

## 高齢者嚥下調整食の開発に向けた自然薯のレオロジー解析

山本登志子\* 野村奈央\*\* 山本沙也加\*\* 田中充樹\*\* 目賀拓斗\*\* 津嘉山泉\*\*\*  
戸田圭祐\*\* 川井恵梨佳\* 大野智子\* 木本眞順美\*

**要旨** 少子高齢化を迎えた我が国において、高齢者の低栄養状態や誤嚥性肺炎を回避し、生活の質の向上のために、良質な高齢者嚥下調整食の開発は必須である。最近、私達は、自然薯が、炎症性脂質メディエーターのプロスタグランジン (PG) E<sub>2</sub>の合成を抑制し、抗炎症・抗腫瘍効果を有することを明らかにした。本研究では、自然薯のレオロジー特性を解析し、安全な高齢者嚥下調整食の物性指標と比較するために、厚生労働省の基準 (I (嚥下難易度 重度) ~ III (軽度)) にそったテクスチャー測定とレオメータによる動的粘弾性の測定を行った。自然薯生すりおろしはテクスチャー項目の「硬さ」と「凝集性」には優れていたが「付着性」が基準外で、30% 自然薯粉末はいずれの指標においても基準 II に該当した。また、動的粘弾性では、生よりも 10-30% 自然薯粉末の方が増粘剤として適する値を示した。以上の結果から、自然薯粉末を利用した嚥下食の開発の可能性を見出した。

**キーワード**：自然薯、レオロジー解析、嚥下調整食、高齢者食

## I. 緒言

現在の我が国においては、65歳以上の人口割合を表す高齢化率は25%を超え、4人に1人が高齢者、10人に1人が75歳以上という「超高齢社会」となっている。超高齢社会の課題の一つは、国民医療費の削減にも繋がる健康寿命の延伸である。食事の経口摂取が高齢者の生活の質 (Quality of Life, QOL) の向上に良い効果をもたらすことが知られているが、生理的・病的老化に伴う摂食障害 (咀嚼・嚥下障害) は QOL を下げる一番の原因となるばかりでなく、高齢者を低栄養状態に陥らせ、また、誤嚥から肺炎を引き起こし死に至る問題ともなりうる。肺炎は、平成 23 年度以降の我が国の死因別死亡率第 3 位となっており、そのうち 70% 以上が誤嚥性肺炎である。高齢者や嚥下困難者の QOL の向上のためにも、誤嚥を回避できる食品に対する取り組みが重視され、様々な介護食の開発ならびにそれに適した食品の物性に関する研究が行われている<sup>1,2)</sup>。

ヒトは固形物あるいは半固形物の食べ物を嚥下で、それを唾液と混ぜ、食塊として飲み込む。この

ような嚥下過程において、嚥下反射により食塊が咽頭部を通過すると、喉頭が上前方へ挙上するとともに喉頭蓋が下がり気管への入り口が閉鎖される。しかしながら、高齢者では、この反射がスムーズに起こらなくなり、喉頭蓋による気管入り口の閉鎖がおくれて、食べたものが気管に入りやすくなってしまふ。特に、希薄な液体状のものは咀嚼や唾液と混ぜることなく飲み込まれ分子間の結合がほとんどなく直ちに流れてしまうので、多くの嚥下困難者は咽頭閉鎖の調節がうまくできず、粘性の低い液体を吸引するようになる<sup>3,4)</sup>。そこで、嚥下困難者に対して、粘性や食物粒子間の結合性を強くするために、食品に増粘剤やゲル化剤が加えられる。増粘剤やゲル化剤を含む多くの市販食品や粉ものが開発されているが、飲み込みが困難な患者に対するこれら食べ物適切な物性は十分に分かっていない。

我が国でみられる「ヤマノイモ」は、ヤマノイモ科 (*Dioscoreaceae*) に属する多年生植物であるヤマノイモ (*Dioscorea japonica*) とナガイモ (*Dioscorea opposita*) の 2 種に分けられ、前者を自然薯と呼ぶ。

\* 岡山県立大学保健福祉学部栄養学科  
\*\* 岡山県立大学大学院保健福祉学研究科  
\*\*\* 岡山県立大学大学院保健福祉科学研究科

〒719-1197 総社市窪木111  
〒719-1197 総社市窪木111  
〒719-1197 総社市窪木111

表1 えん下困難者用食品の許可基準

	硬さ (N/m <sup>2</sup> )	付着性 (J/m <sup>3</sup> )	凝集性	嚥下難易度
許可基準 I	2.5 × 10 <sup>3</sup> ~ 1.0 × 10 <sup>4</sup>	4.0 × 10 <sup>2</sup> 以下	0.2 ~ 0.6	重度
許可基準 II	1.0 × 10 <sup>3</sup> ~ 1.5 × 10 <sup>4</sup>	1.0 × 10 <sup>3</sup> 以下	0.2 ~ 0.9	↕
許可基準 III	3.0 × 10 <sup>2</sup> ~ 2.0 × 10 <sup>4</sup>	1.5 × 10 <sup>3</sup> 以下	—	軽度

厚生労働省、2009年<sup>13)</sup>

ヤマノイモ科に属する植物は、糖質、必須アミノ酸、無機質、ビタミンCなどの栄養成分に富み、その他、酸性糖たんぱく質であるムチン、多糖類ならびに植物ステロールのような生理活性物質を含むことから、良好な食材として利用されてきた<sup>58)</sup>。最近、私達は自然薯の低温乾燥粉末抽出物に、老化に伴い増加する多くの慢性疾患に関連の深いPGE<sub>2</sub>の合成に関与する酵素の発現抑制効果を見出し、さらにモデル動物を用いて、自然薯の抗炎症・抗腫瘍効果を明らかにしている<sup>9-10)</sup>。このように高齢者にとって有利に働く高い機能性と“のど越しの良さ”が期待できる物性を兼ね備えた自然薯の利用は、前述した高齢者の食生活上の問題点の解決に繋がるものと考えられる。しかしながら、これまで、嚥下機能効果をターゲットとした自然薯の物性特性についての研究はなされていない。

本研究においては、高齢者嚥下調整食に適した食材の開発に向けて、自然薯のすりおろしのレオロジー特性について解析した。嚥下困難な高齢者に対しては、まず誤嚥しにくい適切な物性の食材を提供することが必要になる。そのための嚥下調整食の標準化と客観的な基準として、金谷らによって摂食・嚥下障害の程度に応じた段階的な食事基準“嚥下食ピラミッド”が示された<sup>11, 12)</sup>。高齢者が誤嚥しにくい介護食の物性を感覚的に表すと「“べたつき”の度合いが小さく、咽頭部での“まとまりやすさ”が良好である」となる。これらの感覚を客観的、定量的に評価する方法として、現在ではテクスチャー測定(Texture Profile Analysis, TPA)から得られる「付着性」と「凝集性」の指標が用いられるようになってきている。現在は、これらに「硬さ」を加えた3つの指標による「えん下困難者用食品の許可基準(2009年)」(表1)が設定されている<sup>13)</sup>。この基準では、それぞれの指標数値に基づいて、えん下困難重度(許可基準I)~軽度(許可基準III)の3段階が示されている。しかし、本法による「付着性」

と「凝集性」が誤嚥を防ぐ食品設計に必要な咽頭部における付着性と凝集性を正確に反映できるかどうか疑わしい<sup>14)</sup>。したがって、本研究においては、TPA法による静的粘弾性を測定するとともに、咽頭部における食品の流動特性の評価にふさわしい動的粘弾性<sup>15)</sup>の測定を行い、生自然薯と低温乾燥自然薯粉末溶液のレオロジー的性質を解析した。

## II. 材料と方法

### 1. 実験材料

生自然薯ならびに自然薯の低温乾燥粉末は、(有)オート来夢ヨシオ(岡山県新見市)より提供されたものを用いた。自然薯粉末は、生自然薯の皮を取り除き、天日干し(40℃以下の低温乾燥)後、粉碎し、60メッシュを通して均質粉末にした試料である。長いものは、青果市場より入手した。

### 2. 実験方法

#### 2-1. 試料の調製

生の自然薯ならびに長いもの皮を剥き、すりおろしたものを物性測定に供した。自然薯ならびに長いもの水分含量<sup>16)</sup>に基づいて、水分量が等しくなるように調整した。これを自然薯の水分調整試料とした。低温乾燥自然薯粉末を無水物換算(w/v)で、30%、20%、10%濃度になるようにペースト状の水溶液を作製した。これらの粉末濃度は、生の自然薯ならびに長いもの水分含量<sup>16, 17)</sup>を参考にして設定した。

#### 2-2. テクスチャー測定

テクスチャー特性は、クリープメータRE2-33005B(株式会社山電)を用いて、厚生労働省が示した「えん下困難者用食品の許可基準」<sup>13)</sup>の規格に従って測定した。試料を直径40mm、高さ15mmのステンレス製容器に高さ15mmまで充填し、直径20mm、高さ8mmの樹脂製プランジャーを用

い、定速圧縮法により圧縮速度 10 mm/s の 2 回圧縮、クリアランス 5 mm、測定温度  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  にて測定した。得られた記録曲線より、「硬さ」、「付着性」および「凝集性」を算出した。

### 2-3. 動的粘弾性測定

動的粘弾性はレオメータ Rheosol-G3000（株式会社ユービーエム、京都）により、直径 25 mm の平行板治具を用い、ギャップ（試料厚）1.0 mm、測定温度  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  にて測定を行った。周波数依存性は、いずれの試料も線形領域であるひずみ量 0.5% で、周波数 0.1-62.8 rad/s までの測定を行った。

動的粘弾性とは、周期的に振動するひずみを与えたとき、どのような応答波形を示すかによって得られる物性である。与えるひずみの波形より進んだ量を位相差  $\delta$  とすると、純弾性体は  $\delta$  が 0、純粘性体は  $\delta$  が  $\pi/2$  となり、粘弾性体のそれはこの間になる。この測定により、弾性要素である貯蔵剛性率  $G'$  (Pa) と粘性要素である  $\eta'$  (Pa · s) が求められ、両パラメータと  $\delta$  の関係は  $\tan \delta = \omega \eta' / G'$  となる。さらに、これらパラメータならびに各種法則に基づく変数変換によって、粘弾性を示す損失剛性率  $G''$  (Pa) =  $\omega \eta'$ 、損失正接  $\tan \delta = G'' / G'$  となる。 $\tan \delta$  が大きい小さいかによって粘性、弾性のどちらの要素が強いかを比較できる。複素弾性率  $G^*$  (Pa) =  $G' + iG''$  ( $i$  は虚数単位である)、複素粘性率  $\eta^*$  (Pa · s) は、 $\eta^* = G^* / (i \omega)$  と定義される。

### 2-4. 統計処理

同じ調製試料を 5 ~ 10 回測定して得られたデー

タから、分散分析法 (ANOVA) で、Tukey の群間比較を行った。統計的有意水準は  $p < 0.05$  とした。

## III. 結果および考察

### 1. 生ヤマノイモすりおろしにおけるテクスチャー特性の比較と許可基準による評価

表 2 に生自然薯と生長いものすりおろし、そして生長いも水分含量に合わせて水を添加した水分調整自然薯試料のテクスチャー測定を示した。「硬さ」については、自然薯が  $5190 \text{ N/m}^2$  の最高値を示した。次いで、水分調整自然薯の  $860 \text{ N/m}^2$ 、長いものが  $680 \text{ N/m}^2$  となった。「凝集性」は、いずれも 0.53 ~ 0.62 で有意差は認められなかった。「付着性」は、自然薯が  $1110 \text{ J/m}^3$  と著しい高値を示した。以上の結果から、自然薯は「硬さ」と「凝集性」においては、許可基準 I の範囲にあるが、「付着性」については、許可基準 III までレベルが下がっている。このことは、より重度の嚥下困難者へのヤマノイモのすりおろしの提供には、自然薯では「付着性」が、長いもでは「硬さ」の点で問題となる。自然薯は長いもに比べて水分含量が少なく、タンパク質ならびに炭水化物を多く含む<sup>16, 17)</sup>。このような成分の違いがテクスチャー特性に影響をおよぼすと考えられる。長いもの水分含量に調整した自然薯すりおろしのテクスチャー特性が長いものそれに近づいたことから、加水により、粘性の素となる糖タンパク質と多糖類の濃度が薄められたことにより「硬さ」と「付着性」のパラメータが低下したものと考えられる。このことは、嚥下困難者の重症度に合わせた食材の調製が可能であることを示唆するものである。

表 2 自然薯および長いものテクスチャー特性

	硬さ ( $\times 10^3 \text{ N/m}^2$ )	凝集性	付着性 ( $\times 10^3 \text{ J/m}^3$ )
長いもすりおろし	$0.68 \pm 0.04$ III <sup>b</sup>	$0.62 \pm 0.01$ II	$0.13 \pm 0.01$ I
自然薯すりおろし	$5.19 \pm 0.30^a$ I	$0.56 \pm 0.02$ I	$1.11 \pm 0.09^a$ III
自然薯水分調整	$0.86 \pm 0.05$ III	$0.53 \pm 0.01$ I	$0.16 \pm 0.01$ I

数値は、平均値 ± 標準偏差を示す。(n = 7)

<sup>a</sup>同じ項目について、「長いもすりおろし」に対して  $p < 0.05$

<sup>b</sup>厚生労働省の「えん下困難者用食品の許可基準」による評価

表3 自然薯粉末溶液濃度変化テクスチャー特性

	硬さ ( $\times 10^3$ N/m <sup>2</sup> )	凝集性	付着性 ( $\times 10^3$ J/m <sup>3</sup> )
自然薯すりおろし	4.58 $\pm$ 0.37 <sup>b</sup> I <sup>c</sup>	0.56 $\pm$ 0.03 I	1.01 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup> III
自然薯粉末30%溶液	1.66 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup> II	0.62 $\pm$ 0.02 II	0.48 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup> II
自然薯粉末20%溶液	0.51 $\pm$ 0.04 <sup>a, b</sup> III	0.63 $\pm$ 0.02 II	0.12 $\pm$ 0.01 <sup>a, b</sup> I

数値は、平均値 $\pm$ 標準偏差を示す。(n=5)

<sup>a</sup>同じ項目について、「自然薯すりおろし」に対して $p < 0.05$

<sup>b</sup>同じ項目について、「自然薯粉末30%溶液」に対して $p < 0.05$

<sup>c</sup>厚生労働省の「えん下困難者用食品の許可基準」による評価

表4 自然薯すりおろし方法別テクスチャー特性

	硬さ ( $\times 10^3$ N/m <sup>2</sup> )	凝集性	付着性 ( $\times 10^3$ J/m <sup>3</sup> )
自然薯すりおろし	7.14 $\pm$ 0.29 I <sup>b</sup>	0.50 $\pm$ 0.02 I	1.36 $\pm$ 0.05 III
自然薯ハンドミキサー	1.97 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup> II	0.58 $\pm$ 0.02 I	0.52 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup> II

数値は、平均値 $\pm$ 標準偏差を示す。(n=7)

<sup>a</sup>同じ項目について、「自然薯すりおろし」に対して $p < 0.05$

<sup>b</sup>厚生労働省の「えん下困難者用食品の許可基準」による評価

## 2. 生自然薯すりおろしと低温乾燥自然薯粉末のテクスチャー特性の比較

自然薯低温乾燥粉末の20%と30%のペースト溶液を作製し、生自然薯すりおろしとテクスチャー特性について比較した(表3)。自然薯すりおろしの水分含量(67%)とほぼ一致する粉末30%ペースト溶液の「硬さ」は1,660 N/m<sup>2</sup>となり、自然薯すりおろし(4,580 N/m<sup>2</sup>)の約1/3にまで低下した。また、付着エネルギーは480 J/m<sup>3</sup>を示し、自然薯すりおろし(1010 J/m<sup>3</sup>)の約1/2の値となった。一方、粉末20%のペースト溶液については、3つのパラメータともに長いもすりおろし(水分含量87%)のそれ(表2)に近づいた値を示した。凝集性の特性は、いずれの試料においても、先の実験と同様に差は認められなかった。これらの結果から、生自然薯のすりおろしと水分含量が近似しているにもかかわらず、自然薯粉末調整品において、テクスチャー特性が著しく異なることが明らかとなった。

## 3. 自然薯のテクスチャー特性に及ぼす調製法の影響

先の実験結果から、生自然薯と粉末試料におけるテクスチャー特性の相違の原因として調製法の違いに着目した。表4は、生自然薯を陶器製おろし器とハンドミキサーでおろしたときのテクスチャー特性を比較した結果である。生自然薯のハンドミキサーによる調製品はすりおろし試料に比べて、「硬さ」と「付着性」において、明らかに異なる特性を示し、生自然薯と粉末30%ペースト溶液におけるテクスチャー特性の相違の様相(表3)と一致した。本結果から、ハンドミキサーを用いた調製法では、自然薯に含まれる成分(粘質物)が細胞から十分に溶出していないために分子間の三次元的な構造が形成されなかったものと考えられる。

## 4. 自然薯のテクスチャー特性に及ぼす温度の影響

測定温度のテクスチャー特性に与える影響について検討するために、自然薯乾燥粉末20%ペースト

表5 自然薯粉末20%溶液のテクスチャーにおよぼす温度の影響

	硬さ ( $\times 10^3$ N/m <sup>2</sup> )	凝集性	付着性 ( $\times 10^2$ J/m <sup>3</sup> )
自然薯粉末10℃	0.65 $\pm$ 0.03 III <sup>b</sup>	0.62 $\pm$ 0.02 II	1.77 $\pm$ 0.08 I
自然薯粉末20℃	0.39 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup> III	0.67 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup> II	1.02 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup> I
自然薯粉末43℃	0.35 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup> III	0.65 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup> II	1.04 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup> I

数値は、平均値 $\pm$ 標準偏差を示す。(n=6)

<sup>a</sup>同じ項目について、「自然薯粉末10℃」に対して $p < 0.05$

<sup>b</sup>厚生労働省の「えん下困難者用食品の許可基準」による評価

溶液を各温度で2時間保存して測定した。表5に示すように、10℃の低温領域の試料は、他の温度帯に比べて「硬さ」と「付着性」のパラメータが有意に上昇した。この結果は、自然薯乾燥粉末を調理材料として利用する際の貴重な情報となる。

以上、「えん下困難者用食品の許可基準」の規格に従って、自然薯ならびに低温乾燥自然薯粉末のテクスチャー特性を解析してきた。各条件によって「硬さ」と「付着性」のパラメータは大きく、また相互に類似した変化が見られ、試験試料の粘調性をきわめて正確に反映していることが窺えた。しかし、食塊形成能という介護食に重要な特性である“まとまりやすさ”を反映できるとされている「凝集性」について、いずれも0.47～0.67の範囲にあり、許可基準評価ではIあるいはIIに属し、極めて良好な結果が得られている。熊谷らは、TPA測定で得られる「凝集性」は、機械的変形の意味での“まとまりやすさ”を表すパラメータであり、これによって口腔内での食塊形成能を評価するには問題があると指摘している<sup>14)</sup>。同時に、嚥下しやすい食品の開発には、咽頭部流速に関わる物性を吟味する必要があると述べている。すなわち、咽頭部の流速と粘度、動的粘弾性の関係を明らかにすることが重要な課題となる。

## 5. 自然薯および低温乾燥自然薯粉末溶液の動的粘弾性

動的粘弾性は食品ハイドロコロイド中の高分子の分散や絡まり状態を反映し、ゲルやゾルについて測定される。ハイドロコロイドは、弾性の測定値である $G'$ や粘性成分を表す $G''$ の角周波数( $\omega$ )依存性

に従って、次のように流動学的に特徴づけられる<sup>18, 19)</sup>。(1) 強力ゲル型(弾性のあるゲルあるいは真のゲル):  $G'$ が $G''$ に比べてはるかに大きく、両者ともに角周波数( $\omega$ )に依存しない。(2) 弱いゲル型:  $G'$ が $G''$ に比べて少し大きく、両者ともにわずかに角周波数( $\omega$ )に依存して増加する。(3) 高分子濃厚溶液型:  $G'$ と $G''$ がともに角周波数( $\omega$ )に依存して増加するが、低周波領域で $G'' > G'$ 、高周波領域で $G' > G''$ である。 $G'$ と $G''$ の交差は試料の濃度あるいは平均分子量が高いほど低周波に移動する。(4) 希薄溶液型: 全周波領域において $G'' > G'$ であり、両者ともに角周波数( $\omega$ )に依存して増加する。

図1に生自然薯すりおろしおよび低温乾燥自然薯粉末溶液の動的粘弾性の角周波数依存性の測定結果を示す。図1-Aに示されているように、生自然薯すりおろし試料、粉末30%および20%のペースト溶液については、低周波領域で $G'$ が $G''$ よりわずかに小さく、両者はともに角周波数( $\omega$ )に依存して増加した。そして、ある周波数のところで交差し、高周波領域で $G'$ が $G''$ より大きくなった。したがって、生自然薯すりおろしとこの濃度範囲の自然薯ペースト溶液は、高分子濃厚溶液型として特徴づけられる。30%と10%の粉末ペースト溶液のみを比較した測定(図1-B)では、粉末10%ペースト溶液は、全周波領域において $G''$ が $G'$ より大きく、両者ともに角周波数( $\omega$ )に依存して増加した。このことから、粉末10%ペースト溶液は、希薄溶液型として特徴づけられた。先の結果に基づいて、 $\tan \delta = G'' / G'$ の関係式から $\tan \delta$ を算出し、それを縦軸としたグラフを図2に示した。生自然薯ほどの周波数においても $\tan \delta$ が1よりも小さく、粘性よりも弾性

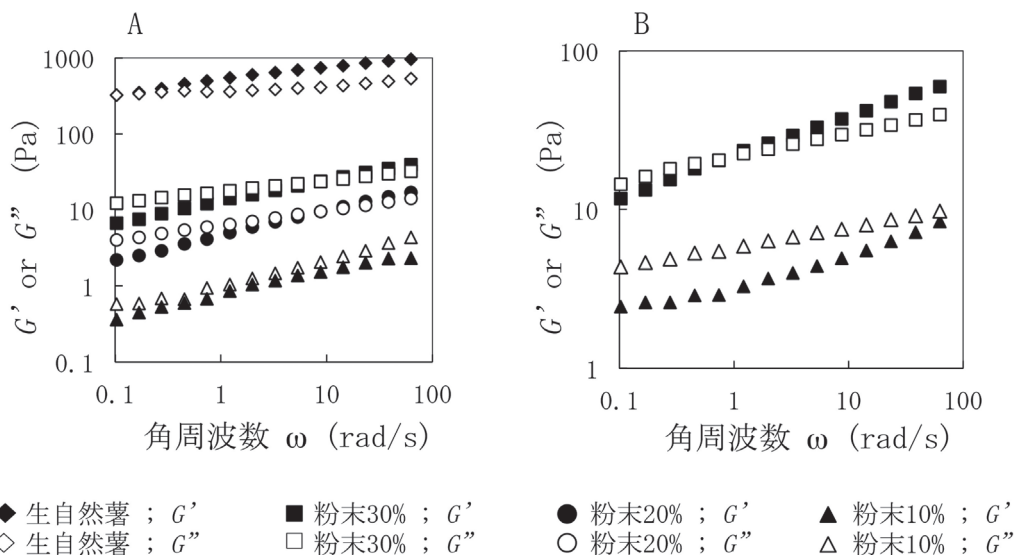


図1 生自然薯と自然薯粉末溶液の動的粘弾性の周波数依存性

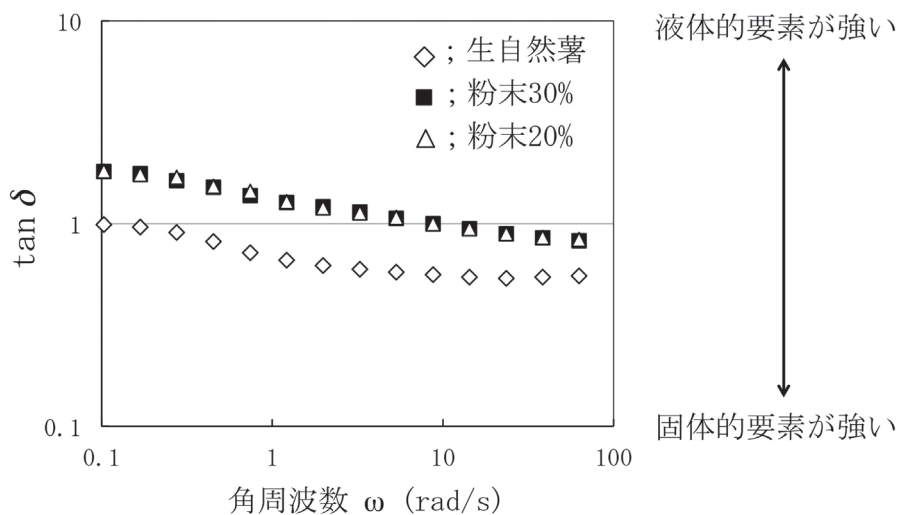
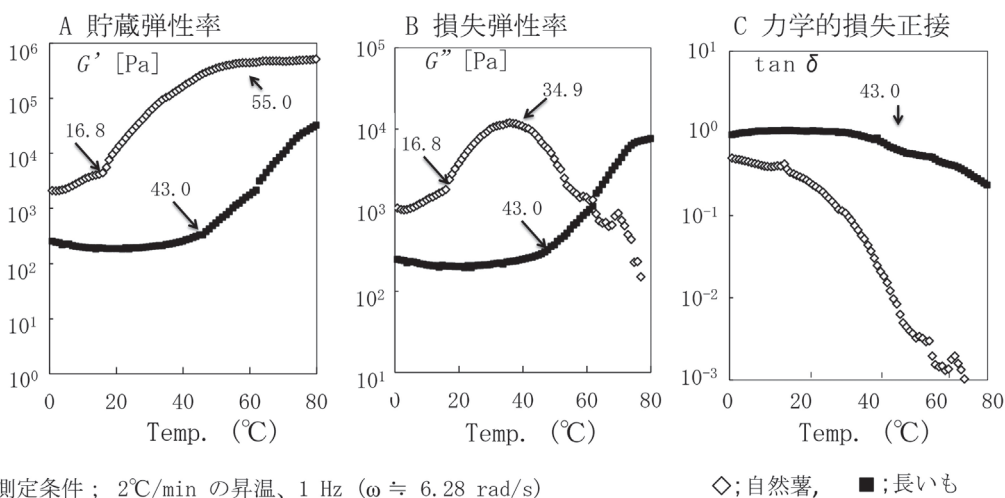


図2 生自然薯と自然薯粉末溶液の損失正接 ( $\tan \delta$ ) の周波数依存性



測定条件 ; 2°C/min の昇温、1 Hz ( $\omega \div 6.28 \text{ rad/s}$ )

◇ ; 自然薯, ■ ; 長いも

図3 自然薯と長いもすりおろしの動的粘弾性に与える温度の影響

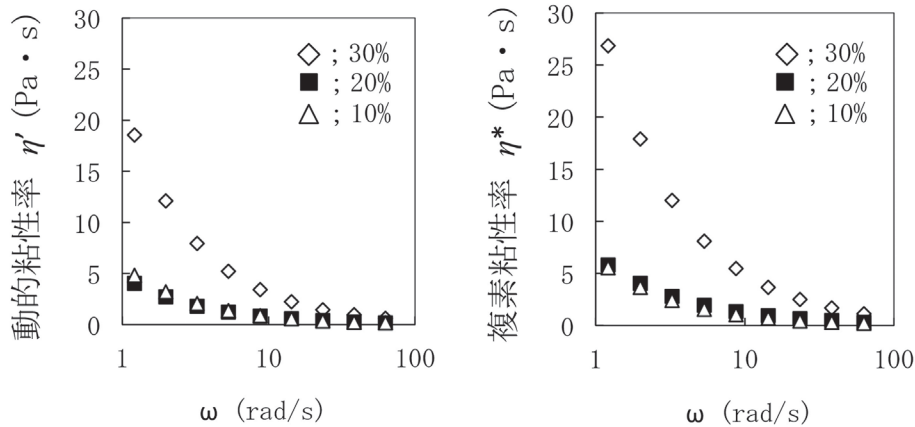


図4 自然薯粉末溶液の動的粘性率 ( $\eta'$ ) と複素粘性率 ( $\eta^*$ ) の周波数依存性

の支配が大きく、常に固体的な挙動を示すことを表している。一方、粉末30%および20%のペースト溶液はほとんど同じカーブを描き、高い周波数では  $\tan \delta$  が1よりも小さく、生自然薯と同様に弾性が強く、それは周波数が低くなるにしたがって上昇し、角周波数10 rad/s以下の低周波領域は1よりも大きくなった。これらは、じっと置いておくと流れて平たくなるという様相を示す。

### 6. 自然薯および長いもすりおろしの動的粘弾性の温度依存性

すりおろした自然薯と長いもの動的粘弾性の温度依存性を明らかにする目的で測定した結果の貯蔵弾性率  $G'$  (図3-A)、損失弾性率  $G''$  (図3-B) および力学的損失正接  $\tan \delta$  (図3-C) の温度依存性を解析した。測定は、周波数1 Hz ( $\omega = 6.28$  rad/s) のもとで、温度を1分間に2℃の昇温速度で0℃から80℃まで上昇させ行った。

測定開始時、すなわち加熱されていない状態(0℃)での  $G'$  は、自然薯:2,124 Pa、長いも:300 Paであり、 $G''$  は自然薯:1,064 Pa、長いも264 Paであった。その後、自然薯:16.8℃、長いも:43.0℃で  $G'$  の立ち上がりが認められた。また、 $G''$  の立ち上がり温度は自然薯:16.8℃、長いも:43.0℃で、それぞれ  $G'$  の立ち上がり温度と一致した。さらにその後、自然薯の  $G'$  は60℃で最高値 ( $4.4 \times 10^5$  Pa) に達し、80℃においてもその値を保持していた。一方、粘性要素である  $G''$  は35℃近辺で最高値 ( $1.2 \times 10^4$  Pa) を示し、その後直ちに下降した。これと対照的に、長いもの  $G'$ 、 $G''$  は立ち上がりの温度ならびにピーク時の温度もほぼ一致した。この

ように自然薯と長いもの温度依存性は全く異なる様相を示した。弾性、粘性の支配力を示す  $\tan \delta$  (図3-C) の結果も例外ではなく、自然薯では20℃前後を境に急降下したカーブが得られたが、長いもでは43℃以降、緩やかな値の低下が認められた。自然薯や長いもでは、前述したように、水分含量、デンプン含量、粘質物の含量ならびに性質が大きく異なるので、これらの成分の相互作用による溶液中の不溶性粒子の分散状態も異なってくるものと考えられる。Tanglertpaibulらは、粘弾性に影響を与える要因として、液中に分散する不溶性粒子の量だけでなく、粒子の形や大きさも影響していることを示唆している<sup>20)</sup>。また、自然薯の粘質物である糖タンパク質が加熱されることで、熱変性によるゲル形成がなされ、タンパク質同士の結合が三次元網目構造を形成した可能性も考えられる。いずれにしても、ヤマノイモ科の特有な物性を理解するためには多様な成分の解析結果を待たなければならない。

以上、生自然薯、長いもならびに低温乾燥自然薯粉末の動的粘弾性を測定し、各種物理的指標の動き、またそれから推測されるレオロジー的性質について考察した。しかしながら、高齢者嚥下調整食(介護食)に適した物性特性とは何であるかを決定するのは難しい。最近、熊谷らは、人体への影響が少ない超音波パルスドプラー法により、嚥下時の咽頭部における流速測定を行い、測定される流速分布と食品物性との関係について詳細に検討している<sup>15, 21-24)</sup>。食塊が咽頭部を通過するときの様子を「通過時間(0.5 s)」、「流速(m/s)」、「粒子密度」から成る三次元スペクトルによって分析すると、誤嚥しやすい水では流速分布が広く(様々な流速の粒子が

バラバラになって通過している)、一方誤嚥しにくいと言われるヨーグルトは、流速の遅い粒子がまとまって通過していると解釈されている。こうして得られたスペクトルの解析結果から、熊谷らは最大流速  $V_{max}=0.2$  m/s が誤嚥しにくい指標になると結論づけている。さらに、彼らはキサンタンガムやグアガムなどの各種増粘剤溶液の咽頭部流速と動的粘弾性との関係を解析し、ずり速度 ( $\gamma$ ) あるいは角周波数 ( $\omega$ ) が  $25$  s<sup>-1</sup> あるいは  $25$  rad/s における動的粘性率  $\eta'$  ならびに複素粘性率  $\eta^*$  が  $V_{max}$  とよく相関していることを見出している<sup>15)</sup>。すなわち、これらの粘度指標が嚥下困難者用介護食の物性指標として有効であることが示唆された。

## 7. 自然薯粉末溶液の動的粘弾性による咽頭部流速の推定

Tashiro らは、増粘剤溶液の動的粘弾性と咽頭部流速の関係を分析し、一般的な食品モデルとしてヨーグルトを例に、相関係数  $R$  と測定結果の外挿によって、ヨーグルトの咽頭部流速の  $V_{max}$  値 ( $0.2$  m/s) や  $V_{max}$  値の標準偏差を考慮した値 ( $0.3$  m/s) となる  $\eta'$ 、 $\eta^*$  の値を算出したグラフを示している<sup>15)</sup>。彼らの理論に基づいて、低温乾燥自然薯粉末 30%、20%、10% のペースト溶液について得られた  $\eta'$  および  $\eta^*$  の値を角周波数 ( $\omega$ ) に対して片対数プロットした結果が図4である。自然薯粉末 30% 濃度溶液の  $\eta'$  は、全周波領域において、ヨーグルトの  $V_{max}$  値となる  $\eta'^{15)}$  に近似した値を示した。また、自然薯粉末 20%、10% 濃度溶液の  $\eta'$  は、ほぼ一致した値を示し、ヨーグルトの  $V_{max}$  値の標準偏差を考慮した妥協できる値 ( $0.3$  m/s) となる  $\eta'^{15)}$  と近似した。このように間接的ではあるが、自然薯乾燥粉末 10-30% 濃度溶液は介護食に適した咽頭部流速を与える可能性のあることが示唆された。

本研究では、自然薯あるいは自然薯粉末のレオロジー解析に基づく、物質の特性を明らかにし、高齢者嚥下調整食への応用に対する可能性を示唆する結果を得た。しかしながら、実際に、嚥下困難者が食する場合の評価は、物性解析だけでは不十分と感じる。そこで、嚥下困難者用食品あるいはその補助食の評価として、正確な嚥下機能評価系の確立が必要である。現在、私達は、簡便で、被験者への負担を軽減した嚥下機能評価系の構築を行っている。この評価系が確立されたならば、レオロジー解析、官能

試験とあわせて、個人に適する嚥下調整食あるいは補助食のテーラーメイドも可能であると考ええる。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、データ解析ならびに実験手技のご助言をいただきました岡山県立大学保健福祉学部栄養学科の新田陽子准教授ならびに我如古葉月助教、動的粘弾性解析のご指導を賜りました(株)ユービーエムの野田茂良様、自然薯粉末のご提供を賜りました(有)オート来夢ヨシオの吉尾壯児様に深く感謝申し上げます。

本研究は、JSPS 15K00792 科研費 (山本登志子) と公益財団法人ひと・健康・未来研究財団の助成を受けたものです。

## 文献

- 1) 高橋浩二：食べる機能の検査法. 臨床栄養, 111, 450-458 (2007).
- 2) Yamagata Y, Izumi A, Egashira F, Miyamoto K, Kayashita J: Determination of a Suitable Shear Rate for Thickened Liquids Easy for the Elderly to Swallow. Food Sci Technol Res., 18, 363-369 (2012).
- 3) Palmer JB: Bolus aggregation in the oropharynx does not depend on gravity. Arch Phys Med Rehabil., 79 (6), 691-696 (1998).
- 4) Palmer JB, DuChane AN, and Donner MW, "Normal and Abnormal Swallowing" Second edition, ed. Jones B, Gebundenes Buch, Berlin, 215-225 (2003).
- 5) Wanasundera JPD, Ravindran G: Effects of cooking on the nutrient and anti-nutrient contents of yam tubers (*Dioscorea alata* and *Dioscorea esculenta*). Food Chemistry 45, 247-250 (1992).
- 6) Hikino H, Konno C, Takahashi M, Murakami M, Kato Y, Karikura M, Hayashi T: Isolation and hypoglycemic activity of dioscorans A, B, C, D, E, and F; glycans of *Dioscorea japonica* rhizophors. Planta Med., 52, 168-171 (1986).
- 7) Hu K, Dong A, Yao X, Kobayashi H, Iwasaki S: Antineoplastic agents; I. Three spirostanol glycosides from rhizomes of *Dioscorea collettii* var. *hypoglauca*. Planta Med., 62, 573-575 (1996).



- 8) Yang DJ, Lu TJ, Hwang LS : Isolation and identification of steroidal saponins in Taiwanese yam cultivar (*Dioscorea pseudojaponica* Yamamoto). *J. Agric. Food Chem.*, 51, 6438-6444 (2003).
- 9) 山本登志子, 田中小百合, 津嘉山泉, 大本安梨紗, 吉尾壯兒, 川上祐生, 木本眞順美, 高橋吉孝 : 生理活性脂質合成系をターゲットとした自然薯粉含有食の食品機能性の解析. *岡山県立大学保健福祉学部紀要* 20 (1), 37-43 (2013).
- 10) Suzuki-Yamamoto T, Tanaka S, Tsukayama I, Takafuji M, Hanada T, Arakawa T, Kawakami Y, Kimoto M, and Takahashi Y : *Dioscorea japonica* extract down-regulates prostaglandin E2 synthetic pathway and induces apoptosis in kung cancer cells. *J. Clin. Biochem. Nutr.*, 55 (3), 162-167 (2014).
- 11) 金谷節子 (編著) : ベッドサイドから在宅で使える嚥下食のすべて. 医歯薬出版, 2006.
- 12) 江頭文江, 栢下淳 (編著) : 嚥下食ピラミッドによる嚥下食レシピ 125. 医歯薬出版, 2007.
- 13) 厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知 : 特別用途食品の表示許可基準について (2009).
- 14) 熊谷仁, 谷米 (長谷川) 温子, 田代晃子, 熊谷日登美 : 高齢者が誤嚥しにくい介護食の物性. *化学と生物*, 49 (9), 610-619 (2011).
- 15) Tashiro A, Hasegawa A, Kohyama K, Kumagai H, and Kumagai H : Relationship between the Rheological Properties of Thickener Solutions and Their through the Pharynx as Measured by the Ultrasonic Pulse Doppler Method. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 74 (8), 1598-1605 (2011).
- 16) 目賀拓斗, 田中小百合, 津嘉山泉, 大本安梨紗, 田中充樹, 戸田圭祐, 川井恵梨佳, 吉尾壯兒, 木本眞順美, 山本登志子 : 自然薯粉の食品機能性の探索とレシピの開発. *岡山県立大学保健福祉学部紀要* 22, 印刷中.
- 17) 新井貞子, 阿久澤さゆり, 澤山茂, 川端晶子 : 凍結乾燥ヤマノイモのレオロジー的性質. *日本家政学会誌*, 47 (6), 555-562 (1996).
- 18) 熊谷仁, 熊谷日登美 : 食品の物性そして水V—レオロジーと食品工業— 嚥下障害者用介護食の物性を中心として. *日本食品工業学会誌*, 10, 137-148 (2009).
- 19) Nishinari K : Reports on Progress in Polymer Physics in Japan, 43, 163-192 (2000).
- 20) Tanglertrpaibul T and Rao MA : Rheological Properties of Tomato Concentrates as Affected by Particle Size and Methods of Concentration. *J. Food Sci.*, 52, 141-145 (1987).
- 21) 長谷川温子, 乙黒明子, 熊谷仁, 中沢文子 : 嚥下したゲル状食品の咽頭部での超音波による流速比較. *日本食品科学工学会誌*, 52, 441-447 (2005).
- 22) 長谷川温子, 中澤文子, 熊谷仁 : 超音波により測定した咽頭部での液状食品の流速に及ぼす嚥下量の影響. *日本食品科学工学会誌*, 55, 330-337 (2008).
- 23) 長谷川温子, 中澤文子, 熊谷仁 : 嚥下困難者用食品の咽頭部での超音波による流速比較. *日本食品科学工学会誌*, 55, 541-548 (2008).
- 24) Kumagai H, Tashiro A, Hasegawa A, Kouhyama K, Kumagai H : Relationship between Flow Properties of Thickener Solutions and Their Velocity through the Pharynx Measured by the Ultrasonic Pulse Doppler Method. *Food Sci. Technol. Res.*, 15, 203-210 (2009).

## Rheological analysis of *Dioscorea japonica* to dysphagia diet development for the elderly

TOSHIKO SUZUKI-YAMAMOTO\*, NAO NOMURA\*\*,  
SAYAKA YAMAMOTO\*\*, MITSUKI TANAKA\*\*, TAKUTO MEGA\*\*,  
IZUMI TSUKAYAMA\*\*, KEISUKE TODA\*\*, ERIKA KAWAI\*,  
TOMOKO OHNO\*, MASUMI KIMOTO\*

\*Department of Nutritional Science, Okayama Prefectural University, Soja, 719-1197, Japan.

\*\*Graduate School of Health and Welfare Science, Okayama Prefectural University, Soja, 719-1197, Japan.

**Abstract** In Japan, decreasing birthrate and aging of society are promoted, and therefore a development of quality dysphagia diet is necessary for an avoidance of undernutrition and aspiration pneumonitis in elderly people. Recently, we found that *Dioscorea japonica* suppressed prostaglandin E<sub>2</sub> synthetic pathway and prevented inflammation and carcinogenesis in mouse squamous cell carcinoma of the skin. *Dioscorea japonica* with such high food functionality will be useful for a quality dysphagia diet. The aims of this study regarding *Dioscorea japonica* were an analysis of the rheological property and a comparison with that of safety dysphagia diet. We performed Texture Profile Analysis (TPA) on the basis of the standard specified by Ministry of Health, Labour and Welfare (level I-III for dysphagia diet), and analyzed the rheological property by a rheometer. In TPA, the grated raw *Dioscorea japonica* was very suitable in “hardness” and “aggregability” and was unsuitable in “adherability” for person with dysphagia. The 30% adjusted *Dioscorea japonica* powder had level II of the standard specified by Ministry of Health, Labour and Welfare. In the rheological analysis, 10-30% adjusted *Dioscorea japonica* powder had compatibility as the thickener for dysphagia better than the grated raw *Dioscorea japonica*. These results suggested the ability of *Dioscorea japonica* for the development of dysphagia diet.

**Keywords :** *Dioscorea japonica*, rheological analysis, dysphagia diet, elderly diet