷澱粉の増大の影響を受けて平均粒径の効果は判然としにくい。このように複雑にそれぞれの因子がからみあっているためにこの相互関係をほぐして個別に論じるのは難しい。また、米粉は澱粉が複粒状態となって存在している。米粉として得られるのは単粒の澱粉か、複粒が部分的に破壊された粒子、複粒そのもの、複粒とその他タンパク質などの複合体の粒子である。もし任意の粒径の粒子を得ることができれば、粒子径と比容積の関係も定量的に明らかにできるだろう。そしてそれが米粉パンの膨らみに関する理論的な理解につながる。

現在の問題点と今後の展望

米粉パンに現在残されている問題点として次のものが考えられる。(1) 小麦粉パンに比べ価格が高くなる (2) 製造後に硬くなりやすい (3) 風味が乏しい (4) 米粉割合を高めると大規模製造が難しい、という点である。以下それぞれについて詳述する。

(1) 米粉パンは割高となりやすいがその内訳は原料米のコスト、製粉コスト、製パンコストから成る。原料米の価格については行政的な支援により小麦に近い価格に抑えることが可能になっている。製粉コストは小ロットであるためと製粉方法に手間がかかるために小麦粉と比較するとコスト高である²⁾。製パンコストに関してはリテールベーカリーでの製造を考えると小麦粉パンと比較して大きな差は生じない。この中で特に重要なのは製粉コストの低下である。

製粉コストが高い原因は前述のように製粉のロットが小さいことと、湿式気流製粉では米の浸漬および製粉後の乾燥という工程が加わること、がある。これらの問題の解決のためには湿式気流式製粉について低コスト化研究を行うという方向性と低コスト製粉の可能なピンミルなどで品質のよい米粉パンを製造可能にするという方向性の技術開発が考えられる。

(2) 製造後の保存日数の経過に伴い米粉パンが硬くなりやすい(老化しやすい)ことが指摘されている。米粉パンでは食べる直前に暖め直すことが多い。暖めることで老化して硬くなった米粉パンも軟らかくおいしく食べることができる。この製造後に硬くなりやすい点に関しては製造法の改良が望まれる。

(3) ある程度以上の量の米粉を含む米粉パンはもっちりした食感があるものの、特徴・風味が乏しいということが指摘されている。しかし炊飯米を考えた場合、炊いた米を単独で食べるということはあまりない。他のおかずと併せて食べるのがほとんどである。その際には自己主張する味はかえって邪魔になる。あまり独特の味を持たない方が何にでも合う。米粉パンも総菜パンのような利用を考えるとあまり風味がないことが逆にメリットとして生きるだろう。

(4) 米粉パンの消費拡大と低コスト化を考えると工場でのライン製造が重要と

なる。小麦粉に少量の米粉を混ぜて製造する米粉入りパンでは工場でのライン製造も可能である。しかし、米粉割合を増加させた生地では十分な進展性を保持させることが困難であることや、粘着性が増すため、この生地を工場の生産ラインの機械に投入すると生地を流している途中でローラーによる引っ張りに耐えきれずぶつぶつと切れてしまう。これを生地の機械耐性がないという。したがって米粉を主原料とした米粉パンをライン製造することは難しい。現状としては少量の米粉を入れるだけに止めるか、リテールベーカリー等での手作業による小規模生産を行うことが考えられる。この点についても今後の技術開発が期待される。

これらの問題を解決するためにも基本に立ち返りパンの膨らむメカニズムの理論的な解明が重要である。メカニズムが解明されることによりさらなる技術開発が行われ、そして米粉の消費拡大につながるだろう。食品研究部門ではこれまでも米粉利用促進の研究プロジェクトに取り組んできた。また本稿では触れなかったが主原料として米粉のみを用いたユニークな米粉パンも開発している²⁰⁾。著者自身もこの分野の研究にさらに貢献していきたいと考えている。

(食品加工流通研究領域 食品素材開発ユニット 與座 宏一)

引用文献

- 1) 農林水産省, 平成 27 年度食料需給表.
- 2) 農林水産省, 米の消費拡大について (2016).
- 3) 内田迪夫, パンの種類と製法, 製パンプロセスの科学, 第 2 版, 田中康夫, 松本博編, (光琳, 東京), pp. 1-26 (1997).
- 4) Huebner, F. R., Wheat flour proteins and their functionality in baking, *Baker's Digest*, **51**, 25-31 (1977).
- 5) 宍戸功一, 江川和徳, ベクチナーゼ処理による米粉の製造法及びその製パン適性 (第 1 報) 米の粉食文化に関する研究, 新潟県食品研究所・研究報告, **27**, 21-28 (1992).
- 6) 與座宏一, 岡部繭子, 島純, 米粉利用の現状と課題 - 米粉パンについて -, 日本食品科学工学会誌, **55**, 444-454 (2008).
- 7) 江川和徳, 米粉パンの開発, 農林水産技術研究ジャーナル, **26**, 11-16 (2003).
- 8) Murakami, S., Kuramochi, M., Koda, T., Nishio, T. and Nishioka, A., Relationship between rice flour particle sizes and expansion ratio of pure rice bread, *J. Appl. Glycosci.*, **63**, 19-22 (2016).
- 9) Hera, E., Martinez, M. and Gomez, M., Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread, *LWT-Food Sci. Technol.*, **54**, 199-206 (2013).
- 10) 遠藤繁, 小麦粉の物理的性状, 小麦の科学, 第 1 版, 長尾精一編, (朝倉書

- 店, 東京), pp.77-82 (2006).
- 11) Gibson, T. S., Al Qalla, H. and McCleary, B. V., An improved enzymatic method for the measurement of starch damage in wheat flour, *J. Cereal Sci.*, **15**, 15-27 (1991).
 - 12) 長尾精一, 小麦粉, 製パン材料の科学, 第1版, 田中康夫, 松本博編, (光琳, 東京), pp. 1-56 (1992).
 - 13) 松本博, 団野源一, 生地形成, 製パンプロセスの科学, 第2版, 田中康夫, 松本博編, (光琳, 東京), pp. 27-62 (1997).
 - 14) 団野源一, パン生地のミキシングとは何なのか? (その20), *Pain*, **32**, (12) 51-53, (1985) .
 - 15) Matsuki, J., Okunishi, T., Okadome, H., Suzuki, K., Yoza, K., and Tokuyasu, K., Development of a simple method for evaluation of water absorption rate and capacity of rice flour samples, *Cereal Chem.*, **92**, 487-490 (2015).
 - 16) 高橋誠, 本間紀之, 諸橋敬子, 中村幸一, 鈴木保宏, 米の品種特性が米粉パン品質に及ぼす影響, 日本食品科学工学会誌, **56**, 394-402 (2009) .
 - 17) 與座宏一, 松木順子, 岡留博司, 岡部繭子, 鈴木啓太郎, 奥西智哉, 北村義明, 堀金彰, 山田純代, 松倉潮, 製粉方法の異なる米粉の特性と製パン性の関係, 食品総合研究所研究報告, **74**, 37-44 (2010) .
 - 18) 與座宏一, 松木順子, 市販米粉の製パン性について, 食品総合研究所研究報告, **78**, 43-46 (2014) .
 - 19) Araki, E., Ikeda, M. T., Ashida, K., Takata, K., Yanaka, M. and Iida, S., Effects of rice flour properties on specific loaf volume of one-loaf bread made from rice flour with wheat vital gluten, *Food Sci. Technol. Res.*, **15**, 439-448 (2009).
 - 20) Yano, H., Improvements in the bread-making quality of gluten-free rice batter by glutathione, *J. Agric. Food Chem.*, **58**, 7949-7954 (2010).