

博士論文

不均質な食物の食べやすさと  
力学的特性の関連性

2015 年度

岩崎 裕子

## 目 次

序 論	1
第 1 章 ゲルの大きさが混合系モデル試料の食べやすさへ及ぼす影響	
1. 実験方法	6
(1) 試料	
(2) 測定項目	
(3) 統計解析	
2. 結果および考察	10
(1) 球状ゲルの破断力特性	
(2) ゼル試料および混合系試料のテクスチャー特性	
(3) 官能評価	
(4) 筋活動測定	
(5) 力学的特性と官能評価の関係	
3. 要約	15
第 2 章 力学的特性の異なる寒天ゲルを用いたゼルーゲル混合系モデル試料の食べやすさの検討	
1. 実験方法	16
(1) 試料	
(2) 測定項目	
(3) 統計解析	
2. 結果および考察	20
(1) ゼル試料の流動特性	
(2) ゲル試料の力学的特性	
(3) 微細ゲル充填試料および混合系試料のテクスチャー特性	
(4) 官能評価	
3. 要約	27
第 3 章 ゼルの力学的特性が混合系モデル試料の食べやすさへ及ぼす影響	
1. 実験方法	29

(1) 試料	
(2) 測定項目	
(3) 統計解析	
2. 結果および考察	31
(1) ゾル試料の力学的特性	
(2) ゾル試料および混合系試料のテクスチャー特性	
(3) 官能評価	
(4) 官能評価特性と力学的特性の関係	
3. 要約	37

#### 第4章 摂食過程に伴うゾル食塊の性状の変化

1. 実験方法	38
(1) 試料	
(2) 力学的特性の測定	
(3) 写真による食塊の性状観察	
(4) 統計解析	
2. 結果および考察	40
(1) 食塊試料の温度変化	
(2) 写真による食塊の性状観察	
(3) 食塊試料の力学的特性の測定	
3. 要約	45

#### 第5章 微細大根を用いたきざみ食の食べやすさの検討

##### 第1節 加熱法の違いによるきざみ食の食べやすさの検討

1. 実験方法	46
(1) 試料	
(2) 測定項目	
(3) 統計解析	
2. 結果および考察	49
(1) 微細大根一粒の破断測定	
(2) 大根充填試料および混合系試料のテクスチャー特性	
(3) 官能評価	
(4) 咀嚼回数・嚥下回数	
(5) 筋活動測定	

(6) 測定値間の関連性	
3. 要約	54
第2節 低温スチーム加工大根を用いたきざみ食の食べやすさについて－高齢者パネルによる検討－	
1. 実験方法	55
(1) 試料	
(2) 測定項目	
(3) 統計解析	
2. 結果および考察	57
(1) 低温スチーム加工大根の破断特性	
(2) 大根充填試料および混合系試料のテクスチャー特性	
(3) 若年者と高齢者による官能評価	
3. 要約	61
結論	62
文献	65
英文抄録	70
謝辞	76

## 序 論

わが国では高齢者の人口割合が高まっており、超高齢社会となっている。高齢者にとって『食えること』は楽しみの一つであり、生きていることの実感につながる。しかし、加齢とともに嚥む機能や飲み込む機能など摂食に関する事項が問題となり、十分な食事の摂取が困難となり、低栄養状態に陥りやすい。高齢者の PEM（たんぱく質エネルギー低栄養状態）は以前から問題となっていたが、たんぱく質が不足すると、筋肉の減少が起こり、筋肉減少症（サルコペニア）になる。サルコペニアになると骨を支える筋肉が減少し、骨折しやすい状態、しかも食事を食べる際に必要な咀嚼筋や嚥下筋などの筋肉量も低下してくるので、誤嚥しやすくなり、低栄養が一向に改善されない状態が想定される。そのため嚥む機能や飲み込む機能に問題をもつ高齢者にとって、食事による栄養摂取やおいしく味わう楽しみなど、QOLの低下を防ぐ点でも、むせや誤嚥のない安全な食事が極めて重要といえる。2014年度の介護保険制度の改革により、介護の場が施設から在宅へ移ることが推進されており、在宅要介護者の増加により、家族やホームヘルパーによる介護が中心となる。低栄養を予防するための正しい知識や情報とともに市販介護食品への要求は更に増大されている。

一方、QOLの観点からも高齢者が終焉まで口から食べ続けることができるよう、高齢者施設や病院などでは様々な食事形態を工夫し、個別対応をしながら食事を提供している。嚥下調整食の食形態は施設により様々であるが、見た目や味の工夫をこらす施設が多くみられる<sup>1)</sup>。また、委託給食会社では2～9種類の段階を設け対応しているところもある<sup>2)</sup>。摂食機能にあわせた嚥下調整食のような段階的な食事の基準は、いずれの基準も、とろみをつけた液体およびゼリー、ペースト食などの均質な食形態から始まり、三分粥や五分粥など、少しずつ固形物を含む食形態へと移行している。施設により名称は異なるが、ミキサー食、ペースト食、きざみ食、一口大食など様々な形態の食事が提供されている。小城ら<sup>3)</sup>は要介護高齢者施設における食物形態の実態を調査した結果として、多くの施設が「きざみ食」を取り入れているが、一方、名

称や形態の定義が様々であること、摂食機能に適した食形態の決定要因が明確となっていないことを示している。段階的な食形態の中で、きざみ食は素材の味が残ることから、高齢者自身からの要望は高いが<sup>4)</sup>、口中でばらつき、誤嚥を引き起こす危険性が問題である。しかし先行研究において、きざみ食に増粘剤を付与することで、きざみ食にまとまりを与え、食べやすくなることが報告されている<sup>5-9)</sup>。また、やまいもをすりおろしたとろろについて、食片（微細ゲル）をまとめる効果があることが報告されていることから<sup>10,11)</sup>、現在施設等では、きざみ食にとろみあんをかけまとまりを改善するといった工夫が取り入れられている。このきざみ食をとろみあんおよびとろろでまとめたような状態は、液状物（ゾル）と固形物（ゲル）が混合したゾルーゲル混合系といえる。

また、人が食べ物を口に入れ、咀嚼し嚥下する過程において、唾液と食片を混合し、食塊が形成される。口腔内で適切な食塊を形成することで、嚥下反射が誘発され、誤嚥のリスクが低減できるといっても過言ではない<sup>12)</sup>。加齢により、嚙む機能や飲み込む機能が低下してくると、硬いものが食べにくくなることに加え、食べ物を唾液と混ぜ合わせて食塊とすることが出来にくくなり、飲み込むことが困難になってくる。そのため、食塊の性状を把握し、食塊形成しやすい食形態を摂取することが安全性の面でも重要といえる。これまで食塊のように、液状物（ゾル）に固形物（ゲル）が分散している系については多数の研究<sup>13-19)</sup>が報告されている。川野ら<sup>13,14)</sup>は、口腔内における食物（ゲル）から食塊（ゾルーゲル混合状態）への性状の変化、さらには飲み込みやすい食塊の性状を知るため、咀嚼、嚥下過程の食塊形成とその性状および食べやすさについて検討した。塩沢ら<sup>15)</sup>は、米飯に濃度を変化させたデンプン糊を混合した試料について、食塊のテクスチャー特性が異なること、付着性の高い食塊試料ほど筋活動量が高くなっていることを示した。佐川ら<sup>16)</sup>は、固体分散ペーストについて、ペーストの特性および摂取量により咽頭を通過する食塊の速度が異なることを報告している。また、島田ら<sup>17)</sup>は、食品の粒度と模擬唾液の特性を変化させ混合した試料について、嚥下直前の食塊のテクスチャー特性範囲がおよそ一定であることを報告

した。関連して、お粥<sup>18)</sup>やビスケット<sup>19)</sup>などの食塊のテクスチャー特性についての報告はみられるが、喫食者の主観的評価、すなわち食べやすさ（飲み込みやすさ）とテクスチャー特性値との関連性は明らかとされていない。

近年、介護食への関心の高まりに伴い、基準の整備が進められており、「ユニバーサルデザインフード」（日本介護食品協議会）<sup>20)</sup>、「えん下困難者用食品」（消費者庁）<sup>21)</sup>、2013年には摂食嚥下リハビリテーション学会「嚥下調整食分類 2013」<sup>22, 23)</sup>に加え、2014年には農林水産省から「新しい介護食品（スマイルケア食）」<sup>24)</sup>が発表された。介護報酬の引き下げにより、介護の現場は施設だけでなく、在宅へ移行していくことが予測され、介護食品に対する需要は増加していくと考えられる。同時に、介護食品に対して、おいしさの向上、QOLの向上、低栄養の改善、見た目の美しさが、より一層求められている。また、それぞれの基準で対象や目的は異なるが、分類の指標として物性値を採用しているものが見受けられる。これまで、物性測定と官能評価による食感の関連性を検証する報告として、手嶋、赤羽等<sup>25)</sup>は、潤生園において提供されている介護食のテクスチャー特性の測定を行い、それに基づき介護食の分類を行い、誤嚥の少ない食形態について、テクスチャー特性の面からの位置づけを行った。また、赤羽ら<sup>26)</sup>はアンケート調査によって選ばれた「飲み込みにくい食物」と「飲み込み易い食物」の形態を、テクスチャー特性の測定、官能検査、嚥下造影検査の面より評価した。物性測定と官能評価は必ずしも一致しないが、物性値によりおおまかな食形態の分類は可能であり、嚥む機能や飲み込む機能が低下した喫食者に対し、誤嚥や窒息の危険性を軽減することにつながると考えられる。

物性測定と官能評価の関連性について、均質な液状食品<sup>27, 28)</sup>やペースト食等<sup>29-31)</sup>について研究が報告されているが、食塊、きざみ食および粥のような不均質な食形態についての報告は少なく、不均質な食物について食べやすさの参考となる力学的特性値を把握する必要があると考えた。そこで、本研究では、介護食品に多くみられる不均質な食物について、力学的特性と官能評価特性および生理学的特性の面から、食べやすさの検討を行った。得られた基礎的データを応用することで、安全で美味しい介護食品

の開発に寄与することを目的とした。

本論文は全 5 章で構成され、第 1、2、3 章では、ゾルとゲルの混合系モデル試料についての研究を行った。第 4 章では、ゾル試料の摂食過程に伴う唾液や温度による性状変化について、第 5 章では、実際に咀嚼困難な方を対象として、現場で提供されている食形態である「きざみ食」について研究を行った。

第 1 章では、ゲルの大きさを 3 段階に変化させたゾルーゲル混合系試料を調製し、力学的測定、官能評価測定に加え、筋活動が無侵襲かつ定量的に評価するための手段として筋活動測定を行い、ゲルの大きさの相違が食べやすさに及ぼす影響について検討した<sup>32)</sup>。

第 2 章では、ゾルとゲルの混合系モデル試料を調製し、ゲルの特性およびゾルの粘度の相違が、混合系モデル試料の食べやすさに及ぼす影響について検討を行った<sup>33)</sup>。また、ゲルとゾルを混合することで表面摩擦が変化することを想定し、ゲルの表面摩擦測定を行い、摩擦特性と官能評価特性との関連性も検討した。試料には、分子量の異なる寒天を 3 種（低強度ウルトラ寒天・超高粘弾性寒天大和・即溶性寒天）、およびゼラチンを混合したゼラチン寒天を用いた。ゾル試料には、市販トロミ調整食品を用い、薄いとろみ、中間のとろみ、濃いとろみとなる 3 種のゾル試料を調製した。ゾルとゲルを重量比 1 : 1 で混合した混合系試料について、力学的特性および官能評価特性を測定した。

第 3 章では、ゾル試料の力学的特性の相違が混合系試料に及ぼす影響を、ゾル試料の特性を大きく変化させて検討した。特に、先行研究<sup>10, 11)</sup>においてとろろゾルがきざみ食などの食片をまとめることが報告されていることから、とろろゾルのように固形物をまとめる効果の高いゾル試料の特性に着目して検討した。

粘稠性を有するゾル状試料として、市販トロミ調整食品および日常的に食品として摂取可能な馬鈴薯デンプンやアルギン酸 Na を用いてゾル状試料を調製した。市販トロミ調整食品は、施設や病院、在宅など多くの場で使用されており、超高齢社会に突入している現在、更に需要が増すと考えられる。現在使用されている市販トロミ調整食品は多種多様であり、主な原材料の違いにより、グアーガム系、キサンタンガム系、デンプン系と分類され<sup>34)</sup>、添

加濃度が等しくとも仕上がりの粘度およびずり速度依存性がそれぞれ異なる。これら市販トロミ調整食品添加試料を含む 5 種のゾル試料の力学的特性およびワイセンベルク現象を測定し、ゾル-ゲル混合系試料の食べやすさとの関連性を検討した。

第 4 章では、混合系試料の食べやすさを把握する上で、ゾル試料の特性が重要であることから、摂食行動に伴うゾル食塊の力学的特性および性状を把握することを目的とした。これまで固形物について摂食過程に伴う食塊性状の変化を検討した報告はあるが、ゾル状食品の摂食過程に伴う変化について検討した報告は見当たらない。本章では市販トロミ調整食品添加試料について、口中に取り込まれてから嚥下する過程において唾液や温度の影響を検証するため、力学的特性および性状観察を行った。

第 5 章は、病院や高齢者施設等で提供されている「きざみ食」について固形物（食片）として大根を用い、とろみあんをあわせた混合系試料について検討を行った<sup>35)</sup>。

本章は 2 節で構成し、第 1 節として、異なる調理操作により硬さを変化させた大根を用い、刻む前の食品の硬さが、きざみ食の食べやすさにどのように影響するのか検討することとした。硬さを段階的に 3 段階となるよう調整し、刻んだ大根と、とろみあん（ゾル）の混合系試料について、力学的特性、官能評価および筋活動測定を行った。

第 2 節では、低温スチーム加工<sup>36)</sup>により加工された微細大根を食片（きざみ食）とし、とろみあん（ゾル）と混合した混合系試料について、i) 大根の硬さを変化させた混合系試料、ii) 大根ととろみあんの混合割合の相違について検討を行った<sup>37)</sup>。また、官能評価の被験者として、高齢者と若年者を対象に行い、比較した。実際にきざみ食を喫食する可能性が高い高齢者の評価を知ること、食事を提供する際、考慮すべき点を明らかとすることを目的とした。

最後に各章を総括し、今後の課題を述べて結論とした。

なお、本研究は日本女子大学「ヒトを対象とした実験研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。官能評価および筋活動測定の被験者には、研究の主旨、試料および評価の説明を行い、事前に理解、同意を得た上で研究を行った。

## 第 1 章 ゲルの大きさが混合系モデル試料の食べやすさへ及ぼす影響

### 緒言

本章では、ゾルーゲル混合系モデル試料について、ゲルの大きさの相違が試料の食べやすさにどのように影響するかについて検討した。

小城ら<sup>3)</sup>は要介護高齢者施設における食物形態の実態を調査した結果として、多くの施設が『きざみ食』を取り入れているが、一方、名称や形態の定義が様々であること、摂食機能に適した食形態の決定要因が明確となっていないことを示している。『きざみ食』は食片を刻むため素材本来の味が残ることから喫食者からの要望は多いが、一方で口中でばらつくため誤嚥の危険性が危惧されており、施設等ではとろみあんをかけてまとまりをよくする工夫が取り入れられている。そこで、食片の大きさが食べやすさへ及ぼす影響を検討することできざみ食の安全性の改善につながると推測した。

そこで、本章では、寒天ゲルの大きさを段階的に変化させたゾルーゲル混合系モデル試料を用いて、咀嚼・嚥下の筋活動が無侵襲かつ定量的に評価するための手段として筋電図測定を行い、併せて力学的測定、官能評価測定を行った。

### 2. 実験方法

#### (1) 試料および調製方法

##### 1) 球状ゲル

球状ゲルは、埋橋と塚越<sup>38)</sup>の方法に従って調製した。すなわち、寒天溶液をビュレット付きビーカーに入れ、冷却のためサラダ油(約 10℃)中に滴下すると、表面張力により、球状ゲルが生成される。岸ら<sup>3)</sup>によると、施設等で提供されているきざみ食は、おおよそその大きさから 3 種に分類される。そこで分類を参考に、きざみ食のモデル系として、3 段階の大きさの球状ゲルを調製した。形状の異なるゲルの調製には、ビュレットの口径を変化させたものを用いて油中に滴下を行い、球状ゲルを得た。分析ふるいを用いて、直径 2.00～2.80mm(極きざみ程度：a)、直径 4.00～4.75mm(きざみ程度：b)、直径 8.00～10.00mm(粗きざみ程度：c)の 3 段階に分類し、3 種の

球状ゲルを得た。この球状ゲルを蒸留水中(約 10℃)で 18 時間放置したものを試料とした。寒天溶液の濃度は、予備実験を行い、ゲルの硬さが  $4.03 (\pm 0.18) \times 10^4 \text{N/m}^2$  となるよう決定した。硬さの目安として、高齢者用食品群別許可基準<sup>39)</sup>：そしゃく困難者用食品の区分 3 に分類され、すなわち、「舌でつぶせる」の基準内に入っている。(ここで用いた基準は実験時のものである。)

## 2) ゾル試料

ゾル試料の調製には、グアーガム系トロミ調整食品(日清サイエンス(株))を使用した。溶媒として、グアーガムの風味の影響を緩和するため、緑茶飲料を用いた。トロミ調整食品の所定量(外割り濃度 1.27 w/w%)を、20℃ 200ml 緑茶飲料にプラスチック棒で撹拌しながら振り入れ、2 分間手動により撹拌し、溶解させた。撹拌溶解後 20℃ 恒温器中で 1 時間保存した。以下、ゾルのみの試料を(S)とする。テクスチャー測定用は 35g、官能評価では 3g を試料とした。

## 3) ゾルーゲル混合系試料

混合系試料はゾル試料と大きさの異なる 3 種類の球状ゲル(a, b, c)を Table1-1 に示した通り、重量比 1 : 1 で混合し、調製した(以下球状ゲル a の混合系試料を A、球状ゲル b の混合系試料を B、球状ゲル c の混合系試料を C とする)。テクスチャー測定の場合は約 35g となるようサンプルケース内(内径 55mm)で混合した(Fig.1-1)。官能評価および筋活動測定の場合は一口量を 3g とし、各々およそ 1.5g ずつ

Table1-1  
Prepared mixed sol-gel samples

Sample	sol Concentration of thickening agent	gel (Diameter of spherical gel)	Mixing ratio of * sol to gel
S	1.27%	none	1:0
A	1.27%	gel a(2.00~2.80mm)	1:1
B	1.27%	gel b(4.00~4.75mm)	1:1
C	1.27%	gel c(8.00~10.00mm)	1:1

\* The mixing ratio of sol-gel  
Sample was weight balance

\*\*S was sol sample

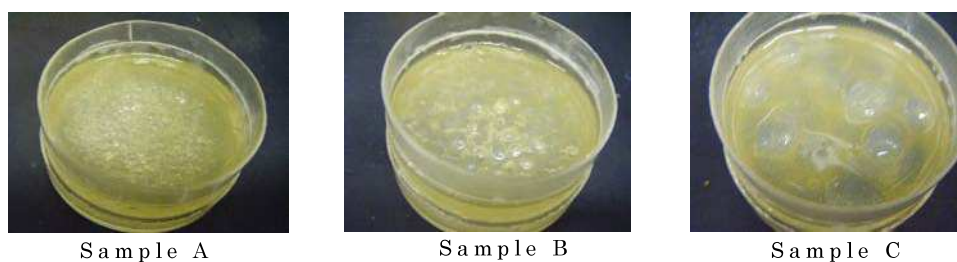


Fig.1-1 Sol-gel mixed samples

スプーン上でその都度混合した。

## (2) 測定項目および方法

### 1) 球状ゲルの破断力測定

球状ゲルの破断測定には、レオナー（高分解能型レオナー model-RE33005；株式会社山電）を使用した。平塚ら<sup>5)</sup>に準じ、圧縮速度 1mm/s、圧縮率 90%で定速 1 回圧縮試験を行った。試料は 1 粒ずつ試料台の上にのせ測定し、プランジャーは直径 20mm のディスク型のものを用いた。測定温度は 10℃である。

### 2) ギル試料および混合系試料のテクスチャー測定

ギル試料および混合系試料について、第 1 章に準じ、テクスチャー測定を行った。

### 3) 官能評価

#### ① 食べやすさの官能評価

ギル試料および混合系試料について官能評価を行った。パネルは 22～32 歳の口腔機能の正常な成人女性のべ 36 人があった。評価方法は第 1 章に準じ、シェップフェの一対比較芳賀変法とした。一口量は 3g と決定した。評価項目および順序は、口への入れやすさ（-3：入れづらい⇔+3：入れやすい）、口の中で感じるかたさ（-3：かたい⇔+3：やわらかい）、まとまりやすさ（-3：まとまりにくい⇔+3：まとまりやすい）、飲み込みやすさ（-3：飲みこみにくい⇔+3：飲み込みやすい）の 4 項目とした。

#### ② 咀嚼回数および嚥下回数

試料を食べる際の、口に入れてから嚥下するまでに咀嚼した回数および嚥下した回数を被験者から回答してもらった。一口量、供食方法は官能評価と同様とした。

### 4) 筋活動測定

試料を口に入れてから嚥下するまでの口腔関連筋の動きを表面筋電図計を用い測定した。測定には 2chPowerLab システム：PowerLab4 / 25T、解析には Chart 5、バイオアンプ：Bio Amp（バイオリサーチセンター）を使用した。ECG 粘着性導電電極フォーム（直径 10mm）を

左右の咬筋に筋線維と平行になるように電極間隔 20mm で貼付し、同様に顎二腹筋前腹の筋線維にも貼付した。被験者は、官能評価パネルを含む、顎口腔系の形態および機能に異常の認められない正常咬合を有する、成人女性 8 人とした。官能評価と同様、スプーンの上の試料を一口で口に入れ、自由に喫食してもらい、すべて嚥下し終わった際に手で合図してもらおうよう指示をした。

解析ソフト Chart5 により解析を行い、試料を口に入れてからすべて嚥下するまでの時間、咬筋の平均最大振幅、咬筋活動量（筋電位の時間と振幅の積分値）を読み取った（Fig.1-2）。顎二腹筋については、嚥下時以外でも顎二腹筋は電位を生じたことなどの要因により解析が困難だったため、波形のみを示すこととした。

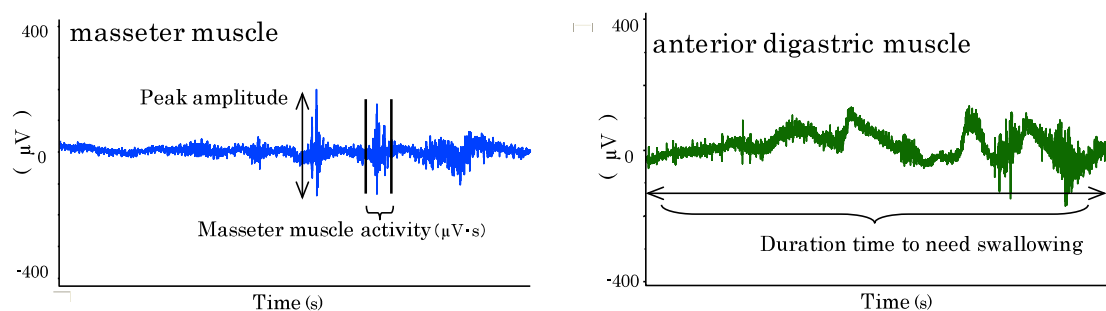


Fig.1-2 Analysis of parameters of the EMG signal

### (3) 統計処理

得られたデータの解析は、一元配置分散分析を行い、Fisher の最小有意差法により群間の検定を行った。

## 2. 結果および考察

### (1) 球状ゲルの破断力特性

球状ゲル a, b, c, の破断力を Table1-2 に示した。球状ゲルの形状が大きくなるに従い、有意に高値となった。圧縮面積が確認できないため破断応力を算出することはできないので破断力で示したが、破断力には形状効果が明らかに認められた。

Table1-2  
Physical properties of the spherical gel samples

Sample (Diameter of spherical gel)	Ruptureload of spherical gel samples(N)
gel a(2.00~2.80mm)	0.20±0.06 <sup>a</sup>
gel b(4.00~4.75mm)	0.25±0.03 <sup>b</sup>
gel c(8.00~10.00mm)	0.85±0.13 <sup>c</sup>

Different letters indicate significant difference ( $p<0.01$ )

### (2) ゼル試料および混合系試料のテクスチャー特性

ゼル試料および混合系試料について、テクスチャー測定を行い、硬さ、付着性、凝集性を Fig.1-3 に示した。硬さについてみると、混合系試料の硬さが、ゼル試料と比較し有意に高値を示し、また、球状ゲルの形状が大きくなるに従い、増加した。分散媒のゼルよりも分散相であるゲルの硬さを感知したためだと推察される。すなわち、最も小さい球状ゲル a は、圧縮の際にゼルの移動にともないサンプルケースとプランジャーとの隙間に移動しやすいが、最も大き

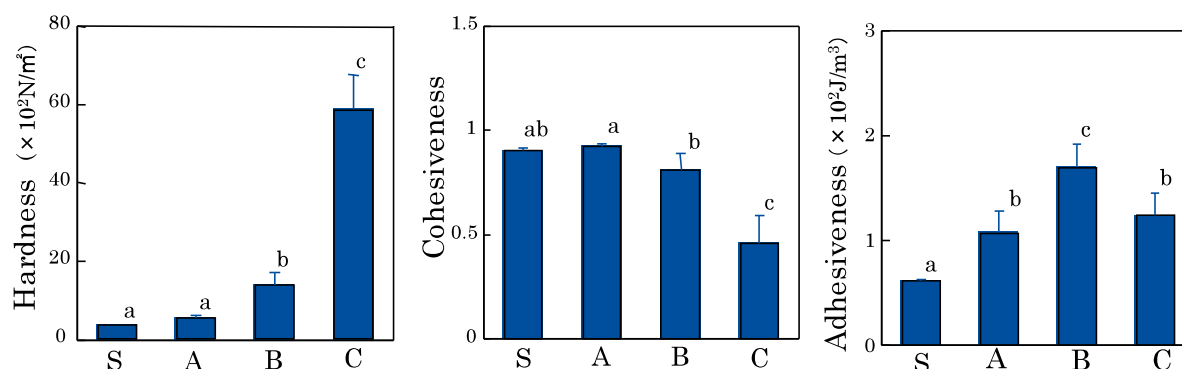


Fig.1-3 Textural properties of sol-gel mixed samples

Sample S,A,B, and C are those shown in Table 1

Values are means±SD.

Different letters indicate significant difference ( $p<0.01$ )

い球状ゲル c は、約 7.5mm の隙間には移動しにくく、球状ゲルの特性(硬さ)をプランジャーが顕著に受け、試料 C が最も高値となったと推測される。

凝集性は、試料 C が他の 3 試料と比較し、有意に低値を示した。試料 C にはゲルの特性が大きく影響していると推測され、他の 3 試料よりもゲルとゾルが一体的に移動しないためまともりの悪い試料であることが示唆された。

付着性は、ゾル試料が混合系試料よりも有意に低値となった。付着性には圧縮された後のゲルの挙動が影響すると考えられるが、今回一定の傾向を示さなかったことから、付着性の測定法は更なる検討が必要と考えられる。

### (3) 官能評価

#### 1) 食べやすさの評価

「口への入れやすさ」の項目においてはいずれの試料間においても F 検定の結果、主効果に有意差は認められなかった。F 値に有意差の認められた項目について、評点平均値と試料間の有意差の検定を Fig.1-4 に示した。

「口中で感じるかたさ」は、球状ゲルが大きくなるに従いかたい

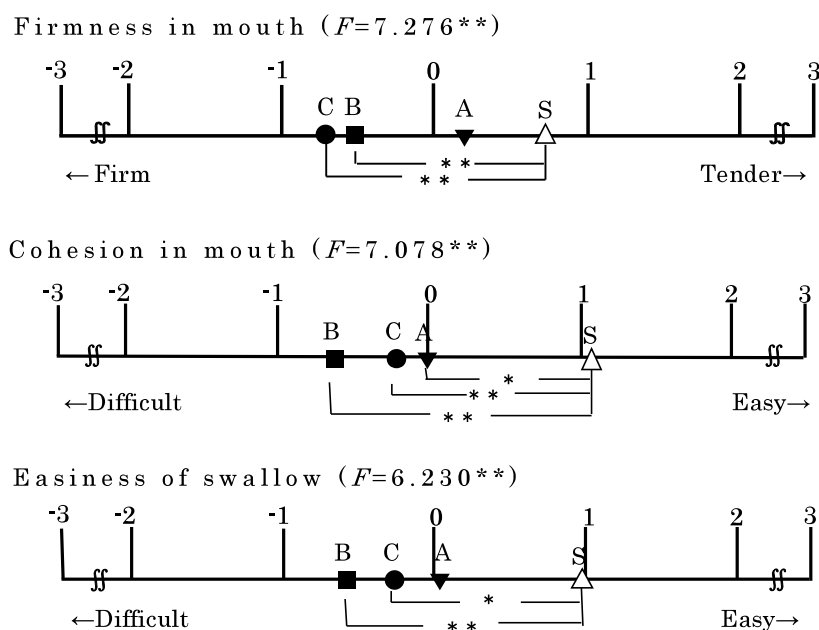


Fig.1-4 Sensory evaluation of the sol-gel mixed samples  
Sample S,A,B and C are those shown in Table1-2

\*\* Significant at  $p < 0.01$ , \* Significant at  $p < 0.05$

と評価された。「まとまりやすさ」は、いずれの混合系試料 A, B, C もゾル試料 S よりまとまりにくいと評価された。混合系試料間では有意差は認められなかったが、混合系試料 B がまとまりにくい傾向であった。「飲み込みやすさ」は、混合系試料 B, C がゾル試料 S より飲み込みにくいと評価された。混合系試料 A とゾル試料 S との間に有意差は認められず、混合系試料の中では B が飲み込みにくい傾向がみられた。

## 2) 咀嚼回数および嚥下回数

今回、咀嚼方法については指定せず、自己申告で咀嚼回数、および嚥下回数を回答してもらった。結果を Fig.1-5 に示した。咀嚼回数は混合系試料 A と比較し混合系試料 B および C が多くなり、試料 B と試料 C の間に有意差は認められなかった。また、ゾル試料 S では咀嚼せずに飲み込む傾向がみられた。嚥下回数は混合系試料 A, B, C と比較し、ゾル試料 S が有意に少なく、混合系試料間では有意差は認められなかった。

施設などで使われているきざみ食は刻むことにより咀嚼機能を補うために用いているが、今回、ゲルの大きさと咀嚼回数の関係には一定の傾向は見受けられなかった。嚥下回数に差がなかったことを考慮すると、人は嚥下しやすくするために咀嚼回数を調節し、まとまりのよい食塊を形成していることが示唆された。

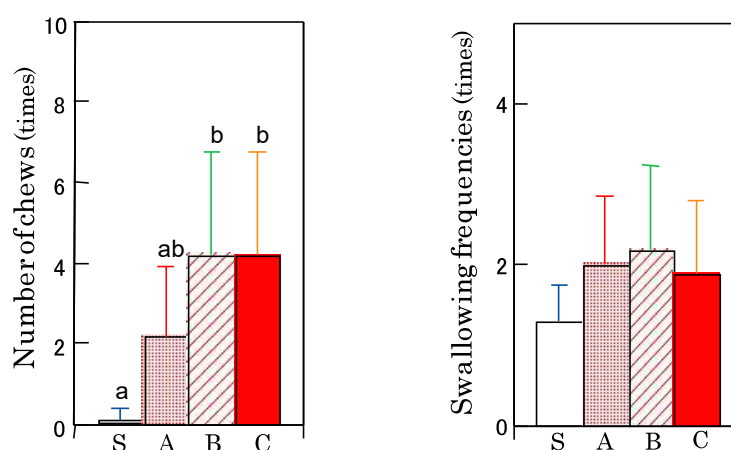


Fig.1-5 The number of chews and swallows of sol-gel mixed samples

Sample S, A, B, and C are those shown in Table1-2.

Different letters indicate significant difference ( $p < 0.01$ )

#### (4) 筋活動測定

試料を自由に摂食したときの口に入れてから飲み込むまでの筋電位 (EMG) 波形を、特徴的な 2 人について被験者 (I)、(II) の結果を Fig.1-6 に示した。被験者 (I) の場合、いずれの試料でも、試料を口に入れてから飲み込むまでの過程で咬筋はほとんど活動していないことが示された。一方、被験者 (II) の場合、ゾル試料 S では咬筋が全く活動していない状態であるのに比べ、混合系試料 ABC では咀嚼している様子が観察され、混合系試料 A と比較すると混合系試料 C は振幅、筋活動量ともに大きくなった。2 名の波形を見る限りでも、個々人により食べ方は全く異なるということが明らかとなった。

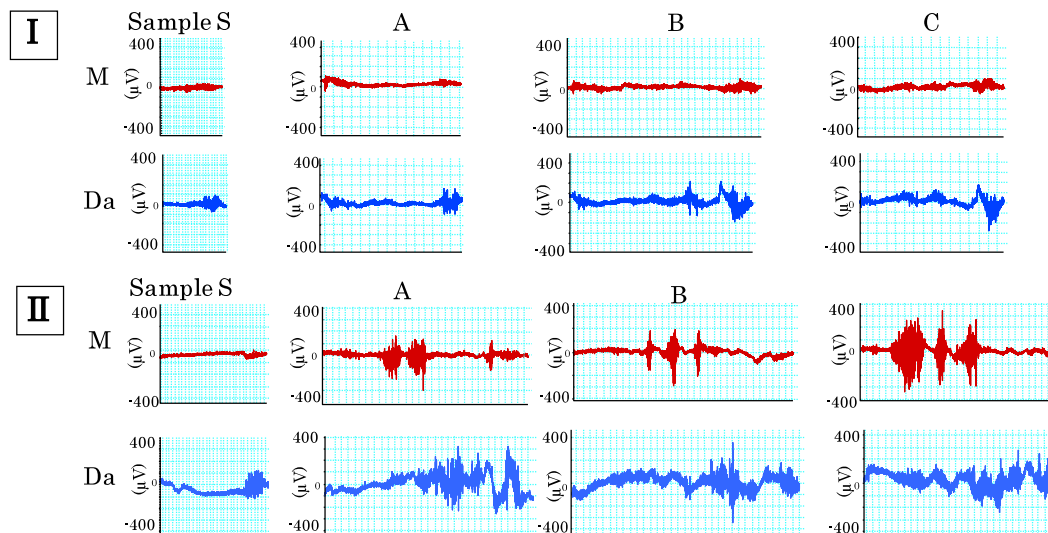


Fig.1-6 Example of electro myographic activities (EMG) recorded from the masseter muscle (M) and the anterior digastric muscle (Da) when eating sol-gel mixed samples (subject I, II). Sample S, A, B and C are those shown in Table 2-2

咀嚼筋の特徴について検討するため、被験者 8 人の総咬筋活動量、咬筋平均最大振幅、嚥下終了までに要する時間の平均値を求め、傾向を捉えることにした。しかし、全体の平均値でみると、いずれの特性値においても、混合系試料間に有意差は認められなかった。盛田ら<sup>40)</sup>は、ゲルの硬さと筋電位の関係について検討しており、硬さの影響が大きいことを報告している。すなわち、ゲルを食べる際に

歯を使わずすべて押しつぶす場合、口蓋圧は大きく発生するが、咬筋の筋電位は小さいパルスしか発生せず、一方、濃度の高いゲルを歯を使って咀嚼するときには、咬筋が使われ筋電位のパルスがはっきりとみられるようになったと報告している。今回ゾルーゲル混合系試料を用い検討したところ、試料の硬さに依存した傾向はみられなかった。歯で咀嚼をしなくても舌と上顎で押しつぶして嚥下まで至る人、一方、確実にゲルを歯で咀嚼してから飲み込む人など、普段の喫食習慣の相違により筋活動の様々なパターンが出現していることが観察された。以上のことからゲルの大きさが小さいことが、必ずしも咬筋の筋活動量を軽減することにはならないことが示唆された。

#### (5) 力学的特性と官能評価の関係

官能評価で得られた「かたさ」とテクスチャー特性の「硬さ」の関係を Fig.1-7 に示したところ、相関係数は低く、直線関係は得られなかった。テクスチャー特性では、ゾル試料 S は混合系試料 A よりも有意にやわらかいと示されたが、官能評価では試料間に有意差は認められなかった。ゲルを極めて細かく刻むことにより実際に食べる際に感じるかたさが低下し、ゾルに近いかたさと感じることになったことが推察される。また、試料 C はテクスチャー特性において、他の混合系試料よりも顕著に硬いと示されたが、口中で感じるかたさにおいては混合系試料間に有意差は認められず、必ずしもテクスチャー特性の硬さが口中で感じるかたさを反映するわけではないことが示唆された。

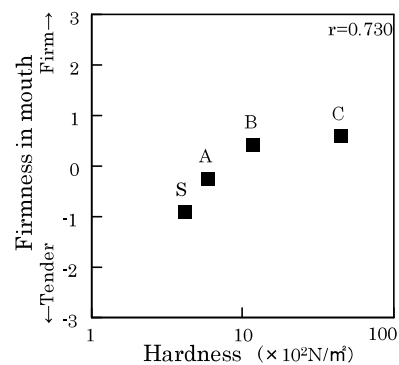


Fig.1-7  
Relationship between the Hardness and the Firmness in mouth

### 3. 要約

本章では、きざみ食の固形物の大きさが食べやすさに与える影響を検討するため、ゲルの大きさを段階的に変化させたゾルーゲル混合系モデル試料を調製し、力学的測定、官能評価および筋活動測定を行った。

結果、ゲル自体の硬さが  $4.03 \times 10^4$  (N/m<sup>2</sup>) とやわらかかったため、粗きざみ程度のゲルの大きさでも歯で噛まなくとも飲み込むことができ、ゲルの大きさは咀嚼回数および飲み込みやすさと相関が認められなかった。これらのことをふまえると、咀嚼機能が低下した人へ食事を提供する際、ゲルの大きさよりもゲル自体の硬さやゾルと混合した状態のテクスチャー特性が重要であることが示唆された。

## 第2章 力学的特性の異なる寒天ゲルを用いたゾルーゲル混合系モデル試料の食べやすさの検討

### 緒言

本章では、ゾルーゲル混合系モデル試料を調製し、ゲルの特性の相違が、混合系試料の力学的特性及び官能評価特性に与える影響を検討した。また、混合系試料の食べやすさに関する先行研究<sup>10, 11)</sup>では、マヨネーズ程度の硬さのとりもあんが、きざみ食の食片をまとめる硬さとして適していることを明らかとしている。しかし、粘度の異なるゾル試料と混合した場合、ゲル特性の相違がどのように影響するかについての報告はない。そこで本章では3段階の粘度のゾル試料を用いて、混合系試料を調製し検討を行った。更に、ゲルとゾルを混合することでゲルの表面摩擦が変化し食べやすさにも影響すると仮定し、ゲルの表面摩擦測定を行い官能評価との関連性を検討した。

### 1. 実験方法

#### (1) 試料および調製方法

##### 1) ゲル試料

ゲル試料を調製するために、再現性がよく物理的外因に対して安定している素材として寒天を用いた。試料は、分子量の異なる寒天3種、介護食用ウルトラ寒天、高粘弾性寒天大和、高濃度溶解が可能であり従来の寒天と比較し溶解性に優れている即溶性寒天 UP-16k（以下順にウルトラ、大和、UPと略す）と、寒天とゼラチンが混合されているゼラチン寒天である（いずれも伊那食品工業株式会社）。ゲル試料は、テクスチャー特性における硬さが  $1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$  となる濃度を、各々のゲルについて算出し（Table 2-1）、調製した。調製方法は、平塚<sup>5)</sup>に準じた。テクスチャー測定および摩擦測定については、内径 30 mm、高さ 15 mm のガラスリングに寒天溶液を流し込み、20℃ 恒温器中に 18 時間放置したものを試料とした。

また、微細ゲル試料として、きざみ食として多く用いられている大きさで

Table 2-1 Concentration of gelling agents

Sample	Concentration of gelling agents (W/V %)
<i>Urutora</i>	1.6
<i>Yamato</i>	0.45
<i>UP</i>	0.51
<i>Gelatin kanten</i>	2.6

ある 4～5 mm の立方体に成型した。また、テクスチャー測定用には Fig. 2-1 のように、サンプルケースに高さ 15 mm（およそ 30g）に敷き詰めた。また、官能評価用には微細ゲルを一口量 5g としてスプーンにのせたものを試料とした。



Fig. 2-1  
Minced gels sample

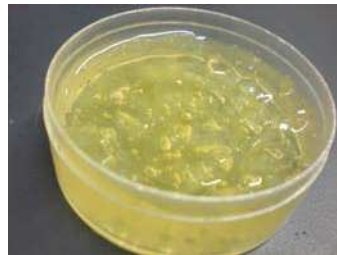


Fig. 2-2  
Sol-gel mixed sample

## 2) ゾル試料

ゾル試料の調製には、キサンタンガム系トロミ調整食品（（株）フードケア）を使用した。溶媒には、官能評価を行う際の風味の影響を緩和するため、緑茶飲料を用いた。添加濃度は、日本摂食嚥下リハビリテーション学会提案の学会分類 2013（とろみ）の区分表<sup>22)</sup>を参考に、薄いとろみ、中間のとろみ、濃いとろみの 3 段階の区分の範囲内とした。すなわち、トロミ調整食品の所定量（外割り濃度 0.8、2.0、3.5w/w%）を、200ml の緑茶飲料にプラスチック棒で攪拌しながら振り入れ、2 分間手動により攪拌し、溶解させた。攪拌溶解後 20℃ 恒温器中で 1 時間保存した。

## 3) ゾルーゲル混合系試料

混合系試料は、4～5 mm 角に成型した 4 種の微細ゲルと、3 種のゾル試料を各々重量比 1：1 で混合し、全 12 種の試料を調製した。

テクスチャー測定用試料は、サンプルケース内（内径 55 mm）に、ゾル、ゲルそれぞれ重量比 1：1 となるように測り、ゲルの分散が試料中で均一となるようスプーンでサンプルケースの中を攪拌し Fig. 2-2 のように試料厚が 15 mm となるようにした。官能評価用試料は、一口量を 5g とし、ゾル、ゲルそれぞれ 2.5g ずつスプーン上でその都度混合した。

## (2) 測定項目および方法

### 1) 微細ゲル試料および混合系試料のテクスチャー特性

微細ゲル試料および混合系試料について、レオナー（榊山電）を用い、テクスチャー特性の測定を行った。それぞれの試料をサンプルケース内（内径 55 mm）で高さ 15 mm となるよう充填し、圧縮量 10 mm（クリアランス 5 mm）、直径 20 mm のディスク型プランジャーを使用し、圧縮速度 10 mm/s の定速 2 回圧縮試験を行った。測定温度はいずれも 20℃とした。

### 2) ゲル試料の動的粘弾性

ゲル試料の微小変形領域の特性を検討するため動的粘弾性測定を行った。ひずみ依存測定において試料の線形領域を把握し、次に線形領域範囲である 0.1% にひずみを固定し、周波数依存測定を行った。

測定には、ARES 粘弾性測定装置（Rheometric Scientific）を使用した。測定治具は平行プレート直径 25 mm、試料厚を 2 mm、測定温度は 20℃とした。ひずみ依存測定については、先行研究<sup>41)</sup>に倣い、周波数 10rad/s、ひずみ 0.1~300%の範囲で測定を行った。周波数依存測定については、ひずみを 0.1%に固定し、周波数は 0.1rad/s から 100rad/s に増加させた。

### 3) ゴル試料の流動特性

ゴル試料について流動特性の測定を行った。測定は、コーンプレート型回転粘度計（R 型；東機産業）を用い、定速回転法により行った。定速回転法は、ローターに一定の回転数（ずり速度）を与えながら、時間的なずり応力の変化を記録することで、応力－時間曲線が得られる。ずり速度の範囲は低ずり速度領域の  $0.7 \sim 50 \text{ s}^{-1}$  で行った。得られたずり速度（ $\dot{\gamma}$ ）とずり応力（ $S$ ）の関係が、両対数グラフ上で直線関係が認められた場合、流動方程式（ベキ法則  $S = K \dot{\gamma}^n$ ）を適用し、係数である粘稠性係数  $K$ 、流動性指数  $n$  およびずり速度  $50 \text{ s}^{-1}$  における粘度を算出した。更に Casson の式を適用し、降伏応力  $S_y$  を求めた。各ずり速度における測定時間は 120s、測定温度は 20℃とした。

#### 4) ゲル試料の摩擦特性

円柱状ゲル試料について、摩擦特性の測定を行った。測定条件は、大須賀ら<sup>42)</sup>を参考に、垂直荷重 0.005N、摺動速度 0.5 mm/s、摺動距離 10 mm、プランジャー 36460-2（みかけの接触面積 1 mm<sup>2</sup>）とした。得られた摺動距離—摩擦荷重曲線より、波形が落ち着いた摺動距離 6 mm から 10 mm までの摩擦荷重を平均摩擦荷重 (N) として算出した。

#### 5) ゲルおよび混合系試料の官能評価

ゲルの特性およびゾルの粘度の相違が混合系試料の食べやすさに及ぼす影響について検討するため、官能評価を行った。直方体ゲル試料、微細ゲル試料および混合系試料の異なる形態について、4 試料（ウルトラ、UP、大和、ゼラチン寒天）の比較を行った。

試料の供食方法は、微細ゲルおよび混合系試料については先行研究<sup>35)</sup>に倣い、一口量 5g をスプーンにのせ、通常と同じように食べて評価してもらった。直方体ゲル試料については、ゲルの重量がおおよそ 5g となるよう 15×15×22 mm の直方体に成型し、舌と口蓋で押しつぶして飲み込むよう指示をした。

パネルは 22～32 歳の口腔機能の正常な成人女性のべ 36 人があった。評価方法は両極 7 点尺度法を用い、シェッフェの一对比較芳賀変法で行った。評価項目および順序は、まとまり易さ（-3：まとまりにくい⇔+3：まとまり易い）、飲み込み易さ（-3：飲みこみにくい⇔+3：飲み込み易い）、べたつき感（-3：少ない⇔+3：多い）、残留感（-3：少ない⇔+3：多い）の 4 項目とした。

#### (3) 統計解析

得られたデータの解析は、Excel 統計 2011 ソフトを用い、分散分析を行い、有意差の認められた場合については、Bonferroni 法により試料間の検定を行った。

## 2. 結果および考察

### (1) ゾル試料の流動特性

市販トロミ調整食品を緑茶飲料に添加し、添加濃度を3段階に変化させた試料の、粘稠性係数  $K$ 、流動性指数  $n$ 、ずり速度  $50\text{s}^{-1}$  における粘度  $\eta_{50}$  および降伏応力  $S_y$  を Table2-2 に示した。

粘度をとろみ区分表<sup>22)</sup>の範囲でみると、0.8%添加試料は薄いトロミ、2.0%添加試料は中間、3.5%添加試料は濃いトロミに相当することが示された（これ以降、各試料を薄いゾル、中間ゾル、濃いゾルと称する）。

Table2-2 Flow charactics of sol samples with the commercial thickening agents added

Sample Hierarchy of thick levels <sup>1)</sup>	Concentration (%)	Consistency	flow behavior	yield stress	Viscosity <sup>2)</sup>
		index k (mPa・s)	index n ( $\times 10^{-1}$ )	$S_y$ (Pa)	$\eta_{50}$ (mPa・s)
Mildly	0.8	$1.01 \pm 0.29$	$2.08 \pm 0.40$	$1.20 \pm 0.27$	$50.62 \pm 6.41$
Moderately	2.0	$5.88 \pm 0.64$	$0.92 \pm 0.04$	$6.62 \pm 0.66$	$168.4 \pm 17.1$
Extremely	3.5	$12.09 \pm 1.02$	$1.03 \pm 0.06$	$14.58 \pm 1.20$	$361.4 \pm 30.7$

The value represents mean value  $\pm$  standard deviation. n=6.

1) The Japan Society of Dysphagia Rehabilitation<sup>3)</sup>

2) viscosity at shear rate  $50\text{s}^{-1}$

## (2) ゲル試料の力学的特性

### 1) 動的粘弾性

ゲル試料4種の貯蔵弾性率  $G'$  及び損失弾性率  $G''$  のひずみ依存性の代表的な測定結果を Fig.2-3 に、周波数依存性の結果を Fig.1-4 に示した。

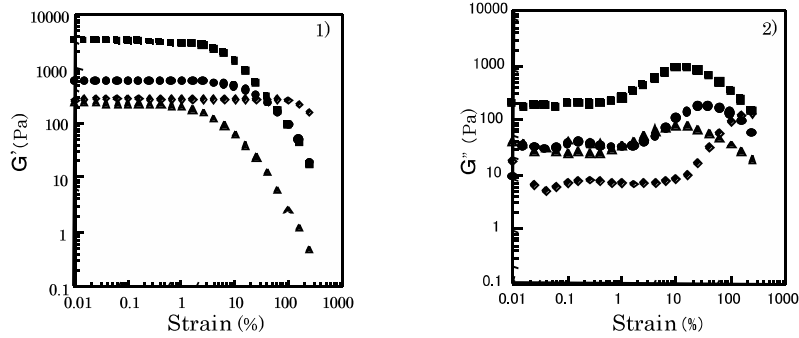


Fig. 2-3 Strain dependence of gel samples  
 1) Storage modulus ( $G'$ ) 2) Loss modulus ( $G''$ )  
 ■ : Urutora ▲ : Yamato ● : UP ◆ : Gelatin kanten

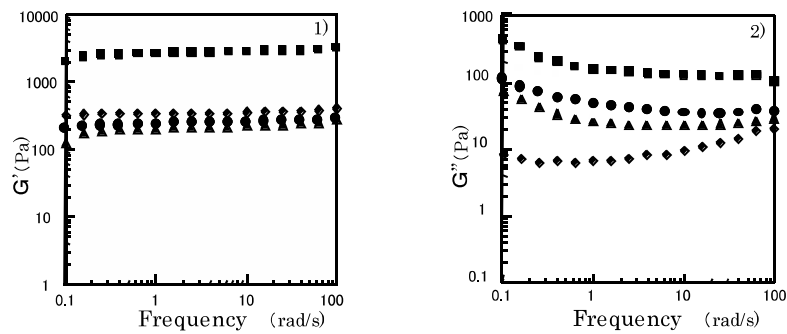


Fig. 2-4 Frequency dependence of gel samples  
 1) Storage modulus ( $G'$ ) 2) Loss modulus ( $G''$ )  
 ■ : Urutora ▲ : Yamato ● : UP ◆ : Gelatin kanten

Fig.2-3-1)より、試料により、線形領域が異なることが明らかであり、これは寒天の分子量の違いが影響していることが考えられる。すなわち、崩れやすさは試料により異なり、ゼラチン寒天は線形領域が最も広く、崩れにくい特性であることが示された。Fig.2-3-2)より、線形領域から非線形領域にかけて  $G''$  値は急激に増加することが示唆された。

Fig.2-4 に示した周波数依存性の結果をみると、 $G'$  の値はいずれの試料も周波数に関わらずほぼ一定の値を示し、ゲル特有の結果を示した。一方、 $G''$  の値はゼラチン寒天については緩やかに増加傾向を示したが、他の3試料はいずれも低下したことから、混合してあ

るゼラチンの特徴が顕れ、他の寒天試料とは異なることが示された。

## 2) ゲル試料の摩擦特性

ゲル表面の摩擦特性の測定を行い、Fig.2-5 に各試料の代表的な摺動距離－摩擦荷重の記録曲線を示した。ゼラチン寒天のみ摺動距離の増加に伴い摩擦荷重が緩慢に上昇する傾向がみられた。

得られた記録曲線より平均摩擦荷重を求め Table2-3 に示した。平均摩擦荷重は、ゼラチン寒天が最も高値を示した。ゼラチン特有のべたつき感や付着性が高いことが影響し、平均摩擦荷重が高値となったといえる。一方、その他の3試料については、摩擦荷重はほぼ一定の値を示した。UP および大和は、離水により表面が水で覆われプランジャーが滑りやすくなり、平均摩擦荷重が低値となったと推察される。

Table2-3 Average resistance of gel samples

Sample	Average resistance (N)
<i>Urutora</i>	$3.66 \pm 0.58^C$
<i>Yamato</i>	$1.28 \pm 0.13^a$
<i>UP</i>	$1.65 \pm 0.57^b$
<i>Gelatin kanten</i>	$8.62 \pm 0.31^d$

The value represents mean value  $\pm$  standard deviation. n = 3.

Different letters indicate significant difference (p < 0.01)

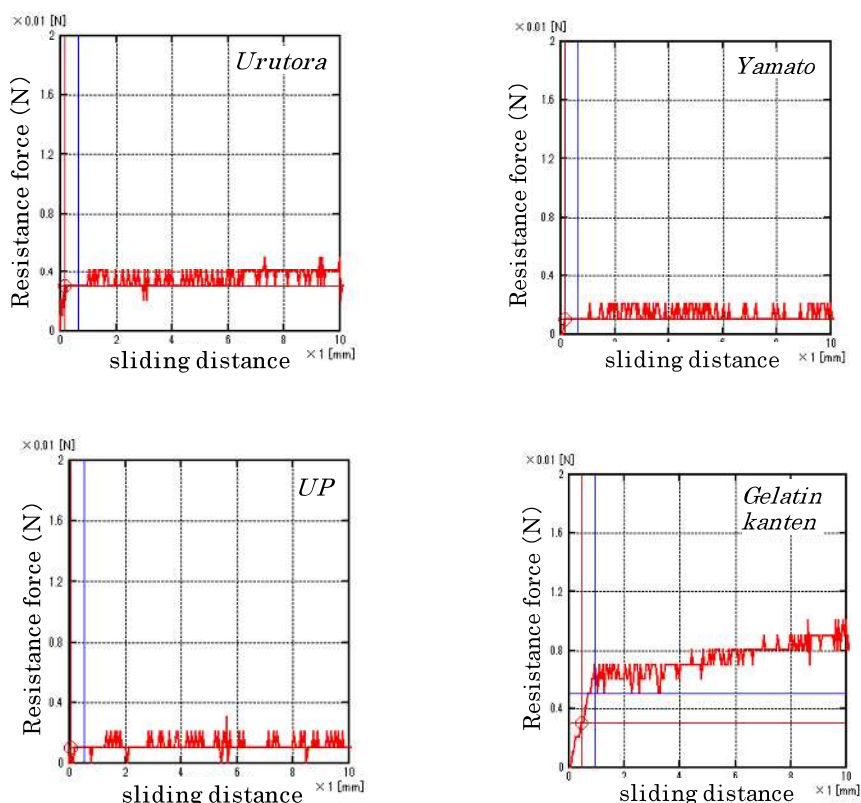


Fig.2-5 Resistance force-sliding distance of gel samples

### (3) 微細ゲル充填試料および混合系試料のテクスチャー特性

Fig.2-6 に、微細ゲル試料と、混合系試料について、テクスチャー特性の結果を示した。

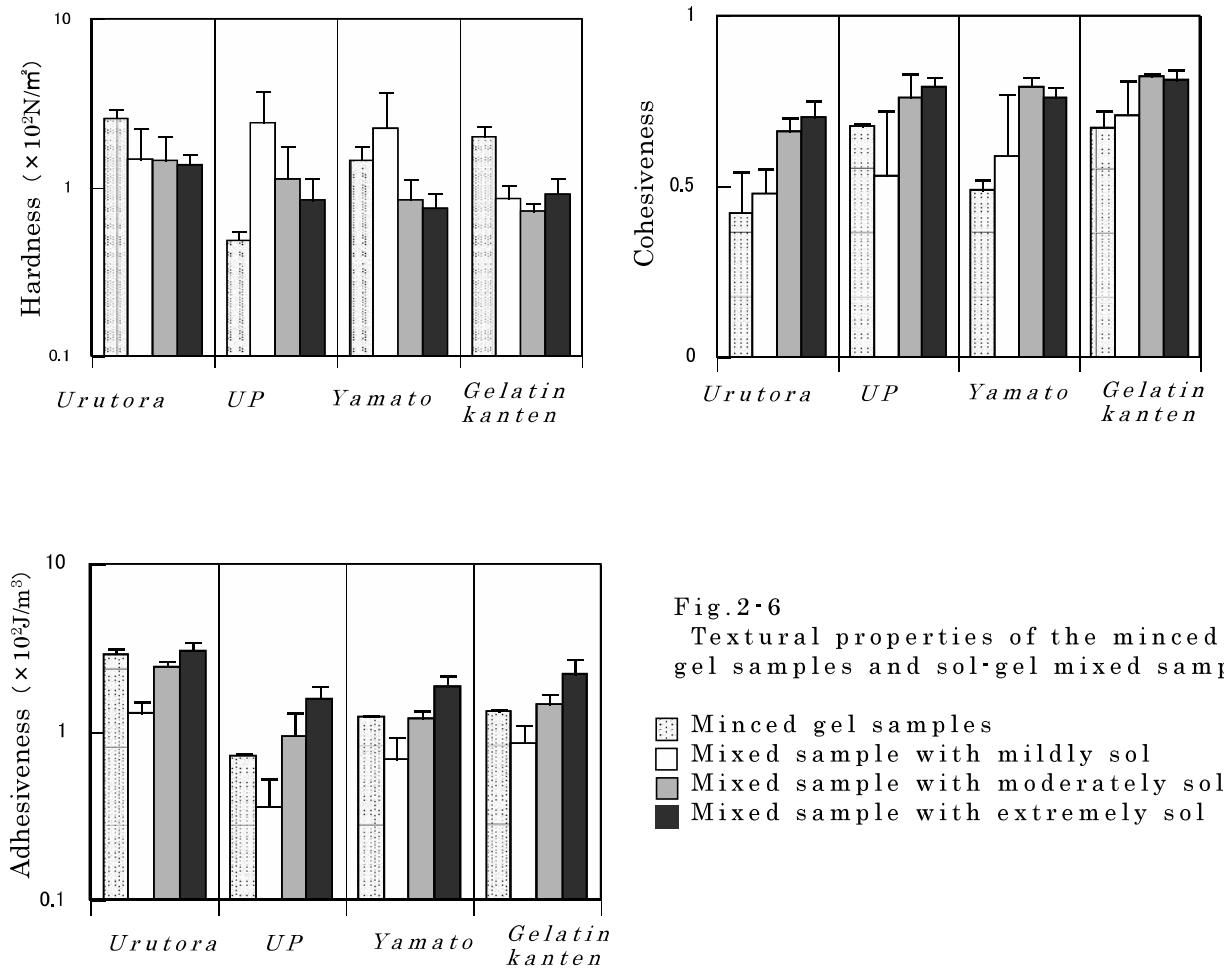


Fig.2-6

Textural properties of the minced gel samples and sol-gel mixed samples

硬さについて、ウルトラおよびゼラチン寒天は、薄いゾルと混合した混合系試料は、微細ゲルの硬さより有意に低値を示した。また、ゾル試料の粘度が変化しても混合系試料間に有意差は認められなかった。一方、UPおよび大和は、薄いゾル混合系試料が、微細ゲルの硬さよりも有意に高値を示し、中間および濃いゾル混合系試料は、薄いゾル混合系試料よりも有意に低値を示した。薄いゾル混合系試料が微細ゲルより硬さが高値となったことは、本来、ゾルと混合することでゲルがゾルに包まれ一体となり、圧縮時に移動し硬さが低値となるが、ゾルの粘度が低く、ゲルと一体化していなかったこと

が要因と考えられる。今井ら<sup>43)</sup>は特性の異なる食品を刻み、とろみあんに混合した混合系試料において、固形物の特性が影響することを報告している。本研究においても、微細ゲルの硬さが混合系試料の硬さに影響したが、ゾルの粘度が高くなるほど微細ゲルの違いによる硬さへの影響が小さくなることが示されている。

付着性については、4 試料いずれも、薄いゾル混合系試料は、微細ゲル試料と比較し低値となった。また、中間、濃いゾルとゾルの粘度が上がる程、混合系試料の付着性は高値となった。

凝集性は、大和を除く 3 試料が、微細ゲルの値より混合系試料のほうが高値となった。また、薄いゾルと比較し、中間および濃いゾルと、ゾルの粘度が上がるほど高値となった。

付着性および凝集性は、ゾルの粘度の影響が顕著であり、ゾルの粘度が高いほど付着性、凝集性とも高値となる傾向を示した。

また、ウルトラのような特徴的なゲルの特性は、濃いゾルと混合しても相殺されず混合系試料のテクスチャー特性にゲルのテクスチャーが影響することが示された。

#### (4) 官能評価

##### 1) ゲル試料

直方体ゲル試料および微細ゲル試料について、官能評価の結果を Fig. 2-7 に示した。

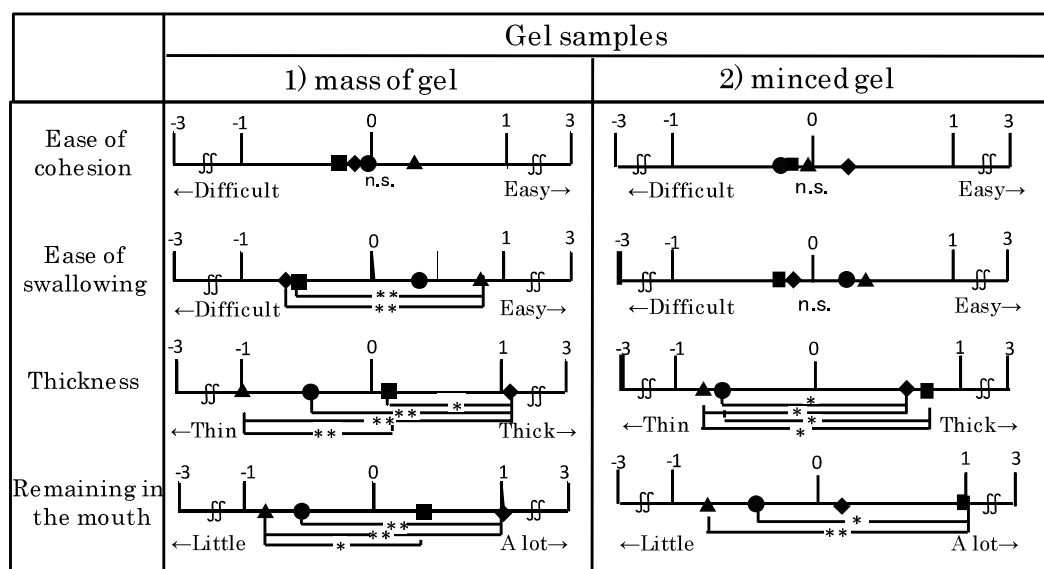


Fig.2-7 Sensory evaluation of the gel samples  
1) mass of gels 2) minced gels

■ : Urutora ▲ : Yamato ● : UP ◆ : Gelatin kanten

\* ; significant at  $p < 0.05$  \* \* ; significant at  $p < 0.01$  n.s.; not significant

Fig. 2-7-1) に示した直方体ゲル試料の結果、最もべたつき、残留感が多いと評価されたゼラチン寒天は、Fig. 2-7-2) に示した微細ゲル試料において、他の試料との評点平均値の差が小さくなった。このことから刻むことでゲル一粒の表面積が小さくなり、ゼラチン寒天表面のべたつき感を感じにくくなったことが推察される。また、「飲み込み易さ」について、直方体ゲルでは試料間に差が認められたが、微細ゲル試料では試料間に有意差は認められなかった。ゲル試料の「飲み込み易さ」の要因として、口中で咀嚼し嚥下するまでの過程における唾液との混ざりやすさ、食塊の特性が影響すると思われる。口腔内で多く咀嚼を必要とする直方体ゲルではゲル本来の特性の相違が飲み込みやすさに影響したと推察できるが明確ではないため、今後更なる検討が必要と考える。

## 2) 混合系試料

混合系試料(中間ゾルおよび濃いゾル)について官能評価を行い、結果を Fig.2-8 に示した。

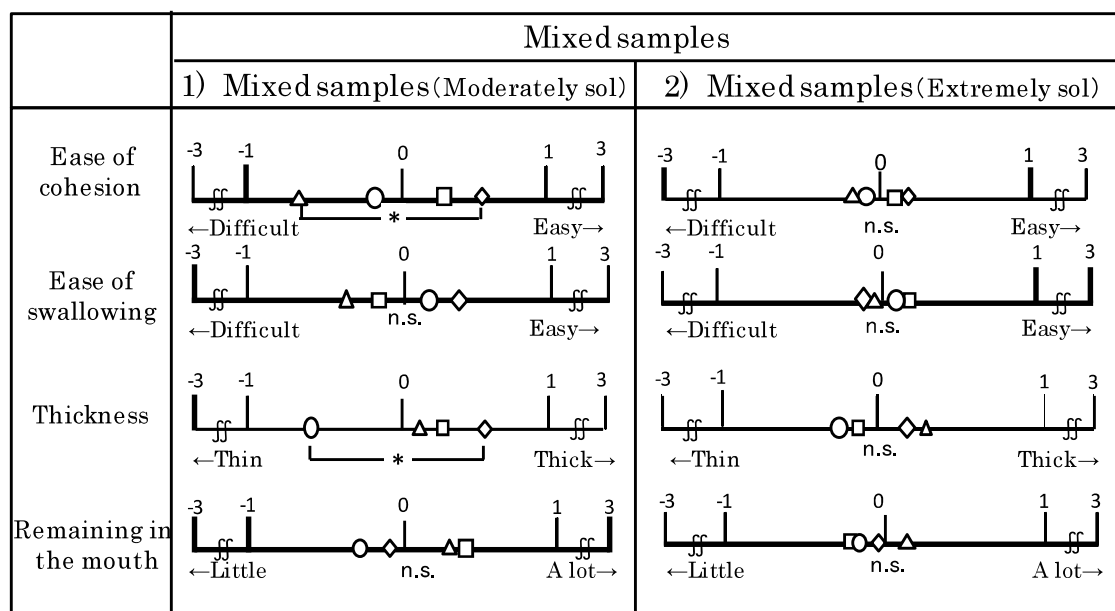


Fig.2-8 Sensory evaluation of the sol-gel mixed samples

1) mixed sample with moderately sol

2) mixed sample with Extremely sol

□ : Urutora △ : Yamato ○ : UP ◇ : Gelatin kanten

\* ; significant at  $p < 0.05$  \*\* ; significant at  $p < 0.01$  n.s.; not significant

Fig.2-8-1)に示した中間ゾル混合系試料の結果、「まとまり易さ」について、ゼラチン寒天が最もまとまり易いと評価された。「べたつき感」についても、ゼラチン寒天が4試料の中で最もべたつき感が多いと評価され、べたつき感が多いことはマイナス面だけではなく、まとまり易さにつながることを示唆された。

一方、Fig.2-8-2)に濃いゾルと混合した混合系試料の結果を示したが、いずれの項目についても、試料間に有意差は認められなかった。感想欄に、もったりしていた、べったりとし、口に残る感じがしたという意見があげられたことから、混合するゾルの粘度が高いことが必ずしも食べ易さにつながらないことが示唆された。ゾルの粘度が高いことは混合した固形物の特性をカバーし、まとまり感の改善には有効であるが、付着性やべたつき感が増すことが問題となることが明らかとなった。

## 3) 微細ゲル試料と混合系試料の比較

微細ゲル試料と混合系試料の結果を比較すると、ゾルと混合することでゲルの性状が表われにくくなることが示された。しかし反対に、微細ゲル試料では「まとまりやすさ」は、試料間に有意差が認められなかったが、混合系試料（中間ゾル）では、大和が最もまとまりにくいと評価された。大和のように表面が離水し、水で覆われているようなゲルの場合、ゾルと一体化しにくく、ゲル自体の滑りがよいことから咀嚼もしにくいため、ゾルと混合しても、まとまりにくく飲み込みにくいと評価されたことが推察された。

### 3. 要約

本章では、ゾルーゲル混合系モデル試料を調製し、ゲルの特性およびゾル粘度の相違が混合系試料の力学的特性および官能評価特性に及ぼす影響を検討することを目的とし、以下の結果が得られた。

1. テクスチャー特性の硬さは混合したゲルの特性を顕著に表し、微細ゲルの硬さが高値であるウルトラが混合系試料の硬さも高値となった。付着性および凝集性においても特徴的なゲルの特性は混合系試料の付着性および凝集性に影響を及ぼした。また、ゾルの粘度が高くなるほど付着性、凝集性とも高値となる。

2. 官能評価より、直方体ゲルの場合、ゼラチン寒天が最もべたつき、残留感が多く、飲み込みにくいと評価されたが、微細ゲルの場合、ウルトラが最もべたつき、残留感が多いと評価された。直方体ゲルではゲルの摩擦特性が、微細ゲルではテクスチャー特性が官能評価に影響することが示された。

3. 混合系試料の官能評価の結果、中間ゾル混合系試料では、ゼラチン寒天が最もまとまりやすいがべたつき感が多い傾向が認められ、微細ゲルの官能評価特性とは異なる結果となった。しかし濃いゾルの混合系試料ではいずれの項目においても試料間の差が認められなかった。濃いゾルを混合すると混合したゲルの特性が影響しにくくなることが示唆された。

### 第 3 章 ゼルの力学的特性が混合系モデル試料の食べやすさへ及ぼす影響

#### 緒言

第 2 章において、ゼル試料の粘度が異なると、混合系試料のテクスチャー特性および官能評価特性が異なることを明らかとした。そこで、本章では、ゼル試料の力学的特性の相違が混合系試料に及ぼす影響をゼル試料の特性を大きく変化させて検討した。特に、先行研究<sup>10, 11)</sup>においてとろろゼルがきざみ食などの食片をまとめることが報告されていることから、とろろゼルのように固形物をまとめる効果の高いゼル試料の特性に着目して検討した。

粘稠性を有するゼル状試料として、市販トロミ調整食品および日常的に食品として摂取可能な馬鈴薯デンプンやアルギン酸 Na を用いてゼル状試料を調製した。市販トロミ調整食品は、施設や病院、在宅など多くの場で使用されており、超高齢者社会に突入している現在、更に需要が増すと考えられる。現在使用されている市販トロミ調整食品は多種多様であり、主な原材料の違いにより、グアーガム系、キサンタンガム系、デンプン系と分類され、添加濃度が等しくとも仕上がりの粘度およびずり速度依存性がそれぞれ異なる。これら市販トロミ調整食品添加試料を含む 5 種のゼル試料の力学的特性およびワイセンベルク現象<sup>44)</sup>を測定し、ゼル-ゲル混合系試料の食べやすさとの関連性を検討した。

## 1. 実験方法

### (1) 試料および調製方法

#### 1) ゾル試料

ゾル試料の調製には、溶媒として緑茶飲料を用い、粘稠性を発現する素材として、馬鈴薯澱粉（和光純薬工業(株)）、アルギン酸 Na<sup>45)</sup>（キッコーマンバイオケミファ(株)）、キサントガム系トロミ調整食品、グアーガム系トロミ調整食品（(株)フードケア）、を使用した。これら 4 試料に加え、とろろゾルを調製するため、先行研究<sup>11)</sup>に準じ、フリーズドライ粉末（(株)ヤマトフーズ）を蒸留水に溶解して調製した。添加濃度は、ずり速度  $50\text{s}^{-1}$  における粘度（これ以降  $\eta_{50}$  と表す）が  $5.00 \pm 0.25 (\times 10^2 \text{mPa}\cdot\text{s})$  および  $2.00 \pm 0.1 (\times 10^3 \text{mPa}\cdot\text{s})$  となるように、各々の添加濃度を決定し Table3-1 に示した。

調製方法は、馬鈴薯澱粉については先行研究<sup>46)</sup>に準じた。アルギン酸 Na は、澱粉と同様の方法により、溶解が可能な  $85^\circ\text{C}$  20 分の加熱条件で行った。トロミ調整食品については第 1 章に準じ調製した。とろろについては、所定量のフリーズドライ粉末と、蒸留水をあわせた後フードミルで 1 分間攪拌し、攪拌溶解後  $20^\circ\text{C}$  恒温器中で 1 時間保存し試料とした。

Table3-1 Concentrations of thickener added to solution and viscosity of samples

concentration (W/V %)		
material \ Viscosity <sup>1)</sup> (mPa·s)	500	2000
Starch	3.4	5.5
Sodium alginate	1.3	2.0
Guar-gam	1.8	3.2
Xanthan-gam	3.2	9.5
Grated yam	23.5	50

1) viscosity at shear rate  $50\text{s}^{-1}$

#### 2) ゲル試料

ゲル試料には、即溶性寒天 UP-16 k（伊那食品工業）を用いた。テクスチャー特性における硬さが  $1 \times 10^4 \text{N/m}^2$  となる 0.8%寒天溶液を調製し、凝固後、4~5 mm の立方体に成型し微細ゲル試料とした。

#### 3) ゾルーゲル混合系試料

5 種の混合系試料は、 $\eta_{50}$  が  $5 \times 10^2 \text{mPa}\cdot\text{s}$  となるよう調製したゾル試料 5 種と微細ゲルを、各々重量比 1 : 1 で混合し、調製した。

## (2) 測定項目および方法

### 1) ゾル試料の流動特性

ゾル試料について、第 1 章に準じ流動特性の測定を行った。

### 2) ゾル試料の動的粘弾性

ゾル試料について、第 1 章に準じ動的粘弾性測定を行った。測定治具は平行プレート直径 50 mm、試料厚を 2 mm、測定温度は 20℃とした。

### 3) ゾル試料および混合系試料のテクスチャー特性

ゾル試料および混合系試料について、第 1 章に準じてテクスチャー特性の測定を行った。

### 4) ワイセンベルグ現象の測定

MCR レオメーター（株Anton Paar）を用い、法線応力の測定およびワイセンベルグ現象の測定を行った。試料をアルミ製サンプルケース内（内径 56 mm、高さ 8 mm）で高さ 8 mm となるよう充填し、直径 9 mm のディスク型治具を使用し、クリアランス 1 mm となるよう治具をサンプルケールの中心に固定し、回転数 300rpm、測定時間 90 秒の測定を行った。測定温度はいずれも 20℃とした。

### 5) 官能評価

ゾル試料および混合系試料それぞれについて、官能評価による比較を行った。評価項目および順序は、べたつき感（-3：多い⇔+3：少ない）、まとまりやすさ（-3：にくい⇔+3：やすい）、飲み込みやすさ（-3：にくい⇔+3：やすい）の 3 項目とした。方法は第 1 章に準じた。

## (3) 統計解析

第 1 章に準じた。

## 2. 結果および考察

### (1) ゼル試料の力学的特性

#### 1) 流動特性

ゼル試料のずり速度と粘度の関係を Fig. 3-1 に示した。直線の傾きは試料により異なるが、いずれもずり速度が増加するほど見かけの粘度が低下する非ニュートン流体であることが示された。

そこでずり速度と粘度の関係から粘稠性係数  $K$ 、流動性指数  $n$ 、降伏応力  $S_y$  を求め、Table 3-2 に示した。アルギン酸 Na は、流動性指数  $n$  が 1 に近く、降伏応力  $S_y$  が 0.26 Pa と極めて低いことから、ニュートン流体に近いゼルといえる。また、澱粉もアルギン酸 Na と類似した特性を示し、 $K$  および  $S_y$  が他の 3 試料よりも低値を示し、 $n$  も 0.69 と調製した 5 試料中でアルギン酸 Na に次いで高値を示した。逆にキサンタンガムは、 $n$  の値が最も低く、 $K$  および  $S_y$  は最も高値を示した。キサンタンガムは  $S_y$  が 18.0 Pa と、マヨネーズ程度の値<sup>47)</sup>を示したことから、自重で流れ出さず形状を維持する性状といえる。トロロについても降伏応力が 2 番目に高値を示し、キサンタンガムと類似した特性を示した。

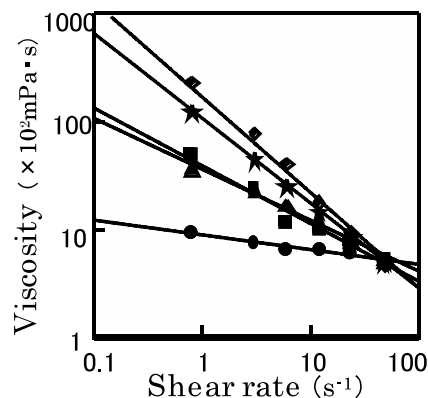


Fig.3-1 Shear rate dependences of viscosity measured with the cone-and-plate

■ : Starch ● : Sodium alginate  
▲ : Guar-gam ◆ : Xanthan  
★ : Grated yam

Table 3-2 Flow behavior of the solution

Sample	Consistency Index $K$ (mPa·s)	Flow behavior index $n$	Yield stress $S_y$ (× 10 Pa)
Starch	$1.81 \pm 0.5^a$	$0.69 \pm 0.07^b$	$0.147 \pm 0.069^a$
Sodium alginate	$0.96 \pm 0.26^a$	$0.87 \pm 0.05^a$	$0.026 \pm 0.021^a$
Guar-gam	$6.08 \pm 0.08^b$	$0.37 \pm 0.00^c$	$0.716 \pm 0.011^b$
Xanthan-gam	$16.9 \pm 0.5^d$	$0.08 \pm 0.00^d$	$1.80 \pm 0.06^d$
Grated yam	$9.37 \pm 0.90^c$	$0.25 \pm 0.01^c$	$1.07 \pm 0.10^c$

Values are expressed as mean  $\pm$  standard deviation.  
Significant differences among values in the same row are indicated by different letters ( $p < 0.01$ )  $n=5$

## 2) 動的粘弾性

ゾル試料のひずみ依存性における貯蔵弾性率  $G'$  の測定結果を Fig. 3-2 に示した。貯蔵弾性率  $G'$  より、各試料の線形領域を確認したところ、線形領域がそれぞれ異なった。線形領域から非線形領域への  $G'$  値の減少する度合いにより口腔感覚が異なると言われる<sup>48-49)</sup>。そこで線形領域の範囲だけでなく、減少する角度について着目すると、キサンタンガムはひずみ 80%付近から急激に落ち始め、トロロはひずみ 1%当たりから徐々に低下、澱粉は 10%付近、グアーガムおよびアルギン酸 Na は 80%付近から徐々に低下することが示された。キサンタンガムは、 $G'$  値が高く、線形領域が広いことから、他の試料よりも崩れにくいことが示唆された。一方トロロおよび澱粉は、早い段階で崩れ始めるが、 $G'$  の変化が緩やかなことから、緩慢でだらだらとした特性であることが示唆された。

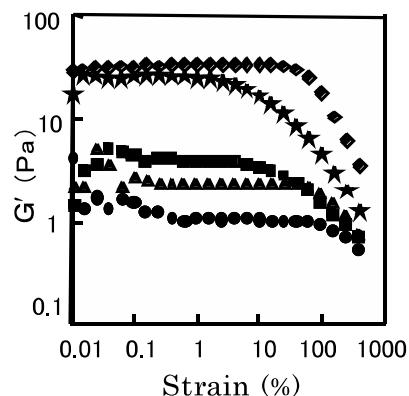


Fig.3-2 Strain dependences of Storage modulus ( $G'$ )  
 ■ : Starch ● : Sodium alginate  
 ▲ : Guar-gam ◆ : Xanthan  
 ★ : Grated yam

次に全ての試料が線形領域内であるひずみ 1%において、周波数依存性の測定を行った。Fig. 3-3 に貯蔵弾性率  $G'$ 、損失弾性率  $G''$ 、損失正接  $\tan-\delta$  について示した。 $G'$  および  $G''$  は、周波数が増加しても変化しにくいとゲルの特性をもつといわれているので<sup>49-50)</sup>、傾きが緩やかなトロロおよびキサンタンガム

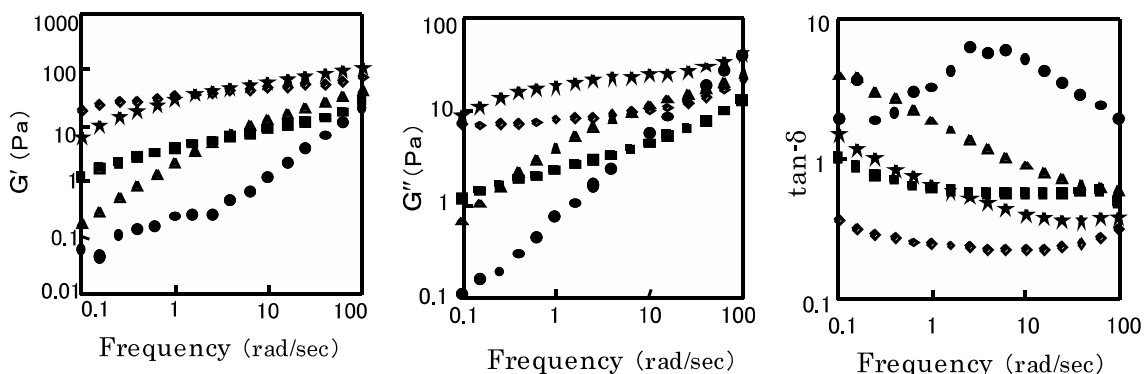


Fig.3-3 Frequency dependences  
 Symbols denote the same meaning as figure 3-2.

は weak gel であるといえる<sup>51)</sup>。また、1rad/s における  $\tan-\delta$  の値を比較すると、キサンタンガムが最も低値を示し、ゲル要素が強い性質が示された。トロロは、 $G'$  がキサンタンガムと同程度であるが  $\tan-\delta$  は高値で、キサンタンガムと比べ変形しやすい性質であることが示唆された。

### 3) ワイセンベルグ現象の測定

ゾル試料の法線応力およびワイセンベルグ現象測定の様子を Fig. 3-4-a) に示した。測定治具の回転数を 100、300、1000rpm と段階的に変化させて測定を試みたが、液体が治具に対して絡み上昇していく様子は観察できなかった。次に、 $\eta_{50}$  が  $2 \times 10^3 \text{mPa} \cdot \text{s}$  を示す粘度の高いゾル試料の測定の様子を Fig. 3-4-b) に示した。澱粉試料で、治具に液体が絡みつки、上昇するワイセンベルグ現象が顕著にみられた。さらに澱粉試料について、微細ゲルを混合し測定を行った様子を Fig. 3-4-c) に示した。ゾル単体とは異なり、ゾルと共にゲルが上昇する様子は認められなかったが、液面から約 10 mm 程度の高さまで上昇し、ゲルがゾルに巻き込まれる様子が観察された。澱粉試料で特異的に見られたこの現象は弾性要素と粘性要素の相互作用により起こるといわれており<sup>44)</sup>、いずれかの要素が高いだけでは生じないことが示唆された。

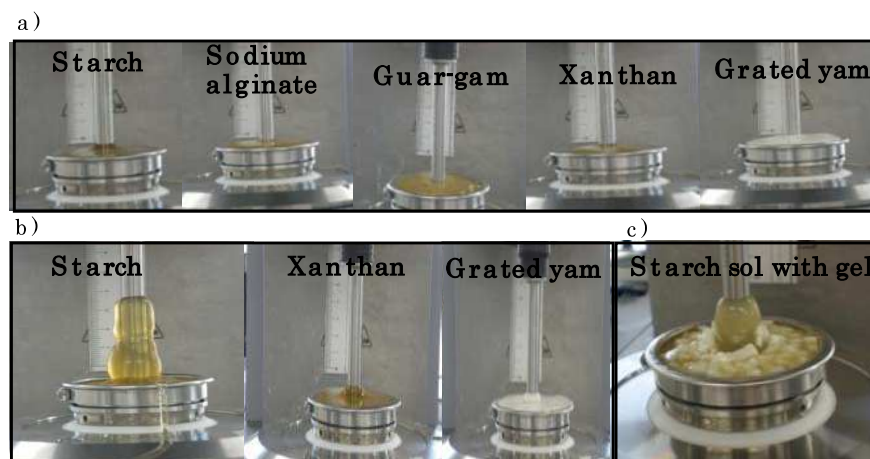


Fig.3-4 Weissenberg effect

- a) Viscosity of sol indicate  $5 \times 10^2 \text{mPa} \cdot \text{s}$
- b) Viscosity of sol indicate  $2 \times 10^3 \text{mPa} \cdot \text{s}$
- c) Sol of starch -gel mixed sample.(Viscosity of sol indicate  $2 \times 10^3 \text{mPa} \cdot \text{s}$ )

## (2) ギル試料および混合系試料のテクスチャー特性

Fig. 3-5 にギル試料および混合系試料のテクスチャー特性の結果を示した。

ギル試料の硬さではアルギン酸 Na が、グアーガムおよびキサンタンガムと比較し有意に低く、試料中で最も低値を示した。一方、混合系試料の硬さは、試料間の有意差は認められなかったが、トロロ混合系試料が低値となる傾向を示した。理由として、トロロギルはトロロ特有の粘りにより、圧縮された際、ゲルを滑らせ移動しやすくするためではないかと推察する。

ギル試料の付着性は、アルギン酸 Na が他の試料と比較し有意に低値を示し、続いて澱粉、グアーガムの付着性が低かった。一方、混合系試料についても、アルギン酸 Na 混合系試料が他の試料と比較し有意に低値を示した。アルギン酸 Na を除く 4 試料には有意差が認められなかったが、ギル試料の付着性が高いほど混合系試料の付着性も高値を示した。

凝集性については、ギル試料間に有意差は認められなかった。混合系試料の凝集性は、澱粉混合系試料が他の試料と比較し有意に低値を示した。

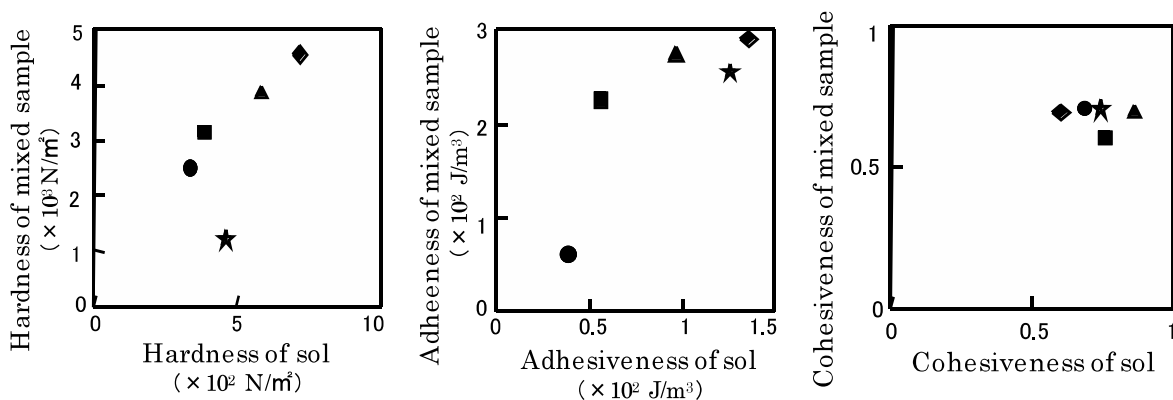


Fig.3-5 Relationship between the textural properties of the sol samples and mixed sol - gel samples

■ : Starch   ● : Sodium alginate   ▲ : Guar-gam  
◆ : Xanthan   ★ : Grated yam

### (3) 官能評価

Fig. 3-6-a)に「べたつき感」について示した。

ゾル試料は、アルギン酸 Na およびトロロが、グアーガムおよび澱粉と比較し有意にべたつき感が多いと評価された。混合系試料についても、トロロ、続いてアルギン酸 Na が、べたつき感が多い傾向を示したことから、ゾル試料のべたつき感が混合系試料にも影響した。

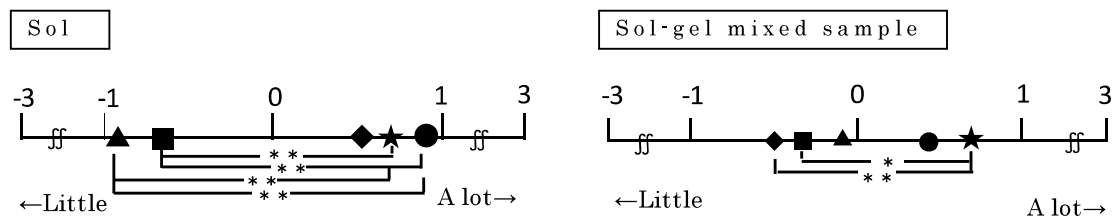


Fig.3-6-a) Sensory evaluations 「Stickiness」

■ : Starch ● : Sodium alginate ▲ : Guar-gam  
◆ : Xanthan ★ : Grated yam  
\* ;  $P < 0.05$ , \* \* ;  $P < 0.01$

Fig. 3-6-b)に「まとまりやすさ」について示した。ゾル試料は、キサンタンガム、トロロの順にまとまりやすいと評価され、アルギン酸 Na および澱粉はまとまりにくいと評価された。混合系試料についても、トロロ試料が、グアーガムおよび澱粉混合系試料と比較し有意にまとまりやすいと評価された。

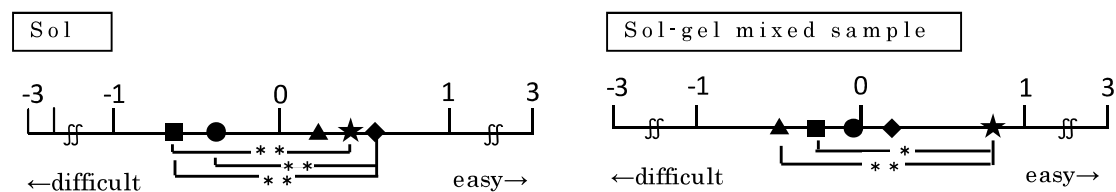


Fig.3-6-b) Sensory evaluations 「Cohesion in the mouth」

■ : Starch ● : Sodium alginate ▲ : Guar-gam  
◆ : Xanthan ★ : Grated yam  
\* ;  $P < 0.05$ , \* \* ;  $P < 0.01$

Fig. 3-6-c) に「飲み込みやすさ」について示した。ゾル試料は、アルギン酸 Na、次いで澱粉が、他の 3 試料と比較し飲み込みにくいと評価された。混合系試料については、試料間に有意差が認められなかったが、トロロ混合系試料とキサンタンガム混合系試料が他の 3 試料と比較し、飲み込みやすい傾向を示し、ゾルとは異なった結果であった。

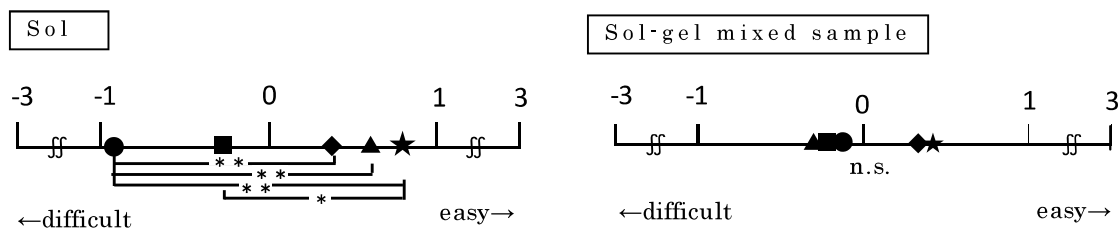


Fig.3-6-c) Sensory evaluations 「Easiness of swallow」

■ : Starch ● : Sodium alginate ▲ : Guar-gam  
◆ : Xanthan ★ : Grated yam  
\* ;  $P < 0.05$ , \* \* ;  $P < 0.01$

以上のことより、ゾル試料の特性が混合系試料のまとまりやすさに影響することが明らかとなった。今回、混合系試料の「飲み込みやすさ」について試料間で有意差が認められなかったことは、混合系試料の評価の難しさに加え、被験者の認識にばらつきが生じたためと推察される。

#### (4) 官能評価特性と力学的特性の関係

官能評価と力学的特性の関連性を検討し、関連性が認められた混合系試料の「まとまりやすさ」とゾルの  $G'$  の関係を Fig. 3-7 に示した。 $G'$  が高い程、混合系試料はまとまりやすいと評価された。混合系試料のまとまりやすさは、ゾル試料の降伏応力とも関連性がみられたことから、ゾル試料の  $G'$  や降伏応力がゲルをまとめる効果を判定す

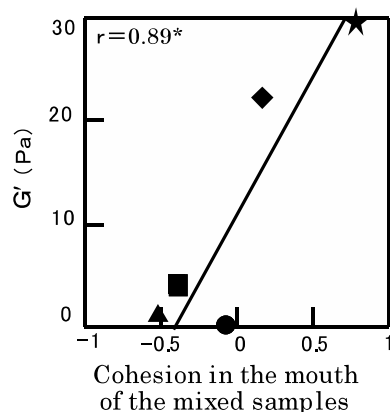


Fig.3-7  
Relationship between the  $G'$  of sol samples and the Cohesion in mouth of mixed samples

Symbols denote the same meaning as figure3-6. \* ;  $P < 0.05$

る指標となることが明らかとなった。

### 3. 要約

本章では、粘稠性ゾル試料について、トロロゾルのように刻んだゲルをまとめる特性を検討するため、ゾルーゲル混合系試料の力学的特性および官能評価特性に及ぼす影響を検討し、以下の結果が得られた。

1. アルギン酸 Na ゾルおよび澱粉ゾルは、降伏応力が低く、流動性指数が 1 に近く、 $G'$  および  $G''$  が低値を示した。官能評価においては、まとまりにくく飲み込みにくい傾向を示した。

2. キサンタンガムゾルおよびトロロゾルは、降伏応力が高く、流動性指数が低値であった。動的粘弾性についても  $G'$  が高く、周波数が増加しても  $G'$  はほぼ一定で weak gel であることを示した。官能評価において、まとまりやすく飲み込みやすい傾向を示した。

3. 澱粉ゾルは、法線応力の測定において、ワイセンベルグ現象が生じた。澱粉ゾルでのみ顕著に見られたこの現象は、「まとまりやすさ」および「飲み込みやすさ」との関連性はみられなかった。試料測定時のずり速度と、口に取り込み試料の特性を評価する際の口中でのずり速度が大きく異なること、および口中での唾液の影響があることが示唆された。

4. 混合系試料の官能評価において、トロロゾル混合系試料が最もまとまりやすいと評価され、飲み込みやすさは、トロロおよびキサンタンガム試料が飲み込みやすい傾向が示された。混合系試料の「まとまりやすさ」はゾル試料の  $G'$  および降伏応力と関連がみられた。

## 第 4 章 摂食過程に伴うゾル食塊の性状の変化

### 緒言

市販トロミ調整食品は、緑茶等に添加し飲料として使用されるだけでなく、食事のとろみ付けおよびあんかけのあんとしても使用される。第 1 章～3 章では、混合系試料は口の中に入れてから咀嚼せず丸呑みすることは困難であり、口中で咀嚼し食塊の形状が整った後に嚥下されることを明らかとした。しかし食物は、口中に取り込まれてから嚥下する過程において、唾液や温度の影響を受けることが考えられるが、ゾル状食品の摂食過程に伴う変化について検討した報告は現在見当たらない。

混合系試料の食べやすさを把握する上で、ゾル試料の特性が重要であることは第 3 章で示されており、摂食行動に伴うゾル食塊の力学的特性および性状を把握し、混合系試料の食べやすさを改善することを本章の目的とした。

### 1. 実験方法

#### (1) 試料および調製方法

##### 1) 試料

市販トロミ調整食品として主な原材料が異なる 3 種、すなわちキサンタンガム、グアーガム、デンプン系試料を用いた。溶媒には 20℃ 緑茶飲料を用いた。

##### 2) 調製方法

第 1 章に準じた。

##### 3) 試料の粘度およびトロミ調整食品添加濃度の決定

日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食特別委員会 2013 案の「とろみ 3 段階区分表」<sup>22)</sup>

のうち、濃いとろみに相当する  
ずり速度  $50\text{ s}^{-1}$ における粘度が  
 $450\text{ mPa}\cdot\text{s}$  となるよう各トロミ調  
整食品の添加濃度を定めた  
(Table 4-1)。

Table 4-1  
Concentrations of thickener added to  
solution and viscosity of samples

Thickeners Major ingredients	Concentration (w/v%)
Xanthan gum	2.6
Guar gum	1.7
Modified starch	4.9

#### 4) 食塊試料の採取方法

ヒトは、食物を取り込んでから、舌と口蓋によるわずかな圧縮で、摂取した食物の特性を認知している<sup>52)</sup>。そのため、小さくてやわらかな物性の食物は舌と口蓋により押し潰し、大きく、硬い物性の食物は歯列による咬断粉碎を行う。本研究で扱う濃いとろみに相当する試料は、口腔内において舌と口蓋で押し潰し、唾液と混合し、嚥下するために適当な食塊を形成していると考えられる。そのため、摂食方法は1回/秒のペースで舌と硬口蓋で押しつぶすこととした。また、継時的な変化を調べるため、1秒、5秒、10秒、15秒後の試料を採取することとした。

試料をれんげ上に15mlのせたものを一口で口に含み舌と硬口蓋で試料を押しつぶす運動を行った。口をゆすぐ水の温度を36℃～37℃として口腔内の状態を準備し、次の試食を行う際には口をすすぐこととした。本研究では舌と硬口蓋で押しつぶすことを摂食運動と表記する。

### (2) 力学的特性の測定

#### 1) 食塊試料の温度測定

試料を口の中に入れ、摂食運動を行い、吐き出した直後の試料の中心部の温度を熱電対温度計を用いて測定した。測定試料は3種の代表としてキサンタンガム系試料を用い、被験者9名について、各々2回ずつ実施した。室温は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ とした。

#### 2) 流動特性の測定

使用した機器および治具は第1章に準じた。測定条件は、デンプン系試料食塊の経過時間に伴う粘度変化が著しいため、測定時間は各ずり速度30秒とし、ずり速度1.53、24.51、 $50.17\text{s}^{-1}$ の3段階とした。

#### 3) テクスチャー特性の測定

使用した機器および条件は、第1章に準じた。採取した食塊試料は、直径20mm高さ15mmのガラスリング内に充填した。プランジャーは直径8mmの樹脂製を用いて行った。

### (3) 写真による食塊の性状観察

写真による性状観察は、CASIO EX-ZR500 を用いて行った。LST 板の中央に直径 40 mm 高さ 15 mm のガラスリングを置き、ガラスリング内に食塊試料を吐き出してもらった。その後リングを垂直に持ち上げ、5 秒後の写真を撮影した。なお、写真による性状観察には、食塊の力学的特性で、平均的な数値が得られた被験者とした。

### (4) 統計解析

第 1 章に準じた。

## 2. 結果および考察

### (1) 食塊試料の温度変化

口腔内における試料の温度変化の測定結果を Fig.4-1 に示した。被験者 9 名について各々 2 回ずつ実施した。

個人差はあるが、測定前は 20℃ 前後の試料温度が、摂食運動時間に伴い上昇し、15 秒後には 28℃ 付近まで達することが明らかとなった。この結果より、試料を口に取り込んでから 1 秒後の食塊の温度はすでに個人によりばらつきが大きいことが示された。食塊試料の流動特性の測定を行うにあたり、測定温度を各食塊試料の温度にあわせて行うことは困難であることから、先行研究<sup>13)</sup>を参考に 25℃ において行うこととした。

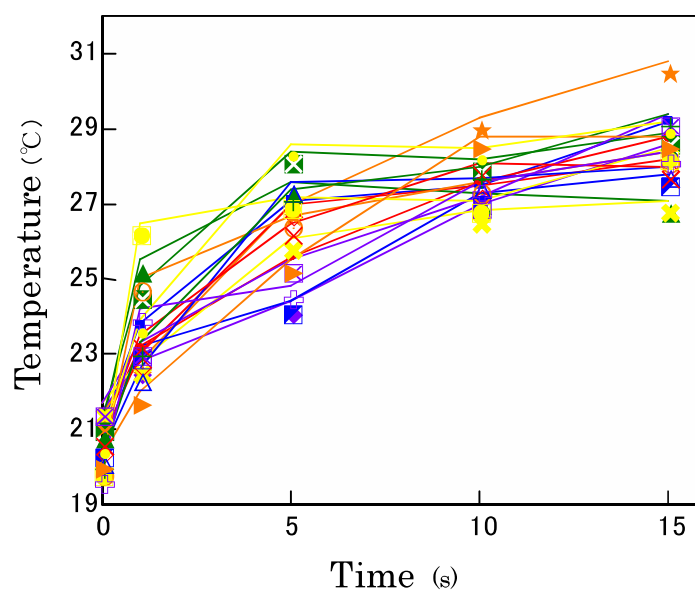


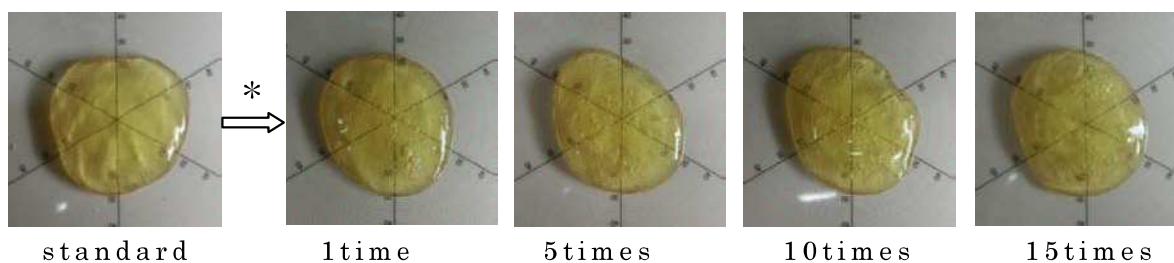
Fig.4-1 Eating times versus temperature of the bolus

## (2) 写真による食塊の性状観察

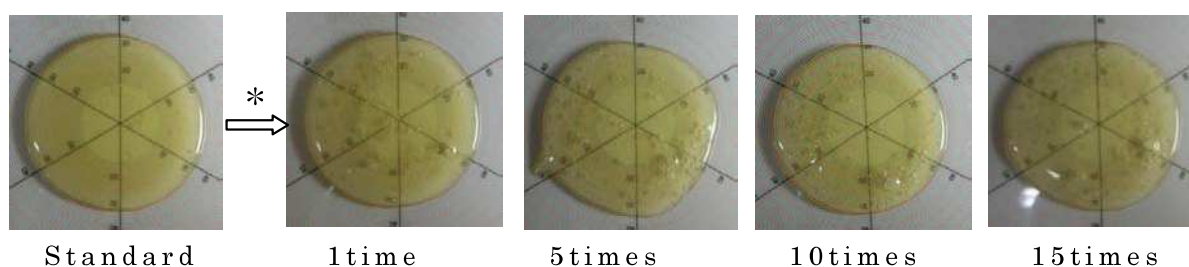
写真による性状観察の結果を Fig. 4-2-a)～Fig. 4-2-c)に示した。

Fig. 4-2-a)より、キサンタンガム試料は1秒後の食塊が不均質な性状となっている。また、摂食運動時間に伴い、口腔で圧縮され生じた小さな気泡が試料中に分散している様子がみえるが、試料の広がり距離には変化はみられなかった。第3章の Fig. 3-3で述べたように、キサンタンガムは weak gel の性状をもつことから、基準試料の広がり距離も他の2試料と比較し小さく、さらに唾液と試料が一体化しにくいことから、15秒後の食塊についても基準試料と比較し広がり距離に変化が認められなかった。

a)



b)



c)

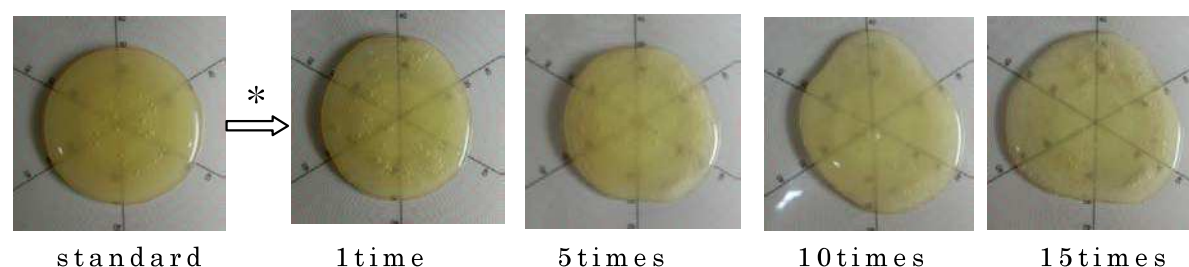


Fig.4-2 Pictures of the standard sample and the bolus

a) Xanthan gum sample b) Guar gum sample c) Modified starch sample

\* ; Decreasing in the amount of sample after eating

Fig. 4-2-b)より、グアーガムは基準試料と食塊試料で見た目の変化がみられなかった。基準試料の広がり距離は3試料の中で最も大きく、サラサラとしていた。

Fig. 4-2-c)より、デンプン試料は摂食運動時間に伴い、試料の広がり距離が大きくなった。また、基準試料は白濁していたが、摂食運動時間に伴い透明感が生じた。デンプン試料は唾液と混ざりやすく、かつ唾液アミラーゼによりデンプンが分解されるため、見た目の性状の変化が大きいことが示唆された。

### (3) 食塊試料の力学的特性の測定

食塊の力学的特性結果を以下に示した。なお、参考として摂食前の基準試料（20℃）の力学的特性結果を0秒として表記した。

#### 1) 食塊試料の粘度変化

各試料のずり速度  $50\text{s}^{-1}$ における粘度の変化を Table4-2 に、また経時変化を把握するため平均値を求め Fig. 4-3 に示した。

Table4-2 より、ずり速度  $50\text{s}^{-1}$ における粘度は、3試料いずれも、摂食前の基準試料に対して1秒後の食塊試料は低下し、更に5秒後の食塊は1秒後食塊と比較し低下した。グアーガムおよびデンプン試料については、5秒後以降有意差は認められなかったが、キサンタンガム試料については5秒後の食塊と比較し15秒後食塊の粘度は有意に低下した。また、Fig. 4-3 より、デンプン試料食塊の粘度低下がとくに顕著であることが示された。このことは、主原料であるデンプンが唾液中に含まれるアミラーゼにより分解されたためと推察された。また、デンプン試料の変動率が他の試料と比較し大きいことから、被験者により唾液の分泌量および性質が異なることが影響したと推察される。

同時に測定を行ったずり速度  $1\text{s}^{-1}$ における粘度についても同様の傾向が認められた。

Table 4-2  
Viscosity at  $50\text{s}^{-1}$  of the sol samples and bolus

Sample	times (s)	Viscosity ( $\times 10^3\text{mPa}\cdot\text{s}$ )	
		Average $\pm$ SD	C.V.(%)
Xanthan gum	0	$4.51\pm 0.05^{\text{a}}$	1.2
	1	$3.93\pm 0.16^{\text{b}}$	4.0
	5	$3.87\pm 0.17^{\text{bc}}$	4.4
	10	$3.79\pm 0.15^{\text{cd}}$	4.0
	15	$3.73\pm 0.17^{\text{d}}$	4.5
Guar gum	0	$4.20\pm 0.08^{\text{a}}$	1.9
	1	$3.74\pm 0.18^{\text{b}}$	4.8
	5	$3.52\pm 0.23^{\text{c}}$	6.5
	10	$3.43\pm 0.22^{\text{c}}$	6.5
	15	$3.33\pm 0.28^{\text{c}}$	8.5
Modified starch	0	$4.30\pm 0.11^{\text{a}}$	2.6
	1	$1.96\pm 1.24^{\text{b}}$	63.1
	5	$0.79\pm 1.15^{\text{c}}$	145.0
	10	$0.53\pm 0.83^{\text{c}}$	257.0
	15	$0.31\pm 0.57^{\text{c}}$	182.0

Significant differences among values are indicated by different letters ( $p<0.05$ )  $n=18$

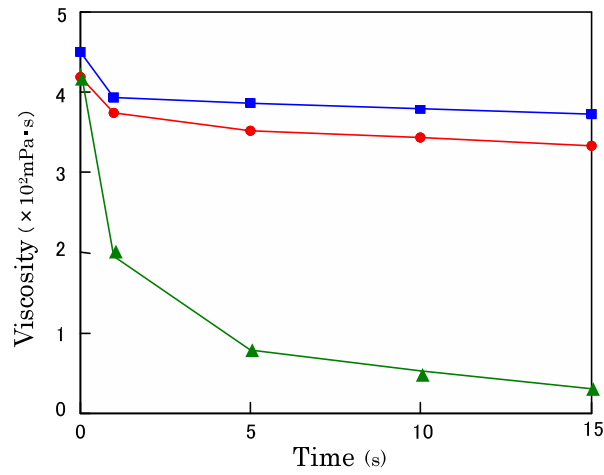


Fig.4-3  
Eating times versus viscosity at  $50\text{s}^{-1}$  of the bolus  
■ :Xanthan gum, ● :Guar gum, ▲ :Modified starch

## 2) 食塊試料のテクスチャー特性の変化

各試料の摂食過程に伴う硬さの変化を Table4-3 に示した。

硬さは、いずれの試料も摂食前の基準試料に対して 1 秒後の食塊試料は低下し、更に 5 秒後の食塊試料は 1 秒後食塊と比較し低下した。キサンタンガムおよびグアーガム試料については、5 秒以降の試料間に有意差は認められなかったが、デンプン試料については 5 秒後食塊と比較し、15 秒後食塊は低値を示した。

デンプン試料は、粘度の結果と同様、基準試料に対して硬さの低下率が他の 2 試料と比較し大きかった。変動率については、3 試料の中で最も大きかった。

グアーガム試料は他の 2 試料と比較し、基準試料の硬さが低く、摂食運動に伴う硬さの変化が少ないことが示された。Fig. 4-4 に示した性状観察より、基準試料がサラサラとしており唾液と混ざりやすく、試料と食塊性状の変化がほぼみられなかったことが明らかとなっており、そのことが硬さにも影響したことが推察される。

Table4-3 Hardness of the sol samples and bolus

Sample	times (s)	Hardness ( $\times 10^3 \text{N/m}^2$ )	
		Average $\pm$ SD	C.V.(%)
Xanthan gum	0	5.59 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2.1
	1	4.73 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	5.5
	5	4.44 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	4.1
	10	4.46 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>	3.8
	15	4.32 $\pm$ 0.25 <sup>c</sup>	5.9
Guar gum	0	2.78 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	5.1
	1	2.76 $\pm$ 0.15 <sup>b</sup>	5.5
	5	2.61 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>	3.6
	10	2.60 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	3.2
	15	2.52 $\pm$ 0.15 <sup>c</sup>	6.1
Modified starch	0	3.82 $\pm$ 0.22 <sup>a</sup>	5.7
	1	2.60 $\pm$ 0.45 <sup>b</sup>	17.5
	5	2.16 $\pm$ 0.53 <sup>c</sup>	24.8
	10	1.91 $\pm$ 0.45 <sup>cd</sup>	23.4
	15	1.77 $\pm$ 0.24 <sup>d</sup>	13.3

Significant differences among values are indicated by different letters ( $p < 0.05$ )  $n=18$

凝集性については、3 試料いずれの試料も食塊試料間に有意差は認められず、摂食時間の影響は認められなかった。

付着性は、キサンタンガムおよびグアーガム試料では、食塊試料間に有意差は認められなかった。一方、デンプン試料においては、1 秒後と比較し、5 秒、10 秒、15 秒後の試料は低値を示した。

付着性は他の特性値と比較すると値のばらつきが大きく、食塊のように粘稠なゾルと唾液の混合系と考えられる不均質な試料の特性値とすることは難しいといえよう。

### 3. 要約

本章では、原材料の異なる 3 種類のトロミ調整食品を添加した試料の口腔内における性状の変化を検討した結果、以下の結果が得られた。

1. 食塊試料の温度は口に取り込んだ後 1 秒後で基準試料より高値となり、15 秒後では個人によるばらつきは大きい、28℃ 付近まで上昇することが示された。

2. 食塊の粘度および硬さは、試料により程度が異なるが、基準試料と比較し、1 秒後、更に 5 秒後は低下することが示された。食塊の力学的特性値は、唾液および温度の影響を受けることが明らかとなった。

3. 基準試料と唾液の混ざりやすさが試料により異なり、力学的特性の変化に影響することが示唆された。

以上のことより、ゾル試料は口腔内に取り込まれてから摂食行動に伴い、口に含む前の試料と比較し力学的特性が異なることが示された。

今回はゾル試料のみでの検討であったが、固形物と共に摂取する際には、口腔内での摂食時間がより長くなることが想定される。従って、唾液との混ざりやすさや温度によってゾルの特性が変化することを考慮し、食形態を設計することが重要であることが示された。

## 第5章 微細大根を用いたきざみ食の食べやすさの検討

### 緒言

第1～3章において、ゾルーゲル混合系モデル試料の力学的特性、官能評価特性および生理学的特性の測定を行い、ゾル、ゲルそれぞれの特性が混合系試料の食べやすさに及ぼす影響を検討した。一方で、実際に私達が喫食している食事の中にもゾルーゲル混合系試料のような不均質な形態が存在し、特に咀嚼嚥下機能が低下した人を対象とした食形態には数多く見受けられる。その中で、きざみ食は食片ととろみあんの混合系といえるが、食片の大きさ、硬さなど決められておらず、施設により様々である<sup>3)</sup>。そこで本章では、実際に食事として提供される食形態を大根を試料として用い調製し、力学的特性値と食べやすさの関連性を検討することとした。

第1節として、異なる調理操作により硬さを変化させた大根を用い、刻む前の食品の硬さが、きざみ食の食べやすさにどのように影響するのか検討することとした。硬さを段階的に3段階となるよう調整し、刻んだ大根と、とろみあん（ゾル）の混合系試料について、力学的特性、官能評価および筋活動測定を行った。

第2節では、低温スチーム加工<sup>36)</sup>により加工された微細大根を食片（きざみ食）とし、とろみあん（ゾル）と混合した混合系試料について、i) 大根の硬さを変化させた混合系試料、ii) 大根ととろみあんの混合割合を相違について検討を行った。低温スチーム加工は低温蒸気加熱により細胞組織を破壊せず、風味や香りを逃さない、素材の栄養素、食感が保持されるという特徴がある。また、官能評価の被験者として、高齢者と若年者を対象に行い、比較した。実際にきざみ食を喫食する可能性が高い高齢者の評価を知ること、食事を提供する際、考慮すべき点を明らかとすることを目的とした。

### 第1節 加熱法の違いによるきざみ食の食べやすさの検討

#### 1. 実験方法

##### (1) 試料および調製方法

##### 1) 大根試料

きざみ食の固形部分として、大根（北海道産）を用いた。根本に

近い方の 5cm を除き、1.5cm ずつの輪切りにし、各段の形成層の内側より  $2 \times 2 \times 1.5$  cm の直方体に成型した。

加熱の手法として加圧加熱と蒸し加熱を用いた。加圧加熱試料は、パウチ袋に大根と同重量の蒸留水を加え、真空包装機（東静電気株式会社 V-280A 型）を用い、真空度 95% でパウチし、オートクレーブにて  $121^{\circ}\text{C}$  で 15 分間加圧加熱をした。蒸し加熱試料は、蒸し器中で  $90 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、15 分間加熱をした。各試料は加熱後、 $20^{\circ}\text{C}$  の恒温器中で 20 分間放冷した。さらに、加熱操作を行わない生の大根試料を加えた 3 種を試料として用い、それら 3 種の大根を、施設で一般的にきざみ食として提供されている<sup>3)</sup>一辺が 4mm の立方体に成形したものを微細大根試料とした。以下、加熱を行わない微細試料を大根 R、蒸し加熱した微細試料を大根 S、加圧加熱した微細試料を大根 P とする。

## 2) ゾル試料

調製には、キサンタンガム系トロミ調整食品（(株) フードケア）を使用した。溶媒として、市販の白だし（ヤマキ（株））を水で 5 倍希釈しただし汁を用いた。また、先行研究において、食片をまとめるために用いるとろみあんとして、プレーンヨーグルトやマヨネーズ程度の硬さが適していることが報告されている<sup>5, 11)</sup>ため、それら硬さの範囲となるよう添加濃度を 3.5 w/w% と決定し、第 1 章に準じて調製した。

## 3) 大根—ゾル混合系試料

混合系試料は、調製法の異なる 3 種の微細大根試料（大根 R、大根 S、大根 P）とゾル試料を、重量比 1 : 1 で混合した。以降、これら 3 種の混合系試料をそれぞれ、混合 R、混合 S、混合 P と称する。

## (2) 測定項目および測定方法

### 1) 大根の破断特性

微細大根一粒について第 2 章に準じ破断測定を行い、破断応力、破断ひずみ、破断エネルギーを算出した。

### 2) テクスチャー特性

微細大根をサンプルケースに充填した試料（これ以降大根充填試料と称する）、および混合系試料について、テクスチャー特性の測定を行った。方法は第 1 章に準じる。混合系試料のテクスチャー特性値はサンプルケース内の試料の分布状態により値が大きく異なることから、測定に用いるプランジャーは接触面積が大きいほうが測定値のばらつきを低減できる。しかし今回、直径 40mm プランジャーでは圧縮の際に荷重超過で測定不能な試料があったことから、直径 20mm のプランジャーを用い測定を行った。

### 3) 官能評価

官能評価は、混合系試料 3 種（混合 R、混合 S、混合 P）と、大根充填試料 3 種の中で中間の硬さを示した蒸し大根試料（大根 S）を基準として加えた全 4 試料について、シェッフェの対比較芳賀変法で行った。評価項目および順序は、口中で感じるかたさ（-3：かたい⇔+3：やわらかい）、まとまりやすさ（-3：まとまりにくい⇔+3：まとまりやすい）、飲み込みやすさ（-3：飲みこみにくい⇔+3：飲み込みやすい）、残留感（-3：少ない⇔+3：多い）の 4 項目とした。

また、口に入れてから嚥下するまでに要した咀嚼回数および嚥下した回数を回答してもらった。一口量、供食方法は官能評価と同じである。

### 4) 筋活動測定

試料を口に入れてから嚥下するまでの口腔関連筋の動きを表面筋電図計を用い測定した。測定および解析は第 2 章に準じた。被験者には、官能評価パネルを含む、顎口腔系の機能に異常の認められない正常咬合を有する、成人女性 12 人とした。スプーンの上の試料（3g）を一口で口に入れ、自由に喫食してもらい、すべて嚥下し終わった際に手で合図してもらうよう指示をした。試料を口に入れてからすべて嚥下するまでの咬筋の平均最大振幅、総筋活動量を解析し、12 名の平均値を算出した。

### (3) 統計解析

第 1 章に準じた。

## 2. 結果および考察

### (1) 微細大根一粒の破断測定

立方体に成型した微細大根一粒の破断特性値および分散分析の結果を Table5-1 に示した。

破断応力、破断エネルギーについては全ての試料間に有意差が認められ、加熱操作を加えない大根 R と比較し、加熱操作を加えた大根 S および大根 P は、いずれも破断応力、破断エネルギーが有意に低値を示した。更に、蒸し加熱した大根 S よりも、加圧加熱した大根 P のほうが有意に低値を示した。

Table5-1 Effect of *daikon* prepared in different ways on rupture properties

<i>Daikon</i>	raw (R)	steam (S)	pressure (P)
Rupture stress ( $\times 10^5 \text{N/m}^2$ )	19.1 $\pm$ 2.96	2.99 $\pm$ 0.70	0.67 $\pm$ 0.19
Rupture strain	0.58 $\pm$ 0.06	0.53 $\pm$ 0.09	0.70 $\pm$ 0.15
Rupture energy ( $\times 10^3 \text{J/m}^3$ )	9.73 $\pm$ 1.10	1.71 $\pm$ 0.37	0.48 $\pm$ 0.11

Values are expressed as mean  $\pm$  standard deviation  
 \*\*significant difference at  $p < 0.01$ .

### (2) 大根充填試料および混合系試料のテクスチャー特性

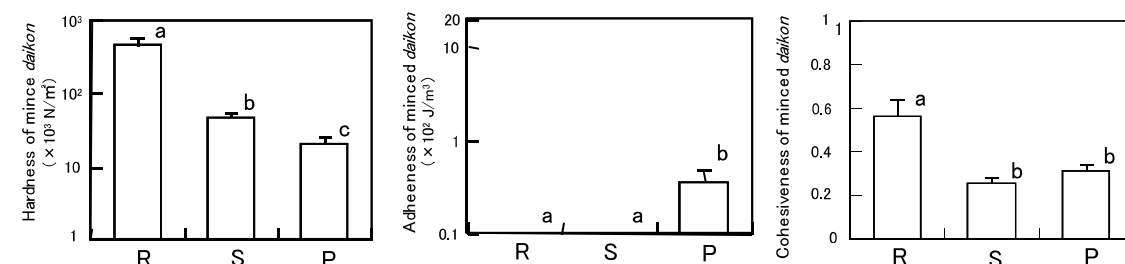
微細大根一粒の特性を破断特性により得たが、実際に喫食する際には集合体であることから、大根を試料容器に充填した試料と、それらにゾルを加えた混合系試料について、テクスチャー特性結果を Fig. 5-1 示した。

テクスチャー特性へのゾル添加の有無の影響について二元配置分散分析を行った所、有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。すなわち、いずれの調製法においても、大根試料をゾルと混合することで、硬さは低値となり、付着性および凝集性は、生大根の凝集性を除き、有意に高値となった。硬さが低値となることは、圧縮された際に大根がサンプルケース内で移動しやすくなるためと推察される。次に、大根充填試料および混合系試料それぞれについて、Bonferroni 法により試料間の検定を行った。

Fig. 5-1-1) に示した大根充填試料において、硬さは、大根 R、大根 S、大根 P の順に有意に高値となり、大根一粒の破断応力

(Table5-1)と同様の傾向が認められた。一方、Fig.5-1-2)に示した混合系試料では、硬さは混合 R と比較し、混合 S および混合 P は有意に低値であるが、混合 S と混合 P の間に有意差は認められなかった。このことから、ゾルにより凝集性が高まり、大根の特性が相殺されたことが示唆された。

1)



2)

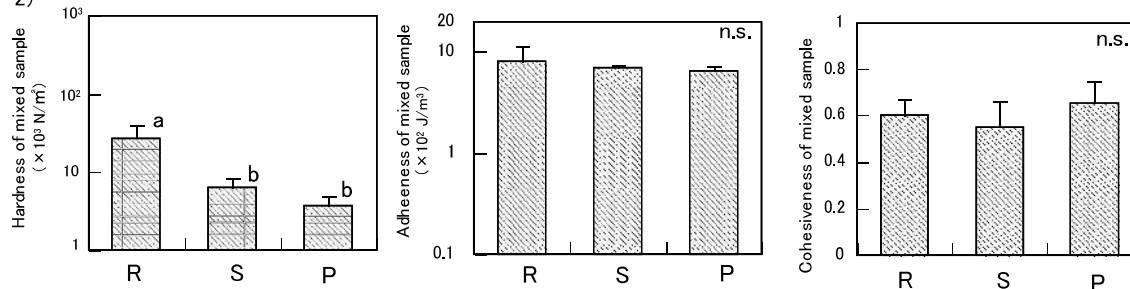


Fig.5-1 Effect of *daikon* prepared in different ways on the textural properties of the *daikon* alone samples and *daikon*-sol mixed samples

1) minced *daikon* alone sample 2) *daikon*-sol mixed sample

R: *daikon* was prepared by leaving uncooked ,

S: *daikon* was prepared by leaving uncooked,

P: *daikon* was prepared by heating under pressure

Significant differences among values are indicated by different letters ( $p < 0.01$ ) n.s. : no difference

### (3) 官能評価

混合系試料 3 種（混合 R、混合 S、混合 P）と、コントロールとした蒸し大根単独試料（大根 S）をあわせた 4 試料について官能評価を行った。各項目の評点平均値と試料間の有意差の有無を Fig.5-2 に示した。

「かたさ」について、混合 P が他の 3 試料と比較し有意にやわらかいと評価され ( $p < 0.01$ )、続いて、混合 S、大根 S、混合 R の順となり、いずれの試料間にも有意差が認められた。

混合系試料を比較をすると、混合 P と混合 S は、「かたさ」と「残留感」では有意差が認められたが、「まとまりやすさ」と「飲み込み

やすさ」については、有意差が認められなかった。実際にきざみ食を喫食する対象者は、咀嚼機能が衰えてはいるが、歯ぐきなどにより咀嚼することもできるので咀嚼することが不可能ではない状態と考えられる。したがって、食塊形成しやすい食形態とすることが重要といえ、本研究の試料中では、蒸し加熱程度のやわらかさにすること、また、加熱により軟化し大根の表面特性が変化することで、ゾルと混ざりやすく、まとまりやすい状態となったことが示された。

また、大根 S と混合 S を比較し、ゾルの有無による影響をみると、「飲み込みやすさ」と「残留感」については、ゾルの有無による差は認められず、固形物の特性（破断応力）の影響が大きいといえる。すなわち、混合 R よりも大根 S のほうが、大根の破断応力が低いため、飲み込みやすく、残留感が少ないと評価されたことが示唆された。

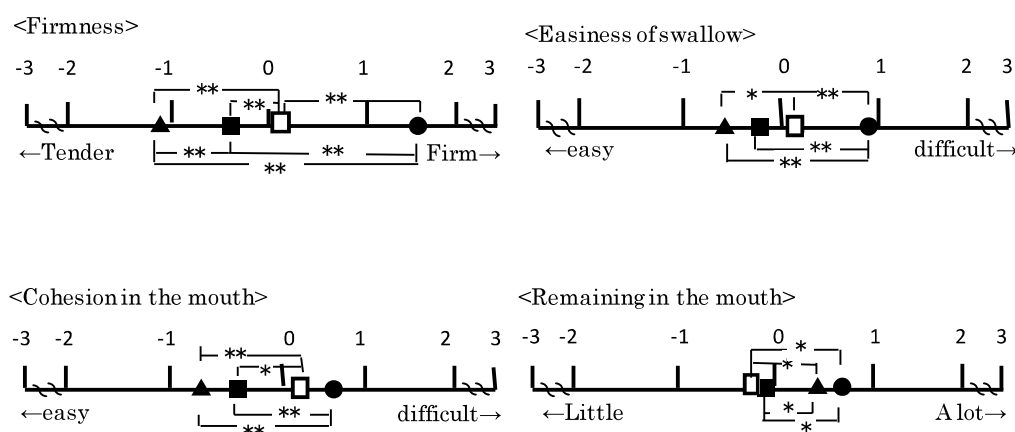


Fig.5-2 Effect of *daikon* prepared in different ways on sensory evaluations of mixed samples

- : mixed sample with *daikon* R prepared by leaving uncooked
- ▲ : mixed sample with *daikon* S prepared by steaming
- : mixed sample with *daikon* P prepared by heating under pressure
- : *daikon* S prepared by steaming

\*significant difference at  $p < 0.05$  and \*\*significant difference at  $p < 0.01$

#### (4) 咀嚼回数・嚥下回数

官能評価で用いた試料について、被験者 12 名の咀嚼回数および嚥下回数の平均値と有意差検定の結果を Fig. 5-3 に示す。

咀嚼回数については、混合 R が混合 S、混合 P と比較し有意に多くなっていた。一方、ゾルと混合していない大根 S は、混合 S よりも咀嚼回数が多かったことから、ゾルを混合することで咀嚼回数が

軽減することが示唆された。しかし、混合 R と大根 S には有意差が認められなかったことから、混合 R のように、混合前の大根の破断応力が大きい場合は、ゾルを加えても咀嚼回数を軽減することに限界があると考えられる。人が嚥下する際の食塊のテクスチャーは硬さおよび付着性に一定範囲があることが報告されており<sup>53)</sup>、喫食する試料の硬さおよび付着性が、食塊形成に大きく影響することからこのような結果となったと推察する。

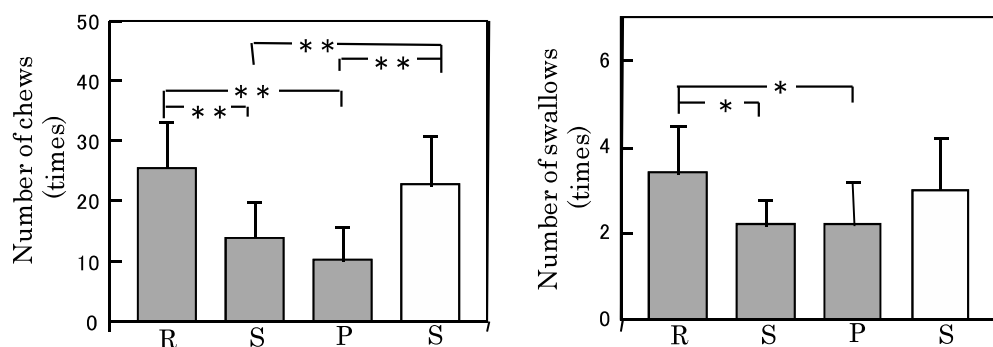


Fig.5-3 The number of chews and swallows of samples

■ : mixed samples, □ : minced *daikon* alone samples

R : *daikon* was prepared by leaving uncooked

S : *daikon* was prepared by steaming

P : *daikon* was prepared by heating under pressure

\*significant difference at  $p < 0.05$  and \*\*significant difference at  $p < 0.01$ .  $n=12$

#### (5) 筋活動測定

被験者 12 名の総筋活動量および平均最大振幅について、試料間の有意差の有無をあわせて Fig.5-4 に示した。

混合系試料を比較すると、混合 R は、混合 S、混合 P よりも、有意に高値となったことから、嚥下までに要する総筋活動量が最も多いことが示された。KOHYAMA ら<sup>54)</sup> は、りんごの調理操作および切り方による筋活動に及ぼす影響を検討しており、生のりんごと比較し半加熱りんごおよび加熱りんごは筋活動量が減少することを報告している。食品の硬さと筋活動量の関連性は、固形物単体のみならず、本研究のような混合系試料においても示された。

また、大根 S と混合 R は咀嚼回数には有意差が認められなかったが、筋活動量については大根 S の方が有意に低値を示した。生大根を混合している混合 R は、一回当りの平均最大振幅が高く、咀嚼一回当たりの力を要することが、総筋活動量が高くなった要因と推察される。

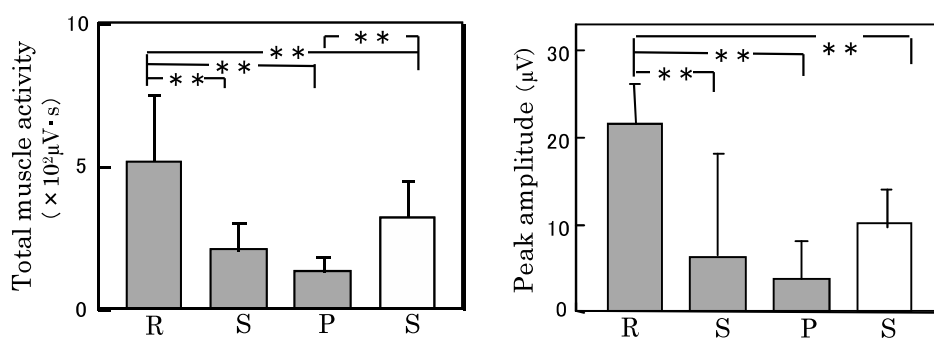


Fig.5-4 Results of mastication measurements

■ : mixed samples, □ : minced *daikon* alone samples  
 R : *daikon* was prepared by leaving uncooked  
 S : *daikon* was prepared by steaming  
 P : *daikon* was prepared by heating under pressure  
 \*\*significant difference at  $p < 0.01$ .  $n=12$

#### (6) 測定値間の関連性

官能評価とテクスチャー特性の硬さおよび筋活動測定に関連性を検討した。

Fig.5-5-a)に示したように、官能評価で得られた「かたさ」とテクスチャー特性の「硬さ」の関係については、蒸し大根 S が他の試料とは異なる挙動を示した。テクスチャー特性の硬さでは、ゾルと混合していない大根 S が 4 試料間で最も高値であるが、官能評価では混合 R が最もかたいと評価され、喫食する際には全体ではなく大根の硬さを感知することが示唆された。官能評価では試料が咀嚼により口中に広がっていくのに対し、テクスチャー測定では容器に充填した密閉状態であるため、圧縮による挙動が異なるといえる。本研究のように固形物単独試料と固形物とゾルの混合試料とを同一条件で比較することは困難と言えるので、今後測定条件を検討していくことが課題といえる。

一方、Fig.5-5-b)に示したように、官能評価の「かたさ」と総筋活動量は直線関係がみられ、かたいと感じる試料ほど筋活動量が高値となった。すなわち、総筋活動量は歯による咀嚼を感知しているためといえる。

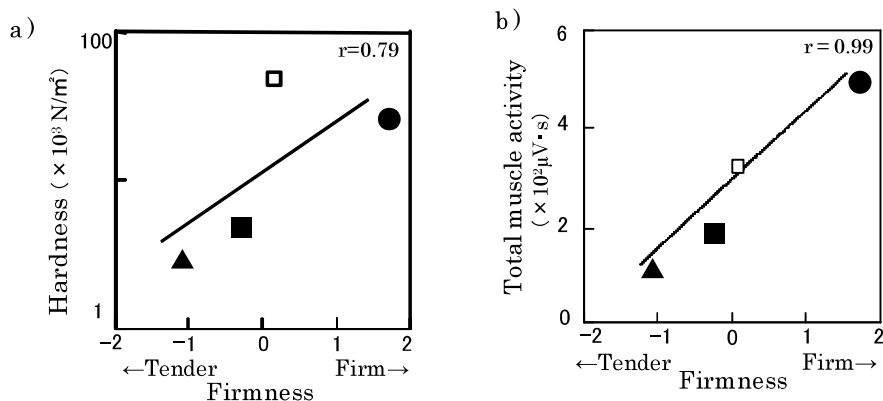


Fig.5-5

a) Relationship between the Firmness and hardness

b) Relationship between the Firmness and total muscle activity

- : mixed sample with *daikoR* prepared by leaving uncooked
- ▲ : mixed sample with *daikonS* prepared by steaming
- : mixed sample with *daikonP* prepared by heating under pressure
- : *daikon S* prepared by steaming

### 3. 要約

本研究では、異なる調理操作（生、蒸し加熱、加圧加熱）を加えた大根を試料とし、固形物の硬さが、混合系試料の力学的特性、官能評価および筋活動測定に及ぼす影響を検討した。結果以下のことが明らかとなった。

1. 生大根混合試料（混合 R）は、最もかたく、まとまりにくく、飲み込みにくいと評価された。また、蒸し大根混合試料（混合 S）と加圧大根混合試料（混合 P）は「まとまりやすさ」および「飲み込みやすさ」において差が認められなかったことより、蒸し加熱程度にやわらかくすることにより、きざみ食の食べやすさは改善されることが示唆された。

2. 筋活動測定において、生大根混合試料（混合 R）が嚥下するまでの総筋活動量が最も高いことが示され、加熱することにより咀嚼回数および筋活動量が軽減することが示された。

3. ズルと混合していない蒸し大根試料（大根 S）のほうが、混合 R よりも口中で感じるかたさが軟らかく、飲み込みやすいと評価され、嚥下までに必要な筋活動量も有意に低かった。

以上のことより、きざみ食の食べやすさの改善にはズルの有無より、固形物を軟らかくすることの重要性が示された。

## 第2節 低温スチーム加工大根を用いたきざみ食の食べやすさについて－高齢者パネルによる検討－

### 1. 実験方法

#### (1) 試料および調製方法

##### 1) 低温スチーム加工大根

きざみ食の固形部分として、(株)T.M.Lとよはしより提供を受け、工業的に低温スチーム加工<sup>36)</sup>した角切り大根を用いた。低温スチーム加工とは、100℃以下の温度で蒸気を攪拌せず、食材の近接を蒸気の膜で覆い酸化させない凝縮熱伝導方式による加熱方式である。素材の調理目的に適した最適温度、湿度、時間の多様な組み合わせで食材を硬軟自在な硬さに調整可能である。そこで、加熱温度および時間をTable5-2のように設定し、硬さの異なる3種の試料を調製した。これ以後大根a、大根b、大根cと称する。

Table5-2  
Process condition of low temperature steam heating

	First heat	Second heat
大根a	85℃ 60min	85℃ 30min
大根b	95℃ 60min	85℃ 30min
大根c	95℃ 60min	95℃ 60min

##### 2) ギョー試料

調製には、キサンタンガム系トロミ調整食品((株)フードケア)を使用した。高齢者施設で官能評価を実施することを考慮し、溶媒として、だしパック(株式会社マルエツ)を使用して調製したかつお昆布だし、こいくちしょうゆ(キッコーマン食品株式会社)、みりん(宝酒造株式会社)を重量比20:1:1で混合して出汁を調製し、20±2℃に冷却して用いた(塩分濃度0.8%)。本節で用いたギョー試料はプレーンヨーグルト程度の硬さとなるよう予備実験を行い、添加濃度を2.0 w/w%と決定し、第1章に準じて調製した。

##### 3) 大根－ギョー混合系試料

混合系試料は、大根とギョー試料を用いて以下(i)、(ii)に基づき調製した。

##### (i) 大根の破断応力が異なる試料

加熱温度および加熱時間の異なる大根a、大根b、大根cとギョーを、Table5-3に示したように重量比5:5で混合し、これ以後、3種の混合系試料をそれぞれ、混合A、混合B、混合Cと称する。

(ii) 大根とゾルの混合割合が異なる試料大根 b とゾルを、重量比 3 : 7、4 : 6、5 : 5、6 : 4、7 : 3 の 5 段階で混合し、以降、これら 5 種の混合系試料をそれぞれ大根 30%、大根 40%、大根 50%、大根 60%、大根 70%と称する。

Table 5-3 Mixture ratio of differently sol- *daikon* samples

混合系試料	大根			ゾル
	大根a	大根b	大根c	
混合A	5			5
混合B		5		5
混合C			5	5
大根30%		3		7
大根40%		4		6
大根50%		5		5
大根60%		6		4
大根70%		7		3

Figures represent the ratio of weight balance of the total ten.

## (2) 測定項目および測定方法

### 1) 大根の破断特性

大根一粒について第 2 章に準じ破断測定を行い、破断応力、破断ひずみ、破断エネルギーを算出した。

### 2) テクスチャー特性

大根充填試料および混合系試料について、第 1 章に準じ、テクスチャー特性の測定を行った。プランジャーは、直径 40mm および直径 20 mm のプランジャーを用い測定を行った。

### 3) 官能評価

評価試料は、i) 大根の破断応力が異なる混合系試料 3 試料、および ii) 大根ととろみあんの混合割合が異なる混合系試料 3 試料とした。被験者は、若年者群として、健常な成人女性（22～39 歳）11 名、高齢者群としてナーシングホーム気の里デイケア通所者（73～92 歳）11 名とした。官能評価方法は順位法（ISO8587:2006, Sensory analysis-Methodology-Ranking）を用いた。順位法は比較する試料を 1 度に被験者に提示し、項目に従って順位付けして評価する方法である。試料の提供方法は 3 種類をラテン方格に従いトレー上に配置し、温度は  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  で提示した。評価項目および順序は、①口の中で感じるかたさ（やわらかいもの：1 位）、②まとまりやすさ（まとまりやすいもの：1 位）、③残留感（残留感が少ないもの：1 位）、④べたつき感（べたつくもの：1 位）、⑤飲み込みやすさ（飲み込みやすいもの：1 位）とし、評価してもらった。評価項目ごとに各試料の順位合計を得、順位法の検定はフリードマンの検定を行い、試料間の順位合計の差の検定は最小有意差（LSD）法により行った。

高齢者を対象とした官能評価は、評価に先だち、パネルとなった高齢者の身体状況および摂食機能状況について調査を行った。全ての高齢者パネルは全義歯装着、あるいは一部義歯装着であった。脳梗塞による麻痺があり嚥下障害がある方が3名いたが、全員認知機能は良好であり、食事は自立摂食できることを、確認済みである。高齢者パネルの官能評価では、高齢者一名に介助者一名が付き添い、評価結果を聞き取り、さらに食事時のむせの有無および咀嚼回数についての観察もあわせて行った。

### (3) 統計解析

第1章に準じた。

## 2. 結果および考察

### (1) 低温スチーム加工大根の破断特性

Table5-4 に、低温スチーム加工大根一粒の破断特性値および分散分析の結果を示した。破断応力は、大根 a が最も高値を示し、大根 b と大根 c の間に有意差が認められた。大根 a, b, c のいずれも生大根よりも有意に低値であるが、大根 a はユニバーサルデザインフード<sup>20)</sup> 区分における区分 1 の上限値  $5 \times 10^5$  (N/m<sup>2</sup>) を上回っているため、咀嚼機能が衰えている人の食事には向かないこと、大根 b および c はいずれもユニバーサルデザインフード区分内であり、大根 b が蒸し大根と最も近似していることが示された。

Table5-4 Rupture properties of *daikon*

<i>Daikon</i>	a	b	c
Rupture stress ( $\times 10^5$ N/m <sup>2</sup> )	6.16 $\pm$ 2.23 _____**_____	3.12 $\pm$ 1.13 _____**_____	1.76 $\pm$ 0.6 _____**_____
Rupture strain	0.69 $\pm$ 0.08 _____**_____	0.53 $\pm$ 0.13 _____**_____	0.46 $\pm$ 0.08 _____**_____
Rupture energy ( $\times 10^3$ J/m <sup>3</sup> )	1.54 $\pm$ 0.62 _____**_____	0.72 $\pm$ 0.43 _____**_____	0.35 $\pm$ 0.16 _____**_____

Values are expressed as mean  $\pm$  standard deviation

\*\*significant difference at  $p < 0.01$ . n=12

*Daikon* a, b and c were processed on condition as to table 5-2.

### (2) 大根充填試料および混合系試料のテクスチャー特性

#### 1) 大根の破断応力が異なる試料の比較

Fig. 5-4 に、大根充填試料（大根 A、大根 B、大根 C）および、混合系試料（混合 A、混合 B、混合 C）のテクスチャー特性を示した。硬さは、大根充填試料と比較し、混合系試料は有意に低値を示し、大根一粒の破断応力が高い試料ほど、硬さが高値となることが明らかとなった。付着性および凝集性は、大根充填試料と比較し混合系

試料は有意に高値を示した。また、混合系試料間には有意差は認められず、大根の特性よりもゾル有無の影響が大きいことが示された。

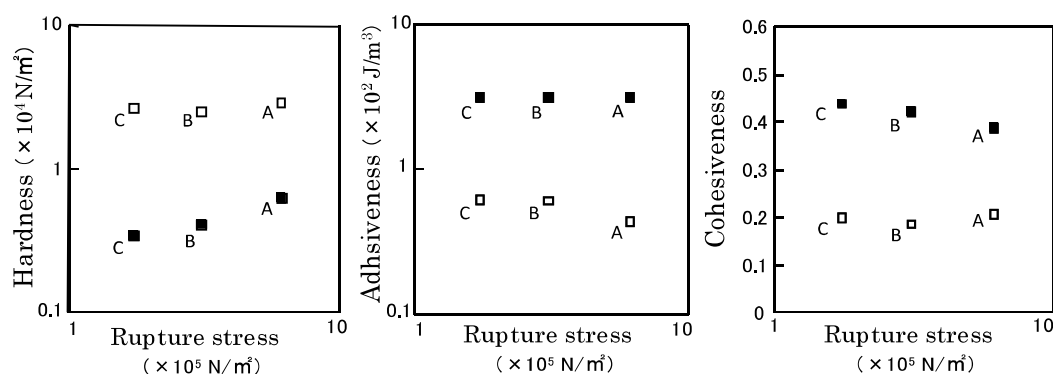


Fig.5-4 The textural properties of the samples of minced *daikon* alone and mixed samples with different rupture stress of a *daikon*

□ : the samples of *daikon* alone  
 ■ : the samples of mixed samples  
 A : with *daikon* a, B : with *daikon* b, C : with *daikon* c

## 2) 大根－ゾル試料の混合割合が異なる試料の比較

Fig5-5 に、大根とゾルの混合割合を変化させた混合系試料のテクスチャー特性の結果を示した。硬さおよび付着性は、大根の割合が多くなるほど試料全体の硬さが高値となることが示された。このことはプランジャーに付着する大根の数が増加したためと推察される。また、凝集性は大根の割合が増すに従い低値を示し、すなわちゾルを付与することによって凝集性が高く、まとまりが増すことが示唆された。高橋ら<sup>55)</sup>のレトルト粥について検討した報告では、重湯に対して粥粒の割合が増すと凝集性および付着性が高値となることを報告している。混合割合のテクスチャー特性への影響は、固形物の特性によっても異なることが示唆された。

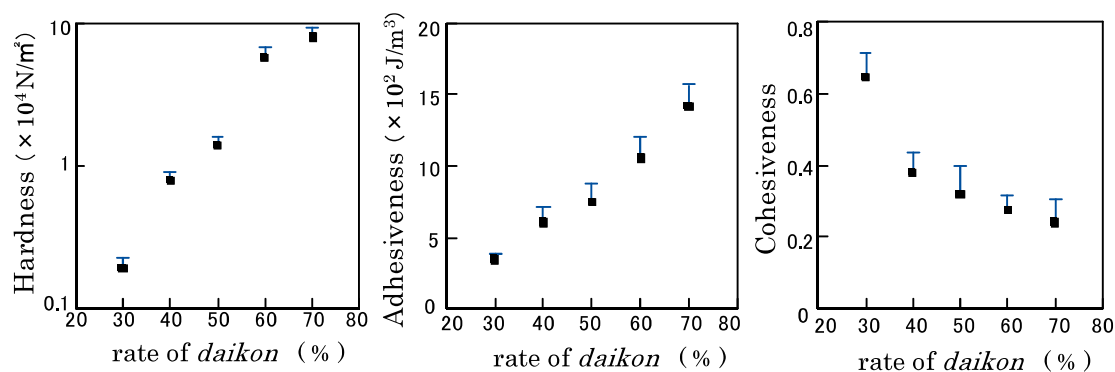


Fig.5-5 The textural properties of the mixed samples with different rate of a *daikon*

### (3) 若年者と高齢者による官能評価

大根とズル混合系試料について若年者および高齢者による官能評価を行い、比較検討した。

#### 1) 大根の破断応力が異なる試料の比較

大根の破断応力が異なる 3 試料、混合 A、B、C について、官能評価結果を Fig. 5-6 に示した。口中で感じるかたさについては、有意水準は異なるが、若年者、高齢者ともに、混合 A が最もかたいと評価され、次いで混合 B、混合 C の順となった。この結果より、大根一粒の破断応力が大きい試料は、若年者および高齢者共にかたいと感ずることが示された。人は加齢につれ筋力や口腔感覚が衰えてくる<sup>4)</sup>と言われているが、口中で感じるかたさについては年齢に関わらず判別し易い特性であることが推察された。

一方、まとめやすさと残留感については、若年者群と高齢者群で異なる結果となった。混合 A が最もまとめにくく残留感が多いとの評価は若年者と高齢者で一致したが、若年者は混合 B が、高齢者は混合 C が混合 A と比較し有意にまとめやすく、残留感が少ないという評価となっている。高齢者は、口中で感じるかたさと、まとめやすさが同じ傾向を示し、やわらかい試料ほどまとめやすいと評価し、また、残留感については、若年者が混合 A と比較し残

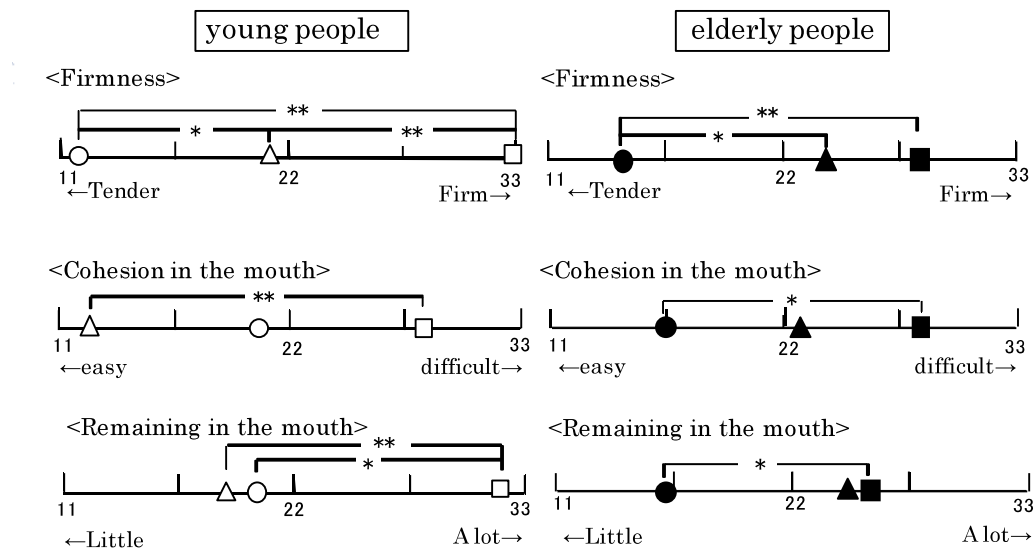


Fig.5-6

Sensory evaluations of mixed samples in a panel of the young people and elderly people -samples with different rupture stress of a *daikon*-

□ ■ : with *daikon* a    ○ ● : with *daikon* b    △ ▲ : with *daikon* c

\*significant difference at  $p < 0.05$  and \*\*significant difference at  $p < 0.01$ .

留感が少ないと感じた混合 B について、混合 A 同等に残留感が多いと感じる傾向があり、食べやすさの要因としてかたさの影響が大きいことが示唆された。

## 2) 大根・ゾルの混合割合が異なる試料の比較

大根とゾルの混合割合が異なる混合系試料 3 種、すなわち大根 30%、大根 50%、大根 70% についての、官能評価結果を Fig.5-7 に示した。口中で感じるかたさについては若年者、高齢者共に試料間に有意差が認められなかった。

べたつき感、まとまりやすさは、高齢者と若年者で同様の傾向を示し、大根 30%が大根 70%と比較し有意にべたつくが、まとまりやすいと評価された。ゾルの割合が多いほど、まとまりやすいがべたつくと感じられた。

残留感と飲み込みやすさについては、最も残留感が少なく飲み込みやすい傾向と評価された試料が、若年者では大根 30%、高齢者は大根 50%と両群で異なった。高齢者は、ゾル特有のべたつき感を残留感と感じて嫌い、飲み込みにくいと評価することが示唆された。また、固形物の混合割合が減ることは、摂取量（栄養価）が、ゾルを付与しない場合と比較し減少してしまうため、望ましいとはいえない。

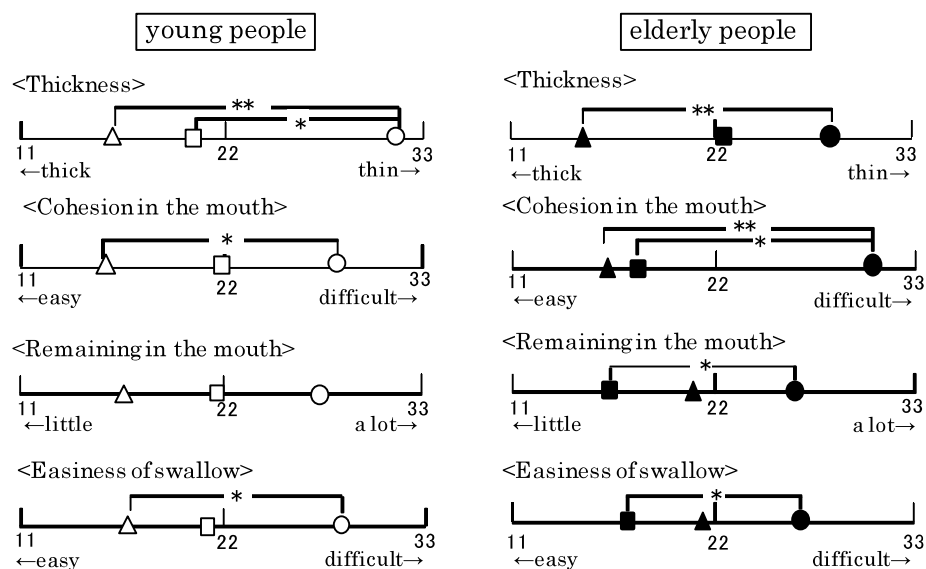


Fig.5-7

Sensory evaluations of mixed samples in a panel of the young people and elderly people -samples with different rate of a *daikon*-

△ ▲ : rate of *daikon* was 30 % □ ■ : rate of *daikon* was 50 %

○ ● : rate of *daikon* was 70 %

\*significant difference at  $p < 0.05$  and \*\*significant difference at  $p < 0.01$ .

ない。従って、咀嚼機能の維持、摂取量の増加のためにも、喫食者の摂食機能の状態に伴い、除々に固形物の割合を増やしていくなど食形態の工夫が必要だと考えられる。

### 3. 要約

低温スチーム加工による大根を用いて、とろみあん（ゾル）を付与した混合系試料の食べやすさについて、i) 大根の破断応力が異なる試料、ii) 大根とゾルの混合割合が異なる試料の比較を、力学的特性と官能評価により検討した。

1. 一粒の大根の破断応力が高い混合系試料ほど、口中で感じるかたさは、かたいと評価された。まとまりやすさと残留感については、若年者と高齢者で結果が異なり、高齢者はかたいと感じる試料ほど、まとまりにくく残留感が多いと評価した。高齢者にとって、固形物の硬さの影響が大きいことが示唆された。

2. 大根の混合割合が増すに従い、テクスチャー特性の硬さは高値となり試料間に有意差が認められたが、官能評価の口中で感じるかたさについては試料間の差が認められなかった。被験者は、試料のかたさを固形部分である大根の硬さにより評価したことから、いずれの試料も差が認められなかったことが示唆された。

まとまりやすさ、べたつき感、は若年者も高齢者も同様の結果であり、テクスチャー特性の凝集性および付着性と関連性が認められた。残留感、飲み込みやすさは、若年者と高齢者で異なる傾向を示し、高齢者は大根 50% の試料が最も飲み込みやすい傾向であった。とろみあんが多くなるとべたつき感を嫌い、飲み込みにくいと感じることが示唆された。

## 結 論

高齢者の QOL 向上の観点からも、最後まで口から美味しく食べられることが望まれる。本研究では、咀嚼や嚥下の機能が低下した高齢者にとって食べやすく安全な食事の提供、また、新たな介護食品の開発に寄与することを目的とし、液体（ゾル）と固体（ゲル）が混合している不均質な食物に着目し、研究を行った。

不均質な食物の力学的特性に影響を与える要因として、ゾル、ゲルそれぞれの力学的特性、更には混合割合など考慮すべき点がある。不均質な試料は均質なものと比較し状態が複雑であるため、これまで力学的特性と主観的特性の関連性を検討した報告は少ない。本研究では、ゾルとゲルの混合系モデル試料を調製し、力学的特性（テクスチャー特性、破断特性、動的粘弾性および流動特性）と主観的特性（官能評価）、生理学的特性（咀嚼筋活動）の測定を行い、特性値間の関連性を検討した。また、実際に施設等で提供されている「きざみ食」について、同様の手法により測定を行い、食べやすい食形態について検討した。

第 1 章では、ゲルの大きさを 3 段階に変化させたゾルーゲル混合系試料を調製し、力学的測定、官能評価に加え、筋活動が無侵襲かつ定量的に評価するための手段として筋活動測定を行い、ゲルの大きさの相違が食べやすさに及ぼす影響について検討した。その結果、いずれの大きさの寒天ゲルでも、舌と口蓋で押し潰して飲み込むことが可能な硬さであったことから、ゲルの大きさは咀嚼回数および飲み込みやすさと相関が認められなかった。咀嚼機能が低下した人の食事を提供する際、固形物の大きさよりも、硬さおよびゾルと混合した全体のテクスチャー特性が重要であることを示した。

第 2 章では、ゾルとゲルの混合系モデル試料を調製し、ゲルの特性およびゾルの粘度の相違が、混合系モデル試料の食べやすさに及ぼす影響について検討を行った。ゾル試料は、トロミ調整食品を緑茶飲料に添加した試料、ゲル試料は寒天を用いて調製した微細ゲルとした。ゾルとゲルを重量比 1 : 1 で混合した混合系試料について、力学的特性および官能評価特性を測定した。その結

果、テクスチャー特性の硬さには、混合したゲルの特性が顕著に表れ、微細ゲルの硬さが高値である混合系試料は硬さも高値となった。官能評価では、中程度粘度のゾルを用いた混合系試料では、微細ゲルの特性が食べやすさに影響したが、濃い粘度のゾルを用いた混合系試料では試料間の差が認められなかった。すなわち、混合系試料の食べやすさに及ぼすゲルの特性の影響は、ゾルの粘度により異なることを示した。

第2章において、ゾル試料の粘度が異なる混合系試料は、テクスチャー特性および官能評価特性が異なったことから、第3章では、ゾル試料の力学的特性の相違が、ゾル-ゲル混合系試料に及ぼす影響について、やまいもをすりおろしたトロロゾルのように食片をまとめる効果の高いゾル試料の特性について検討した。その結果、キサントガムおよびトロロゾルは、降伏応力が高く、流動性指数が低値で、weak gel の特性を示した。官能評価においてまとまりやすく飲み込みやすい傾向を示したことから、ゾル試料の力学的特性と混合系試料の「まとまりやすさ」に関連がみられた。

第4章では、混合系試料の食べやすさにはゾルの特性が重要であることが示されたことを受け、市販トロミ調整食品添加試料の摂食過程に伴う力学的特性値の変化を、唾液や温度の影響を受けると仮定し、測定した。その結果、摂食時間が長くなる程食塊の温度は高く、粘度および硬さは低下する傾向を示した。特に、澱粉が主な原材料である試料については、唾液の影響を受けて粘度が著しく低下するため、摂食前の力学的特性値と官能評価結果が一致しない可能性を示した。

第5章では、病院や高齢者施設等で提供されている「きざみ食」の食べやすさを改善するため、大根ととろみあんの混合系試料について検討を行った。大根一粒の硬さおよび大根ととろみあんの混合割合の異なる試料について、高齢者と若年者を対象に官能評価を行い比較した。その結果、高齢者と若年者では食べやすいと評価する試料が異なり、とろみあんをかけることできざみ食のばらつきは改善されるが、とろみあんの量が多すぎるとべたつき感が増し、高齢者にとって食べにくいことが示された。また、高齢者にとって大根が硬い試料ほど食べにくいと評価された。以上の

ことから試料全体のテクスチャーだけでなく、液体、固体、それぞれの特性を把握することが重要であることを明らかとした。

以上の結果より、ゲルの力学的特性が混合系試料の食べやすさに与える影響は、ゾル試料の力学的特性（粘度）により異なり、粘度の高いゾル試料と混合すると試料全体の凝集性および付着性が高値となり、ゲル特性の影響が生じにくいことが示された。一方、高齢者を対象に官能評価を行った結果、市販トロミ調整食品を添加して調製したゾル試料のべたつき感が好まれない結果となった。さらに、高齢者はかたいと感じる試料ほどまとまりにくく、残留感を感じることから、試料の硬さが食べやすさを判断する重要な要素（ポイント）であることが示された。健常な若年者にとっては問題が無いと感じる硬さおよび粘度であっても、高齢者にとっては食べにくい食形態である可能性が示され、喫食者の嗜好や状態にあわせた食形態を提供することの重要性を明らかとした。

また、混合系試料の力学的特性（テクスチャー特性）は、口の中で感じるかたさやべたつき感などの主観的特性と必ずしも相関性は認められなかった。要因として、食物を口中に取り込み咀嚼し飲み込む過程において、固形物（ゲル）が粉碎され、唾液と混合されることにより、力学的特性も変化することを明らかとした。本研究ではゾルーゲル混合系試料のような不均質な食形態の力学的特性の測定法を十分に解明することはできなかったため、今後検討していきたいと考える。

本研究により得られた結果が高齢者施設や病院だけでなく、在宅などにおける介護に活かされ、また摂食、嚥下機能が低下した人のための食品開発の発展に役立てられることが期待される。

## 文 献

- 1) 増田邦子：介護老人福祉施設での嚥下調整食の取り組み，臨床栄養，**119**（4），386-390（2011）
- 2) 品川喜代美，井出静香：給食会社での取り組み，臨床栄養，**119**（4），391-395（2011）
- 3) 小城明子，藤綾子，柳沢幸江，植松宏：要介護高齢者施設における食物形態の実態—食物形態の種類とその適用について—，栄養学雑誌 **62**(6)，329-338(2004)
- 4) 柳沢幸江，永井晴美：そしゃく性・し好性を考慮した高齢者用テクスチャー再調整食のための基礎的研究 特別養護老人ホームでのテクスチャー再調整食の実態とその物性特性，食に関する助成研究調査報告書，**9**，1-9(1995)
- 5) 平塚陽子，川野亜紀，高橋智子，大越ひろ：ゲル—ゾル混合モデル系試料の力学的特性と飲み込み特性，日本家政学会誌，**55**，381-388(2004)
- 6) 吉村美紀，桑野稔子，田中満智子，西成勝好：きざみ食に付与した増粘剤のレオロジー的性質と嗜好特性について，日本咀嚼学会誌，**13**(1)，22-28(2003)
- 7) 吉村美紀，桑野稔子，盛崎利恵，西成勝好：キサンタンガムを添加したきざみ食の嗜好特性について，日本咀嚼学会誌，**14**(2)，50-61(2004)
- 8) 吉村美紀，桑野稔子，船見孝博，西成勝好：高齢者用食品としてのキサンタンガム・ジェランガム混合トロミ剤の性状ときざみ食の咀嚼性，日本咀嚼学会誌，**18**(1)、49-59(2008)
- 9) 今井悦子，飯塚智子，小林久子：物性の異なる食品から調製された刻み食の特性に及ぼすとろみ添加の影響，日本食生活学会誌，**23**（4），195-206（2013）
- 10) 川野亜紀，細田千晴，高橋智子，大越ひろ：とろろを用いたゲル—ゾル混合系食物の物性と飲み込み特性，日本家政学会誌，**57**，13-20(2006)
- 11) 高橋智子，二藤隆春，小野江茉莉，田山二郎，大越ひろ：とろろを用いたゲル—ゾル混合系食物の物性，食べやすさ，および咽頭相における嚥下動態，日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌，

- 14(3), 201-211(2010)
- 12) Jianshe Chen, Laetitia Lolivret: The determining role of bolus rheology in triggering a swallowing, *Food Hydrocolloids*, **25**, 325-332(2011)
- 13) 川野亜紀, 高橋智子, 大越ひろ: 若年者と高齢者の唾液および寒天ゼリー食塊の性状, 日本家政学会誌, **54**, 357-364(2003)
- 14) 川野亜紀, 高橋智子, 大越ひろ: 寒天ゼリーを用いたモデル食塊のテクスチャー特性と官能評価, 日本家政学会誌, **56**(10), 711-717(2005)
- 15) 塩澤光一, 城所寛子, 佐藤洋子, 神山かおる, 柳沢慧二: 米飯咀嚼時の食塊物性と嚥下閾値との関係, 日本咀嚼学会誌, **13**(2), 58-65(2003)
- 16) 佐川敦子, 志賀清悟, 森高初恵: 固体分散ペーストの咀嚼・嚥下に及ぼす摂食量の影響, 日本食品科学工学会誌, **57**(12), 503-516(2010)
- 17) 島田久寛, 谷口裕重, 井上誠: 随意嚥下閾値に関わる食塊の物性, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌 **14**(2), 106-115(2010)
- 18) 林豊彦, 金子裕史, 中村康雄, 石田智子, 高橋肇, 山田好秋, 道見登, 野村修一: お粥の性状と嚥下動態の関係—喉頭運動・筋電図・嚥下音の同時計測による評価—, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, **6**(2), 73-81(2002)
- 19) 宅見央子, 中村弘康, 福田真一, 白石浩荘, 米谷俊, 水木雄亮, 住野広明, 森戸光彦, 塩澤光一: ロどけ感のあるビスケットの咀嚼中の物性特性, 日本咀嚼学会誌, **18**(2), 112-121(2008)
- 20) 日本介護食品協議会ホームページ, <http://www.udf.jp/about/table.html>
- 21) 消費者庁出資資料: 特別用途食品制度について, [www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kaigi/meeting/.../item1-2.pdf](http://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kaigi/meeting/.../item1-2.pdf), (2015/2/2)
- 22) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会: 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, **17**(3), 255-267(2013)
- 23) 宇山理紗, 藤谷順子, 大越ひろ, 栢下淳, 前田広士, 小城明子, 高橋浩二, 藤島一郎: とろみ液の官能評価による分類—粘度およ

- び LineSpreDTest 値の範囲設定一，日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌，**18**(1)，13-21(2014)
- 24) 農林水産省食料産業局食品製造卸売課：新しい介護食品（スマイルケア食）の取組について，  
[http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/kaigo/pdf/4tuki\\_hp.pdf](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/seizo/kaigo/pdf/4tuki_hp.pdf)，(2015/4)
- 25) 赤羽ひろ，手嶋登志子，塩浦政男，西川浩昭，金谷節子：嚥下障害をもつ高齢者のための”飲み込み易い食べ物”の総合検討，財団法人エム・オー・エー健康科学センター研究報告書，**1**，177-191(1993)
- 26) 赤羽ひろ：第 37 回日本栄養改善学会講演集，P433（1990）
- 27) 高橋智子，大越ひろ：粘稠な液状食品の飲み込み特性と力学的特性の関係，日本家政学会誌，**50**（4），333-339（1999）
- 28) 船見孝博，飛田昌男，星正弘，他：とろみ調整食品の力学測定法に関する検討（Texture Profile Analysis の有用性について），日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌，**13**，10-19(2009)
- 29) 高橋智子，川野亜紀，大越ひろ，大塚義顕，向井美恵：極めて粘稠なムース状食品の力学的特性，飲み込み特性と舌運動の関係，日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌，**4**(1)，3-10(2000)
- 30) 大須賀彰子，岩崎裕子，高橋智子，大越ひろ：油脂の性状がマッシュポテトの飲み込みやすさに及ぼす影響，日本調理科学会誌，**46**（1），15-22(2013)
- 31) 綾部園子，村井七江，櫻井淳司：高齢者におけるペースト状試料の嗜好評価に及ぼす食品物性の影響，日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌，**9**(2)，172-179(2005)
- 32) 岩崎裕子，大越ひろ：きざみ食をモデルとしたゾルーゲル混合系試料の食べやすさに及ぼす、ゲルの大きさの影響，栄養学雑誌**67**（6），310-317（2009）
- 33) 岩崎裕子，大越ひろ：ゾルーゲル混合系試料の力学的特性および官能評価特性に及ぼすゲルの特性の影響，日本調理科学会誌，**47**（3），296-304（2014）
- 34) 大越ひろ，品川喜代美，高橋智子，他：とろみ調整剤ハンドブック，東京堂出版，2012，pp.169-171
- 35) 岩崎裕子，大越ひろ：固形物の硬さがきざみ食の食べやすさに

- 及ぼす影響—調理法の異なる大根を用いて—, 日本調理科学会誌 **46** (1), 15-22 (2013)
- 36) 大越ひろ, 渡邊昌, 白澤卓二 監修:『高齢者用食品の開発と展望』, 株式会社シーエムシー出版, 東京, pp.176-185 (2012)
- 37) 岩崎裕子, 芳賀良衣, 立石佳彰, 田中靖代, 大越ひろ: 大根を用いたきざみ食の食べやすさの検討—若年者と高齢者の比較—, 日本調理科学会誌 **47** (3), 134-142
- 38) 埋橋祐二, 塚越 寛:『球状ゲルの製造法』特許願(1), 昭和 60 年, 特許出願中
- 39) 厚生労働省: 特別用途食品の許可基準等, [www.mhlw.go.jp/shingi/2007/11/dl/s1121-13m.pdf](http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/11/dl/s1121-13m.pdf)
- 40) 盛田明子, 中沢文子: ゼラチン・寒天・カラギーナンの摂食時における口蓋圧と筋電位の同時測定, 日本家政学会誌, **53**(1), 7-14 (2002)
- 41) 中村彩子, 高橋智子, 大越ひろ: 異なるゲル化剤を用いた 3 種のお茶ゼリーの動的粘弾性特性, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, **11**(3), 169-178(2007)
- 42) 大須賀彰子, 岩崎裕子, 高橋智子, 大越ひろ: 状態が異なる油脂を添加したマッシュポテトの咀嚼過程における食塊の性状の変化について, 日本調理科学会誌 **46** (3), 205-212
- 43) 今井悦子, 飯塚智子, 小林久子: 物性の異なる食品から調製された刻み食の特性に及ぼすとりみ添加の影響, 日本食生活学会誌, **23** (4), 195-206 (2013)
- 44) 中川鶴太郎:『流れる固体』, 株式会社岩波書店, 東京, pp.150-157 (1975)
- 45) 山中南つみ, 小川宣子: メカブより抽出する粘性物質の理化学的特性, 日本調理科学会誌, **31**(1), 2-6(1998)
- 46) 村山祐子, 小林三智子, 赤羽ひろ, 中浜信子: 澱粉糊液の曳糸性, 日本食品工業学会誌, **33** (4), 274-280 (1986)
- 47) 社団法人日本レオロジー学会編集:『レオロジーデータハンドブック』, 丸善株式会社出版, 東京, pp.277-278 (2007)
- 48) 高橋智子, 川野亜紀, 大越ひろ: デンプン—グアーガム混合系増粘剤により調製した粘稠ゾル状食品の粘弾性挙動と官能評価, *Nihon Reoroji Gakkaishi*, **33** (2), 87-92 (2005)

- 49) 渡瀬峰男：ゲル状嚥下訓練食のテクスチャーの機器測定4，食品工業，(55) 12，84-89 (2012)
- 50) 船見孝博：ユニバーサルデザインフード介護食品における物性測定法，食品工業，52 (2)，41-52 (2009)
- 51) 船見孝博：高齢者用食品の開発-高齢者用食品と食品ハイドロコロイド-，食品工業，53 (24)，65-79 (2010)
- 52) 新井英子：「老化抑制と食品」(独立行政法人食品総合研究所編)，アイピーシー，pp. 343-345 (2002)
- 53) 塩沢光一，神山かおる，柳沢慧二：嚥下閾値に及ぼすトロミ剤の影響，日本咀嚼学会誌，17(1)，27-33(2007)
- 54) KOHYAMA Kaoru, NAKAYAMA Yuko, WATANABE Hirotaka and SASAKI Tomoko：Electromyography of Eating Apples: Influences of Cooking, Cutting and Peeling, *Journal of Food science*, 70(4)，S257-S261(2005)
- 55) 高橋智子，増田邦子，川野亜紀，大越ひろ：物性の異なる市販レトルト粥に対する口腔感覚および飲み込みやすさの検討ー若年者と高齢者の比較ー，栄養学雑誌，64 (3)，153-159(2006)

## **Relationship between physical properties and the ease of eating of sol-gel mixed foods**

Yuko Iwasaki

The ageing of the Japanese population has increased the incidence of masticatory/swallowing problems. The eating habits of people of advanced age with deteriorated eating functions differ from those of their more healthy counterparts. For people with masticatory/swallowing difficulties, solid foods of firmness or large size are considered to be difficult to eat, and swallowing could be highly hazardous for people suffering from dysphagia, which can be life threatening due to choking and suffocation.

Therefore, at hospitals and nursing homes, graded dietary patterns have been established, which start from a fluid-based diet of liquid, jelly-state, and paste items. This decreases the complexity of particle size reduction, and the diet will gradually advance to a rice porridge consisting of a mixture of water and rice parts, leading to minced foods, etc.

The eating process involves an extended period of chewing, and a bolus is thus formed with saliva. During chewing, food undergoes a continuous transformation to substantially decrease particle size, which significantly changes the physico-chemical and mechanical properties of the food. Swallowing involves the molding of food (particles) and saliva into a bolus, which is forced to the back of the oral cavity by pressing against the palate and triggering the swallowing reflex to achieve closure of the upper esophageal sphincter. Even though swallowing is a routine action that is well known to healthy individuals, its controlling mechanisms and the factors involved in triggering the swallowing reaction remain poorly understood. Thus, in order to improve the safety of eating in the elderly population, it is essential to understand the intraoral processes that transform food into a bolus, as well as to shed light on what specific

properties make the boluses easier to swallow.

Given that boluses and meals prepared for the elderly with eating problems (e.g., rice porridge and minced food) are a mixture of solid (gel) and fluid (sol), we prepared test sol-gel mixed samples and examined the relationship between their physical properties, sensory characteristics of the consumer, and masticatory electromyography (EMG). We further emphasize the importance of investigating the physical properties and swallowing characteristics of these sol-gel mixed samples for obtaining a better understanding of the swallowing mechanism. It is particularly important to develop food items for these disadvantaged consumers to eat and swallow safely, as it is expected that institutional care for the elderly will shift to home nursing care in the future.

This thesis consists of an Introduction, Results and Discussion (5 chapters), and Conclusion. Characteristics of the model sol-gel mixed samples are described in Chapters 1, 2, and 3. The physical properties and temperature change in the eating process of fluid samples containing a commercial thickening agent are presented in Chapter 4. Finally, Chapter 5 provides the results of the physical properties and swallowing characteristics in the elderly fed minced food with *daikon* (Japanese radish)-sol mixed samples.

The **Introduction** outlines the background and objectives of the present study.

**Chapter 1** investigates the effect of gel size on the ease of eating a sol-gel mixed sample as the model of minced food, from the perspectives of its physical properties, sensory characteristics, and masticatory EMG results. The mixed sol-gel samples were prepared with an agar gel and a thickening liquid. The gel samples were prepared at three different size levels. The textural measurements showed that the hardness of the samples increased and the cohesion decreased with increasing gel size.

The adhesiveness of the samples was larger as the gel size increased, except for the largest spherical gel. The results of the sensory evaluation showed that the cohesion in the mouth and ease of swallowing were dependent on the adhesiveness property, and that firmness in the mouth was not dependent on the hardness of the samples. The numbers of chews of the samples were not dependent on the gel size. The masticatory EMG measurements showed large inter-individual variation, although no significant differences were observed among the samples. When minced food was thickened with sol, it was not necessary to mince the food if it was tender; therefore, its size had a smaller effect on the ease of eating than its hardness.

**Chapter 2** describes the effects of the different physical properties of gels on the physical properties and sensory characteristics of the mixed sol-gel samples. The mixed sol-gel samples were prepared using cubed agar gels with a thickening liquid. Four agar gel samples with different molecular weights were prepared: *Urutora*, *Yamato*, *UP*, and *Gelatin kanten*. The thickening liquid was prepared using commercial thickeners with three levels of thickness (mildly, moderately, and very thick).

The textural measurements showed that the hardness, adhesiveness, and cohesion of the mixed sol-gel samples were dependent on these properties of the gel component. The adhesiveness and cohesion of the samples increased in proportion to the thickness of the sol. The results of the sensory evaluation of mixed sol-gel samples were affected by the characteristics of the gels for samples mixed with the moderately thick sol, but not for those mixed with the very thick sol. Therefore, this study demonstrated that the physical and sensory properties of gels affected those of the mixed sol-gel samples, but this relationship also depends on the viscosity of the sol.

**In Chapter 3**, we focus on the sol samples to investigate the efficacy of cohesiveness with minute gels of thickener solutions. The relationship between the physical properties of thickener solutions and the physical properties and sensory characteristics of the mixed sol-gel samples was examined. Different thickener solutions having similar viscosities at a shear rate of  $50 \text{ s}^{-1}$  were prepared with starch, sodium alginate, two kinds of thickening agents (guar gum or xanthan as the major ingredient), and grated yam. The results of dynamic viscoelasticity measurements showed that the storage modulus ( $G'$ ) values of solutions containing xanthan and grated yam were higher than those of the other solutions. The  $G'$  and yield stress of these solutions were higher, making the sol-gel mixed samples more cohesive in the mouth.

**In Chapter 4**, based on the results of Chapter 3, we focus on the physical properties and temperature change in the eating process of fluid samples containing commercial thickening agents (with starch, xanthan, or guar as the major ingredient), and examined their association with the ease of eating. The hardness and viscosity of the bolus were significantly lower for the sample with added starch thickening agent than for those of samples with added xanthan and guar gum. In contrast, the bolus for the sample with added xanthan did not mix easily with saliva, so that the physical property of the bolus sample was unchanged by saliva and temperature.

**Chapter 5**, which consists of two sections, investigated the ease of eating minced food with *daikon* and a thickening liquid containing commercial thickening agents.

In Section 1, we discuss how the difference in the *daikon* hardness affects the ease of eating from the perspective of physical properties, sensory characteristics, and masticatory

EMG. The *daikon* samples were prepared at three different hardness levels: by heating it under pressure (MP), by steaming it (MS), and by leaving it uncooked (MR). In addition, a sample consisting of steamed *daikon* alone (*daikon* S) was prepared as a standard. In the sensory evaluation, MR was considered to have the highest hardness level. Therefore, for the subjects eating the samples, the hardness of the solid matter appears to be more crucial than the overall hardness of the sample. *Daikon* S was eaten with lower muscle activity, and was evaluated to be easier to swallow compared with MR. These findings suggest that, for the purpose of improving the ease of eating minced food, softening the food to some extent is more effective than mixing the minced food with sol.

In Section 2, we present the results of a comparison between young and elderly subjects eating minced *daikon*-sol mixed samples. A sensory evaluation was conducted to compare: i) differences in the rupture stress of *daikon*, and ii) different ratios of *daikon* and sol.

i) The results of the sensory evaluation showed that firmness in the mouth was dependent on the rupture stress of the *daikon*. With increased firmness, elderly subjects reported lower cohesion in the mouth, as well as many remains in the mouth. This suggests that for the elderly the ease of eating minced food can be improved by softening the solids.

ii) The results of the sensory evaluation showed that the sample containing the highest proportion of *daikon* was the least cohesive in the mouth, and was the most difficult to swallow for both the elderly and young subjects. However, the elderly subjects evaluated the sample containing the highest proportion of sol to be the most sticky and difficult to swallow. The food texture suitable for young people was not necessarily good for elderly people from the aspect of ease in eating.

In the **Conclusion**, we focus on the effects of each physical property of the sol or gel on those of the mixed sol-gel samples, and examine their association with the ease of eating. The results with the mixed sol-gel model samples showed that the properties of the gel had little influence on the properties of the sol-gel samples that were mixed with a very thick sol, whereas the physical properties and size of the gel had a substantial influence on the properties of sol-gel samples that were mixed with mildly and moderately thick sols. These results indicate that the properties of sol are important for the ease of eating mixed samples. Moreover, the same outcome was obtained in the sensory evaluation using minced foods: older subjects were more susceptible to sol sticking and the firmness of *daikon* than younger subjects, which decreased the ease of eating. The results of this study may contribute to developing a better understanding of eating problems in the elderly and help to improve their safety and enjoyment during meals, and thus quality of life. This information may also be used to develop food items for the safe eating and swallowing of these disadvantaged consumers.

## 謝 辞

本研究をまとめるにあたり、終始ご懇切なご指導を賜りました日本女子大学教授大越ひろ博士に心より深く感謝申し上げます。また、本論文をご校閲いただき、御教示賜りました日本女子大学教授新藤一敏博士、准教授藤井恵子博士、昭和女子大学大学院生活機構研究科教授森高初恵博士に篤く御礼申し上げます。

研究をすすめるにあたり、御指導を賜りました神奈川工科大学教授高橋智子博士に深く感謝申し上げます。本研究をまとめるにあたり御協力いただきました日本女子大学調理科学研究室柘植光代博士に感謝申し上げます。

さらに本研究の実験に御協力いただきました日本女子大学調理科学研究室の方々に御礼申し上げます。