

## 雑穀で作ったもち菓子の物性

武山 進一<sup>\*</sup>、遠山 良<sup>\*</sup>、藤原 ゆかり<sup>\*\*</sup>、荒川 善行<sup>\*</sup>

雑穀の菓子加工時における物性を調べるために、物性の測定条件の検討と4種の雑穀の評価を行うとともに、デンプンの老化傾向との関連を調査した。テンシプレッサーによる物性の測定では、モデル団子の1日後のかたさの違いが測定でき、タカキビ<モチアワ<イナキビ<<ヒエの順であった。また、BAP法による糊化度と、X線回折法による結晶化の測定から、タカキビ団子中のデンプンは老化しにくく、経時変化が少ないことがわかった。

キーワード：雑穀、テンシプレッサー、糊化度、X線回折

## Physical Properties of Steamed Cakes made of Miscellaneous Cereals.

TAKEYAMA Shinichi, TOYAMA Ryo, FUJIWARA Yukari  
and ARAKAWA Yoshiyuki

In order to examine physical properties of 4 kinds of miscellaneous cereals on making steamed cake (Japanese dango), we investigated the procedure of data measured with Tensipresser. We also studied correlation between physical properties and the retrogradation of the starch. The difference of the hardness of dango after one day was clearly seen and measured in following order: sorghum (great millet) < glutinous foxtail millet < proso millet << sawa millet. In addition, we found that there was little retrogradation of the starch in the sorghum dango from both measurements of the degree of gelatinization by the BAP method and crystalline structure by the X-ray diffraction.

**key words : miscellaneous cereal, Tensipresser, the degree of gelatinization, X-ray diffraction**

### 1 緒 言

本県の特産品である雑穀類（ヒエ、アワ、キビ、タカキビ）について、それらの特徴を生かした菓子として、団子等の餅菓子類を開発することとした。これまでの雑穀の利用に関する試験には、唐沢<sup>1)</sup>らのアワ・キビを原料とした麺及びパンの製造試験、関沢ら<sup>2)</sup>のアワ・キビ・ヒエ・ソバを用いたまんじゅうについての試作試験等がある。また、団子に関しては、谷地田<sup>3-5)</sup>らが冷凍に関する研究を詳細に行っている。さらに、澱粉利用食品の物性に関する研究には数多くの報告<sup>6-8)</sup>がある。

今回の試験は、4種類の雑穀に関して餅菓子加工時の

物性評価方法を検討し、原料としての雑穀の加工特性を明らかにすることを目的とした。また、物性とデンプンの老化との関連を調べるとともに、菓子加工後の冷蔵及び、冷凍保存での澱粉の老化傾向を調べた。

### 2 実験方法

#### 2 - 1 試料

雑穀粉は、岩手町の武田米穀店より購入した、雑穀粉「タカキビ粉」、「イナキビ粉」、「モチアワ粉」、「ヒエ粉」を使用した。

\* 食品開発部

\*\* (株)岩手阿部製粉

2-2 測定用試料の調整法

2-2-1 モデル団子の作成法

雑穀粉200gに80の熱水120ml(加水量:対粉60%)加え、家庭用のパン用ベーカリー(象印マホービン(株)製、BBC-S15)で約5分間捏ねる。この生地を4cmの間隔に並べた厚さ5mmのアクリル版の間に敷き、のし棒でのした後、長さ4cmづつ切断し、4cm×4cm×5mmの板状に整形した。これを蒸し器で10分間蒸した後、乾燥防止のために袋詰めした。これをモデル団子として実験に用いた。

2-2-2 保存試験用試料

保存試験用試料は、ガスバリアー性を有する袋(KNY15/ドライ/LLD60)に入れ、25、冷蔵(4)、-20(冷凍)で保存した。それぞれを「25」、「冷蔵」、「冷凍」保存試験区とする。25、冷蔵試験区の試料には、脱酸素剤を入れカビの発生を防止した。

25試験区の試料は、テンシプレッサーによる物性測定を行った。冷蔵、冷凍両試験区の試料は、恒温器で品温を25に調整後、25試験区の試料とともに、糊化度およびX線回折パターンを測定した。

2-2-3 乾燥試料の調整

糊化度およびX線回折パターン測定用に、各試料を乾燥した。モデル団子をカッターで細切し、3倍以上の無水エチルアルコールを加えてからさらに細かく砕き脱水を行った。この操作を3回繰り返した後、アセトン脱水を行い乾燥試料を調整した。

2-3 測定方法

2-3-1 物性の測定

モデル団子の物性をタケトモ電機(株)製テンシプレッサー My Boy Systemで測定した。テンシプレッサーには種々の測定法があるが、今回の試験では、1バイト法、積算微小変位測定法、多重積算バイト法の3種類の測定法を検討した。1バイト法は、プランジャーが試料を大きく1回噛む様な動作、つまり1往復する際の応力を測定するものである。断面積1cm<sup>2</sup>の円柱状プランジャーを用い、変形率90%でかたさ(Hardness)を測定した。4点づつ測定しその平均とした。積算微小変位測定法は、岡留ら<sup>9)</sup>が米飯粒の物性測定で行った積算加重試験と同じ方法であり、プランジャーが試料に接触してから微小な一定振幅での上下運動によって、試料に繰り返し加重を加えながら測定する方法である。ソフトウェアでの解析から、

Tenderness(軟らかさ)、Pliability(しなやかさ・柔軟性)、Toughness(ねばりづよさ・噛みごたえ)、Brittleness(脆さ)等の結果が得られる。断面積1cm<sup>2</sup>の円柱状プランジャーを用い、表1に示す測定条件で測定を行った。4点づつ測定しその平均値をとった。

表1 積算微小変位測定での設定条件

Distance	30mm	2nd Distance	0.5mm
Clearance	0.5mm	2nd Thickness1	7mm
Thickness 1	7mm	2nd Thickness2	10mm
Thickness 2	10mm	Multi Repeat time	1
Repeat time	45	2nd Speed	2.0mm/s
Bite speed	2mm/sec	Add value	0.1mm

多重積算バイト法は、辻ら<sup>10)</sup>がパンや麺の物性測定で行った連続式微小変形多重バイト試験のことであり、前記の積算微小変位測定法と測定方法が似ているが、プランジャーを同じ位置で複数回バイトさせる点が異なる。今回の場合、プランジャーを同じ位置で2回バイトさせて、その際のプランジャーの応力H<sub>n</sub>(kgw/cm<sup>2</sup>)のデータを得るもので、この値を解析した。

2-3-2 糊化度の測定

モデル団子の乾燥試料について、-アミラーゼ・プルラーゼ法<sup>11)</sup>を用いて糊化度を測定した。

2-3-3 X線回折パターンの測定

モデル団子の乾燥試料を、めのう製るつぼで細粒化し、150μmの分析篩を通過させ、X線回折装置(株リガク製RINT2000)を用いて澱粉の結晶図形を測定した。

3 結果及び考察

3-1 物性測定

3-1-1 1バイト法による測定結果

4種類のモデル団子について、25で2日間保存時の、かたさ(Hardness)の結果を図1に示す。

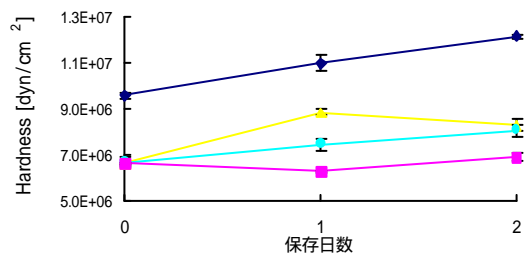


図1 Hardnessの推移

●ヒエ ●イナキビ ●モチアワ ●タカキビ

## 雑穀で作ったもち菓子の物性

モデル団子の作成時点（保存日数0日）では、ヒエだけがボクボクして固い状態であったが、他の3種はモチ性の特徴を有した団子の状態であった。Hardnessの結果は、ヒエだけが極端に固いことを裏づけているが、他の3種の値はほとんど同じであった。

しかし、経時的には保存1日後のHardnessは、タカキビ < モチアワ < イナキビ < < ヒエの順となり、その差が明確となった。2日間の保存で、ヒエ、モチアワのHardnessは保存日数に比例して上昇したものの、イナキビは増減後にモチアワと同程度の値になった。これに対し、タカキビのHardness値の上昇傾向はごく僅かであった。タカキビには、軟らかい上に弾力性が感じられる独特の触感があったが、保存2日経過後もこの触感は残っており、Hardnessの測定結果に現れた。

### 3 - 1 - 2 積算微小変位測定法による測定結果

積算微小変位測定法では、Tenderness、Pliability、Toughness、Brittleness といった項目について結果が得られる。タカキビの経時的な物性変化をより詳しく捕らえるために、積算微小変位測定法での測定を試みた。

タカキビとイナキビのモデル団子について、25 で2日間保存時の、Tenderness、Toughness、Pliability、の結果を図2～4に示す。

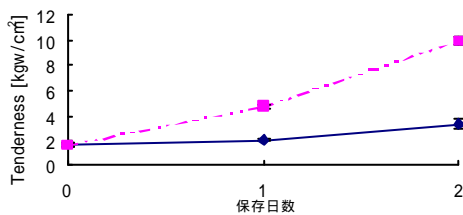


図 2 Tenderness の推移

◆ タカキビ —■— イナキビ

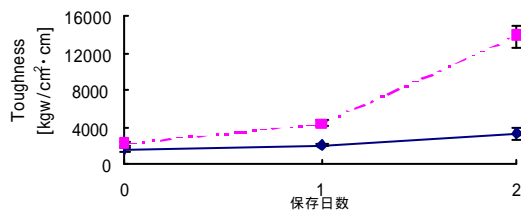


図 3 Toughness の推移

◆ タカキビ —■— イナキビ

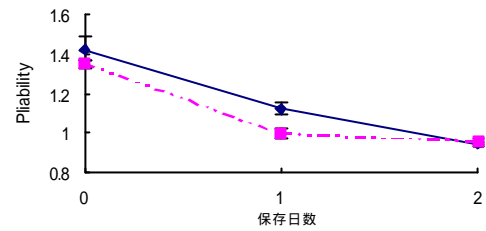


図 4 Pliability の推移

◆ タカキビ —■— イナキビ

Tenderness、Toughnessの結果は、1バイト法でのHardnessの結果と同様のものとなった。作成時点（保存開始時）はタカキビ、イナキビの値はほぼ同じで、その後に値が増加するが、その傾向はタカキビ < イナキビであり、タカキビの増加傾向はごく僅かであった。しかしながら、タカキビの経時的な物性的変化は、Pliability値に顕著に現れ、イナキビと同様に減少した。測定結果からタカキビは、経時的にしなやかさ・柔軟性が失われるものの、TendernessやToughnessの変化が少なく、団子の原料素材として特徴があると言えた。積算微小変位測定法での測定は、Tenderness及びToughnessで1バイト法のHardnessと同様の結果が得られ、またこの2項目について経時的変化が僅かな試料についても、Pliability値では経時的な変化を捉えることが出来た。

### 3 - 1 - 3 多重積算バイト法による測定結果

モデル団子の作成時点(保存日数0日)でのHardness値は、イナキビ、モチアワ、タカキビで、ほぼ同じ値となった。また、積算微小変位測定法でもイナキビとタカキビの差も同様に僅かなものであった。しかし、作成時点での触感は各々微妙に異なり、明らかに試料間の差が感じられた。微妙な差をより明確に評価する手法として、多重積算バイト法を検討した。

多重積算バイト法は、積算微小変位測定法と同様にプランジャーの微小な一定振幅での上下運動で、試料に繰り返し加重を加えながら測定する方法であるが、同位置で複数回（通常2回）バイト（噛む動作）させる点が異なる。具体的には、プランジャーが試料に接触してから、プランジャーは0.1mmづつ試料に圧縮を加えながら、同位置で2回づつバイト（振幅0.5mm）させ、これを45回繰り返して各圧縮点での応力を測定した。圧縮点での瞬間応力  $H$  から、 $H_{n+1}/H_n$  ( $n$ はバイト回数で、奇数値)を算出し、解析に用いた。

バイト率(バイト回数/全バイト数×100)にともなう $H_{n+1}/H_n$ 値の変化について、一例を図5に示した。

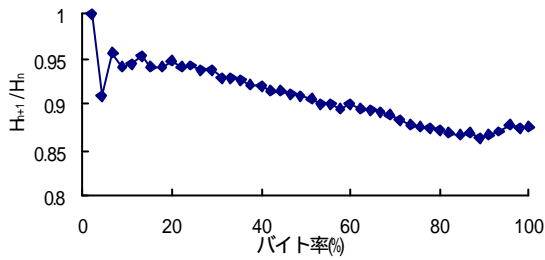


図5 バイト率にともなう $H_{n+1}/H_n$ 値の変化

◆  $H_{n+1}/H_n$

多重積算バイト法は、あるバイト率の範囲で $H_{n+1}/H_n$ 値とバイト率の関係が直線近似となる。

4種のモデル団子について、 $H_{n+1}/H_n$ 値とバイト率の関係が直線近似となるバイト率の範囲は22~55%であった。このバイト率の範囲で直線近似したときの一次直線式及び寄与率( $R^2$ )値を、表2に示す。

表2  $H_{n+1}/H_n$ 値とバイト率の関係を示す直線近似式

モデル団子	一次直線式	寄与率( $R^2$ )
タカキビ		
製造直後	$y = -0.021x + 0.960$	$R^2 = 0.8756$
1日後	$y = -0.027x + 0.964$	$R^2 = 0.9411$
2日後	$y = -0.022x + 0.940$	$R^2 = 0.9395$
イナキビ		
製造直後	$y = -0.020x + 0.974$	$R^2 = 0.8457$
1日後	$y = -0.018x + 0.977$	$R^2 = 0.7960$
2日後	$y = -0.008x + 0.983$	$R^2 = 0.6289$
モチアワ		
製造直後	$y = -0.023x + 0.964$	$R^2 = 0.9461$
1日後	$y = -0.024x + 0.965$	$R^2 = 0.9119$
2日後	$y = -0.023x + 0.994$	$R^2 = 0.8722$
ヒエ		
製造直後	$y = -0.014x + 0.985$	$R^2 = 0.9228$
1日後	$y = -0.014x + 0.993$	$R^2 = 0.9260$
2日後	$y = -0.012x + 0.994$	$R^2 = 0.8113$

一次直線のy切片の値は、製造直後から1日後迄ほぼ一定であり、タカキビとモチアワは0.960~0.965、次にイナキビの0.974~0.977、ヒエの0.985~0.993であった。このy切片値は、モデル団子の触感と比例する傾向があり、値が低いほどモチ状の触感があり、値が高いほどボクボクした触感が強くなった。

辻ら<sup>10)</sup>は、食パンのクラムの回復力を示すパラメーターを、同一バイト率におけるプランジャーのプラスの仕事量 $+A_n$ (g.sec)を用いた、 $+A_{n+1}/+A_n$ の変化で検討している。そして、食パンの貯蔵及び冷蔵にともなってこの値が低下することを示した。

今回の試験では、応力Hの比 $H_{n+1}/H_n$ について着目し、

この値をプロットし直線近似させることによって算出される一次直線について、その傾きとy切片値を求め検討を行った。傾きは、応力Hの比 $H_{n+1}/H_n$ を平滑化した値であり、また、y切片の値は、バイト率%(試料表面に相当する位置)での回復力( $H_2/H_1$ )として外挿される値である。本実験の傾きは、辻らの回復力と同様の意味を持つと考え、触感との相関が現れる値と予想したが、ばらつきがあり傾向は一定しなかった。しかし、y切片の値は、前述のように製造直後から1日後まで値が安定し、雑穀間の比較において低値ほどモチ状の触感が強くなる傾向があった。つまり、搗きたて直後のモチのように流動性の高い試料ほど、試料表面部分での圧縮応力は弱くなり、回復力( $H_2/H_1$ )値が低い値をとると考えられた。

このように、多重積算バイト法による測定値を解析した回復力( $H_{n+1}/H_n$ )で、雑穀の種類間における微妙な触感の差を、ある程度評価できることがわかった。

### 3-2 物性と澱粉の老化との関連

#### 3-2-1 X線回折測定

雑穀の澱粉の老化の度合いを調べるため、X線回折を測定した。糊化状態から老化が進行すると澱粉の再結晶化がはじまり、X線回折曲線にピークとして現われる。4種の雑穀のモデル団子の保存試験品のX線回折曲線を図6~9に示す。

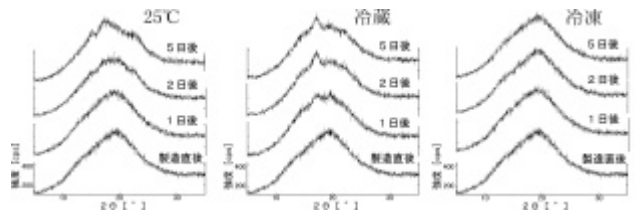


図6 タカキビのX線回折曲線

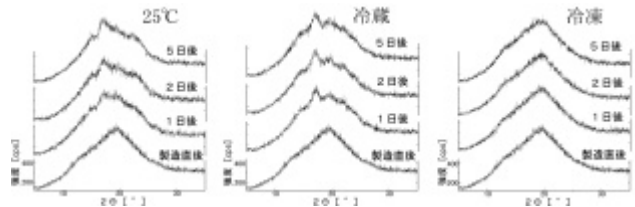


図7 イナキビのX線回折曲線

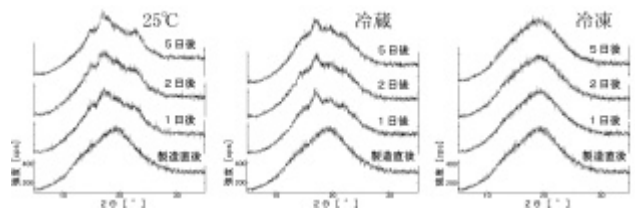


図8 モチアワのX線回折曲線

## 雑穀で作ったもち菓子の物性

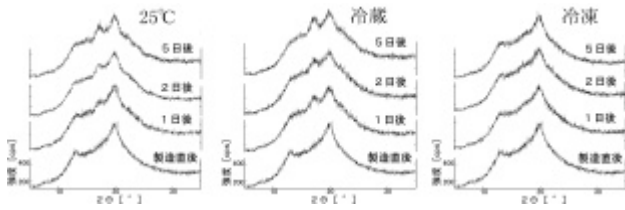


図 9 ヒエの X 線回折曲線

25 保存では、タカキビは他の 3 種よりも結晶化する速度が遅かった。テンシプレッサーによる物性測定の結果から、Hardness、Tenderness、Toughness の値について、タカキビは経時変化が少ないことが測定されているが、この結果と結晶化する速度は比例関係になった。

### 3 - 2 - 2 糊化度測定

澱粉の老化現象の一つに糊化度の低下がある。糊化度の測定には、アミラーゼ・プルラーゼ系酵素が生澱粉と糊化澱粉に対する分解性に非常に大きな差があることを利用する、アミラーゼ・プルラーゼ法 (BAP 法) がよく用いられる。この BAP 法で、モデル団子の糊化度を測定した。タカキビとその対照としてイナキビについて、25 で 2 日保存を行い、糊化度の推移を測定した結果を、図 10 に示す。

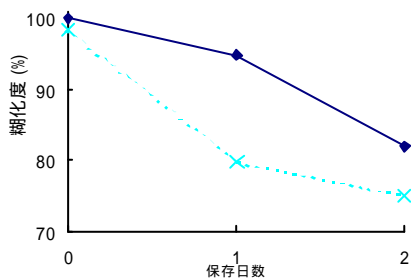


図 10 糊化度の推移(25 保存)  
—◆— タカキビ —×— イナキビ

糊化度でも、タカキビの糊化度の低下傾向が遅く、テンシプレッサーの物性測定結果 (Hardness、Tenderness、Toughness) と同様の傾向であった。

### 3 - 3 冷蔵、冷凍時の経時変化

#### 3 - 3 - 1 X 線回折測定

冷蔵及び冷凍試験区の X 線回折結果 (図 6 ~ 9) から、保存試験区間の比較では、25 保存区よりも、冷蔵保存区の方が結晶化の速度が速かった。一般に、澱

粉の老化は冷凍では進まず<sup>4)</sup>、冷蔵庫の温度付近で最も進むことが知られており<sup>12)</sup>、測定結果はこれを裏づける。雑穀間の比較では、タカキビは 25 保存区、冷蔵保存区ともに、結晶化の速度は遅く、冷凍保存区では、5 日間の保存でも結晶化はおこらないでいた。

#### 3 - 3 - 2 糊化度測定

タカキビとその対照としてのイナキビについて、冷蔵、冷凍および 25 で 7 日間保存した場合の糊化度の推移を図 11 に示す。

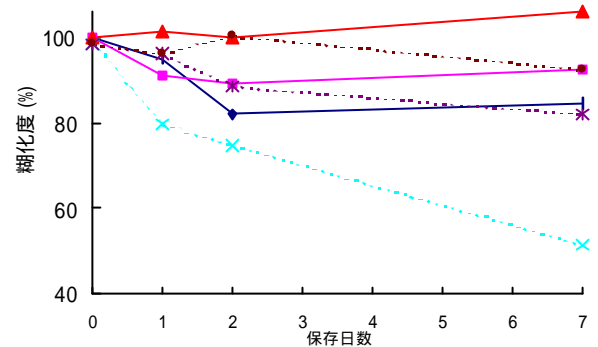


図 11 冷蔵、冷凍、25 保存した場合の糊化度の推移

タカキビ、イナキビともに冷蔵保存品よりも 25 保存品が糊化度の低下が大きかった。しかし、X 線回折法での結晶化の測定では、冷蔵保存が 25 保存よりも結晶化の進行が速く逆の結果となった。この原因は不明であるが、BAP 法による糊化度の低下、X 線回折法による結晶化はともに、澱粉の老化現象の一断面をとらえているに過ぎない<sup>11,12)</sup>。このように異なる結果となった原因について、今後さらに検討する必要がある。

2 種の雑穀の比較では、各保存試験区でタカキビの方が糊化度の低下は遅かった。タカキビは、X 線回折法での測定結果でも他の 3 種より結晶化が遅く、澱粉の老化現象についてその進行が遅いと考えられた。

## 4 結語

雑穀で作ったもち菓子の物性変化を調べるため、物性の測定条件の検討を行い、今回測定対象とした 4 種の雑穀の評価を行うとともに、デンプンの老化傾向との関連を調査した。

(1) 板状に整形して蒸したモデル団子 4 種について、テンシプレッサーによる物性の測定方法を検討した。1 バイト法では、モデル団子の 1 日後のかたさの違い

を測定できた。積算微小変位測定法では、経時的なかたさの変化が少ないタカキビについて、しなやかさ・柔軟性の低下を確認することができた。多重積算バイト法では、試料表面部分の回復力に相当する指標を導き、流動性の高い試料はこの値が低下することを示した。

(2)4種の雑穀のモデル団子は、保存1日後のかたさが、タカキビ<モチアワ<イナキビ<<ヒエの順であった。タカキビは、経時的にしなやかさ・柔軟性が失われるものの、TendernessやToughnessの変化が少なく、団子の素材として特徴があった。

(3)BAP法による糊化度と、X線回折法による結晶化の測定により、タカキビ団子中のデンプンが老化しにくく、経時的な変化が少ないことがわかった。

(4)冷蔵庫(4℃)、冷凍庫(-20℃)での保存試験を行い、デンプンの老化傾向を調べた。冷凍保存によってデンプンの老化が停止されることは、X線回折法、BAP法の測定結果で示された。冷蔵は、デンプンの老化が一番進行する温度域であるが、X線回折の結果はこれを示す結果であった。

## 文 献

- 1)唐沢秀行, 大日方洋, 金子昌二, 村松信之, 大池昶威:長野食工試報,22,44(1994)
- 2)関沢憲夫, 荒川善行, 遠山良, 村井一男:岩手醸試報,15,177(1981)
- 3)谷地田武男, 中島幸一, 中村厚子:新潟食品研報,13,33(1974)
- 4)谷地田武男, 中島幸一, 中村厚子:新潟食品研報,13,41(1974)
- 5)谷地田武男, 中島幸一, 中村厚子:新潟食品研報,14,23(1977)
- 6)永島伸浩, 川端昌子, 中村道徳:澱粉科学,37,243(1990)
- 7)有坂将美, 吉井洋一, 今井誠一:日食工試,38,86(1991)
- 8)釘宮正住, 前梶健治, 酒井宏美:広島食工試研報,14,1,(1977)
- 9)岡留博司, 豊島英親, 大坪研一:食科工,43,1004(1996)
- 10)辻昭二郎, 遠藤克己:日食工誌,39,25(1992)
- 11)貝沼圭二, 松永暁子, 板川正秀, 小林昭一:澱粉科学,28,235(1981)
- 12)二国二郎編:デンプンハンドブック,p.70,朝倉書店(1961)