

令和 3 年度 博士論文

分子調理を用いた介護食に関する研究

宮城大学大学院食産業学研究科

(No. 21756001)

濟渡 久美

## 〈目 次〉

序章	1
第一章 分子調理と介護食	5
第一節 摂食・嚥下障害者の現状	5
第二節 摂食・嚥下障害者の食の現状	6
第一項 特別用途食品制度と嚥下ピラミッド	6
第二項 ユニバーサルデザインフード	8
第三項 スマイルケア食	9
第四項 嚥下調整食学会分類	9
第五項 IDDSI：国際嚥下困難者用食品標準化構想	13
第三節 摂食・嚥下障害者の食の課題と介護食	14
第四節 分子調理	15
第一項 真空調理法	16
第二項 エスプーマ	17
第三項 ハイドロコロイド	18
第五節 分子調理と介護食	21

第二章 真空低温調理による動物性食品の調製 -----	23
第一節 緒言 -----	23
第二節 方法 -----	24
第一項 材料および試料調製 -----	24
1 食材料および調理に用いた調味料 -----	24
2 試料の作製 -----	24
第二項 物理的特性の測定 -----	24
1 物性 -----	24
2 水分 -----	25
3 タンパク質の電気泳動 -----	25
第三項 官能評価 -----	26
第四項 統計解析 -----	26
第三節 結果 -----	27
第一項 外観 -----	27
第二項 物性 -----	28
第三項 水分含有量 -----	30
第四項 タンパク質の電気泳動 -----	31
第五項 官能評価 -----	32

第四節 考察	33
第一項 物理化学に及ぼす影響	33
1 調理温度と調理時間	33
2 水分含有量	36
3 タンパク質の分解	36
第二項 官能評価に及ぼす影響	37
第五節 小括	39
<b>第三章 真空低温調理による植物性食品の調製</b>	<b>40</b>
第一節 緒言	40
第二節 方法	41
第一項 材料および試料調製	41
1 食材料および調理に用いた調味料	41
2 試料の作製	41
第二項 物理化学的特性の測定	42
1 物性	42
2 色調	42
3 糖度	43
4 pH	43

第三項	官能評価	43
第四項	統計解析	44
第三節	結果	44
第一項	物性（かたさ）	44
第二項	色調	45
第三項	糖度	47
第四項	pH	48
第五項	官能評価	48
第四節	考察	50
第一項	物理化学に及ぼす影響	50
第二項	官能評価に及ぼす影響	53
第五節	小括	55
第四章	増粘剤添加によるエスプーマ調製	57
第一節	緒言	57
第二節	方法	58
第一項	材料および試料調製	58

1	材料	58
2	豆乳および牛乳を用いた泡沫試料の調製	59
第二項 物理的特性の測定		60
1	密度（起泡性）	60
2	分離液量割合（安定性）	60
3	pH	61
4	粘度	61
5	テクスチャー特性	62
第三項 官能評価		62
1	試料	62
2	方法	63
第四項 統計解析		64
第三節 結果および考察		64
第一項 豆乳エスプーマおよび牛乳エスプーマの特性		64
1	密度（起泡性）	64
2	pH	66
3	分離液量割合（安定性）	66
第二項 増粘剤添加が豆乳および牛乳エスプーマの物理的特性 に及ぼす影響		68

1	粘度-----	68
2	密度（起泡性）-----	70
3	テクスチャー特性-----	70
4	分離液量（安定性）-----	72
	第三項 若年層および高年層における豆乳エスプーマの 官能評価-----	77
	第四節 小括-----	83
	<b>第五章 エスプーマによる介護食の炭酸化-----</b>	<b>84</b>
	第一節 緒言-----	84
	第二節 方法-----	85
	第一項 材料および試料調製-----	85
1	材料-----	85
2	試料の調製-----	85
	第二項 pH-----	86
	第三項 食味-----	86
	第四項 官能評価-----	87
1	試料-----	87
2	方法-----	87

第三節 結果および考察	88
第一項 pH および食味	88
1 粥	88
2 ゼリー	91
第二項 官能評価	93
第四節 小括	94
第六章 介護食への応用	95
第一節 真空低温調理	95
第二節 エスプーマ	96
第三節 分子調理を用いた介護食の普及	97
第七章 総括	99
謝辞	104
文献	105
資料	123



## 序章

物理や化学の原理やそれらを応用した科学技術的なアプローチで新たな料理を開発する試みが欧米諸国で広まりつつあり「分子調理」と呼ばれている<sup>1)</sup>。分子調理とは「料理と科学」の関係性を表し、「分子調理学」と「分子調理法」で構成される。「分子調理学」は、食材の性質の解明、調理中に起こる変化の解明、おいしい料理の要因の解明などを分子レベルで行う「科学」である。「分子調理法」は、分子レベルで解明された原理に基づいて、おいしい食材の開発、新たな調理方法の開発、おいしい料理の開発を分子レベルの原理に基づいて行う「技術」である<sup>2)3)</sup>。分子調理学と分子調理法は、互いに影響し合うことで、おいしさの追求が活性化する。科学者と料理人のコラボレーションにより美食の研究が進歩し、おいしい食事に新鮮な方法が開かれている<sup>4)</sup>。

我が国は、高齢化の急速な進行を背景に、食物の安全な送りこみができない摂食・嚥下困難者が増加しており<sup>5)</sup>、高齢者は誤嚥による肺炎や窒息で生命が脅かされる可能性が高いと考えられている<sup>6)-8)</sup>。そこで、摂食・嚥下困難者に適した食物に必要な基本要素として、誤嚥に対して安全な食品物性が重要視され、摂食能力に対応した食事形態が嚥下調整食として示されている<sup>9)-11)</sup>。安全に摂取できる利点があるいっぽう、課題として、見た目がよくない、バリエーションに乏しい、飽きてしまう等があげられている<sup>12)</sup>。そのため、安全性を重要視する嚥下調整食の要素に、食べる楽しみやおいしさの視点を加えた食事が求められており、これが介護食である。すなわち、嚥下調整食は、介護食に包括される<sup>13)-15)</sup>。

嚥下調整食では、食品物性としてかたさ、付着性、凝集性、粘性について段階的な基準値が把握できるように示されている<sup>11)</sup>。そして、食事調製

にあたっては、微視的な食品物性コントロールが必要となる。限られた食品物性範囲内で、嚥下調整食に多様性をもたらす介護食を実現する一手法として、科学と技術でおいしい食事の追求に取り組む分子調理が有用であると考えた。調理とは、食材を食物（料理）に仕上げる過程であり、食物に求められる条件を満たすことが必要となる。このうち、安全、栄養については、食品学、栄養学、食品衛生学においても考えることであるが、嗜好的要素は調理学の特徴であると思われる。食品には調理特性があり、調理特性を理解し調製することが重要となる。求められる介護食の調製に取り組むにあたって、既存の調理法の中に、その原理およびメカニズムを確認し、それをどのようにコントロールしていくかが必要となる。食事は、ハレ（日常食）とケ（特別食）に分類され、介護食は「ケ」、分子調理はレストラン等での「ハレ」の傾向が強いと思われる。しかし、どちらも「おいしさ」を求めて取り組んでいることは共通である。介護食に安全性を基盤とした「おいしさ」が求められている。その調製には分子調理との融合、すなわち、分子調理を取り入れた取り組みが必要と思われた。

そこで、本研究は既存の分子調理法を用いて介護食の課題を解決し、新しい介護食の提案を目的とした。すなわち「見た目がよくない」については、真空調理法を用いて形状を保持した状態での軟化、「バリエーションに乏しい」についてはエスプーマ法を用いた新しい食形態の提案を目的とした。

第1章では、分子調理と介護食を融合して研究を進める意義を述べる。我が国の摂食・嚥下障害者の現状と課題、次に適した食事について、種々ある呼称を整理して介護食とした理由と課題を述べる。分子調理の概要と介護食への導入を述べる。

第2章では、真空調理法を用いて、動物性食品として食肉の牛すね肉、

豚すね肉について、低温長時間加熱が物理化学特性および官能特性に及ぼす影響について述べる。「見た目が良くない」への対策として、形状を保持した状態での軟化の最適な調理条件を検討することを目的とした。動物性食品の加熱による変化は、構成するタンパク質の特性の影響を受けることを活用して軟化の研究報告があげられているが2日以上 of 長時間調理の報告はほとんどない。そこで既存の TT 条件を拡大して、調理温度 55°C, 60°C, 65°C, 70°C, 75°C, 調理時間 1 日, 3 日, 5 日, 7 日間の TT 条件を設定し、加熱による変化を検討した。

第3章では、真空調理法を用いて、植物性食品として果物のリンゴについて、低温長時間加熱が物理化学特性および官能特性に及ぼす影響について述べる。「見た目が良くない」への対策として、形状を保持した状態での軟化の最適な調理条件を検討することを目的とした。植物性食品の加熱による変化は、細胞壁成分の特性の影響を受けることを活用して軟化の研究報告があげられているが75°C以上の高温、2時間以上の長時間調理の報告はほとんどない。そこで既存の TT 条件を拡大して、調理温度 60, 70, 80, 90°C, 調理時間 1, 12, 24, 48 時間調理の TT 条件を設定し、加熱による変化を検討した。

第4章では、豆乳および牛乳に CO<sub>2</sub> と N<sub>2</sub>O の2種類のガスを封入して作製したエスプーマへ、増粘剤添加による影響について述べる。「バリエーションに乏しい」への対策として、泡という軽くなめらかな食感を提案することを目的とした。多くのエスプーマは気泡の消滅が短時間で進行するため、提供にあたっては、泡沫の安定が大きな課題となる。エスプーマの介護食への応用の研究報告はあるが、増粘剤添加による報告は見当たらない。そこで、各種増粘剤（ゼラチン、キサントガム、 $\iota$ -カラギーナン）を添加し、安定性を中心に添加による影響を検討した。

第5章では、エスプーマを用いて介護食へのCO<sub>2</sub>封入による炭酸付与の影響について述べる。エスプーマは均質にした食品にガスを封入し、泡状に調製するという用いられ方をする。固体にガスを封入するという手法の研究報告は見当たらない。いっぽう、炭酸飲料（液体）が摂食・嚥下障害者の嚥下改善効果に寄与する研究報告は散見されるが、炭酸化した食事による報告は見当たらない。そこで、炭酸化した介護食による嚥下改善効果を検討するための基礎データの収集を目的に、粥、介護食ゼリーに炭酸を付与して炭酸刺激の影響を検討した。また、併せて嚥下造影検査に用いる検査食を想定して造影剤を添加した影響を検討した。

第6章では、第2章から第5章までの研究結果から得た知見に基づいて、今後の介護食へどのように応用することが考えられるか、展望と課題を述べる。

第7章では本研究を総括してまとめる。

## 第一章 分子調理と介護食

### 第一節 摂食・嚥下障害者の現状

超高齢社会に突入したわが国の2020年の高齢化率は28.8%で、そのうち後期高齢者は14.9%を占めている。2065年には後期高齢者が25.5%に到達することが予想され、先進国と比較すると、高水準で進行している<sup>16)</sup>。高齢化により疾病構造は変化し、摂食・嚥下障害者が増加している。摂食・嚥下障害者は、医療機関に限らず、施設、在宅全ての場に存在して、今後も増加すると予測されている<sup>5)</sup>。世界人口も急速に高齢化している。2015年の世界の高齢化率は8.5%で、2050年までに16.7%に増加すると予想されており<sup>17)</sup>、摂食・嚥下障害者は世界人口の約8%と推測されている<sup>18)19)</sup>。

嚥下障害とは、口から胃へ食べ物の安全な送り込みができない状態をいい<sup>20)</sup>、疾病の他に老化による影響も大きい<sup>21)</sup>。特に70歳以上になると嚥下機能に加えて、呼吸機能、免疫機能も低下し、誤嚥による肺炎や窒息で生命が脅かされると考えられている<sup>6)~8)</sup>。

肺炎で入院した患者のほとんどが高齢者で、誤嚥性肺炎の比率は年齢とともに増加し、70歳以上では80%と高率である<sup>22)</sup>。2019年の死因順位では、肺炎が5位、誤嚥性肺炎が6位となっている<sup>23)</sup>。死亡順位7位の不慮の事故については、高齢者の割合が高く、誤嚥等の不慮の窒息は交通事故より多い<sup>24)</sup>。さらに、摂食・嚥下障害者は食物摂取量の減少によって低栄養状態のリスクが高くなり、身体状況の悪化を招きやすい<sup>25)~28)</sup>。

### 第二節 摂食・嚥下障害者の食の現状

摂食・嚥下障害者の食事において、最優先させなければならないのは安全

であり、特に誤嚥に対して安全な食品物性は重要な基本要素として重要であるとの認識が高まった<sup>29)30)</sup>。これまで、各分野で摂食・嚥下障害者に適した食の提供に向けて「食品物性」と「嚥下障害者に適する物性」との関係を検討して、以下のとおり、種々の取り組みが行われてきた。

### 第一項 特別用途食品制度と嚥下ピラミッド

1994年、厚生省（現：厚生労働省）は、特別用途食品高齢者用食品「食品群別許可基準（高齢者用食品）」を制定した<sup>31)</sup>（Table 1-1）。許可の対象となる食品は、そしゃく困難者用食品とそしゃく・えん下困難者用食品の2つの食品群で構成され、食事の条件である栄養面（栄養表示の義務化）のみならず、物性面（かたさと粘度）の規格基準が示された。

2004年、この基準に基づいて、聖隷三方原病院では院内で5段階の嚥下レベルに対応させた基準化を行い、嚥下ピラミッドとして提唱した<sup>32)</sup>。各段階食の物性解析が行われ、かたさ、凝集性、付着性について物性値がまとめられた<sup>33)</sup>（Table 1-2）。

2009年、嚥下ピラミッドを参考に、特別用途食品制度の改定により「えん下困難者用食品の許可基準」が施行され、従来のかたさのみの基準項目に、付着性、凝集性が加えられ（Table 1-3）<sup>34)</sup>、許可基準各段階における嚥下障害の程度・摂取できる物性の範囲が示された<sup>35)</sup>。

Table 1-1 特別用途食品高齢者用食品「食品群別許可基準（高齢者用食品）厚生省，1994年」<sup>31)</sup>

食品群		規格			
種別	形状	堅さ (N/m <sup>2</sup> ) (一定速度で圧縮した時の抵抗)	固形物の比率 (重量%)	ゾルの粘度 (mPa·s)	備考 (堅さ、食べやすさの目安)
そしゃく困難者用食品	ゾル	5 × 10 <sup>2</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			
	ゾル中に固形物	固形物を含む全体を想定して 5 × 10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			かまなくてもよい
	ゲル	5 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下	—	—	舌でつぶせる
	ゲル中に固形物	固形物を含む全体を想定して 5 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			歯ぐきでつぶせる
	固形物	5 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			
そしゃく・えん下困難者用食品	ゾル	5 × 10 <sup>2</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			
	ゾル中に固形物	固形物を含む全体を想定して 5 × 10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup> 以下	50%以下	1.5 × 10 <sup>3</sup> mPa·s以上	かまなくてもよい
	ゲル	5 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下			舌でつぶせる
	ゲル中に固形物	固形物を含む全体を想定して 5 × 10 <sup>4</sup> N/m <sup>2</sup> 以下	50%以下	—	歯ぐきでつぶせる

\* 固形物の大きさの上限の目安は、立方体に近いもの、球形に近いもの、不定形な塊状のもの等にあつては1cm<sup>3</sup>とする。  
ただし、極端に扁平なもの、細長いもの等にあつては、長さの上限を概ね2cmとする。

Table 1-2 嚥下食ピラミッド<sup>32)33)</sup>

	開始食	嚥下食Ⅰ	嚥下食Ⅱ	嚥下食Ⅲ	移行食
障害の程度	重度嚥下障害	中等度嚥下障害	中等度嚥下障害	軽度嚥下障害	咀嚼障害
かたさ (N/m <sup>2</sup> )	2,000~7,000	1,000~10,000	12,000以下	15,000以下	40,000以下
凝集性	0.2~0.5	0.2~0.7	0.2~0.7	0.2~0.9	0~1.0
付着性 (J/m <sup>3</sup> )	200以下	200以下 (凝集性0.4前後の 場合500まで可)	300以下 (凝集性0.4前後の 場合800まで可)	1,000以下	1,000以下

Table 1-3 えん下困難者用食品許可基準 厚生労働省，2009年<sup>34)35)</sup>

	許可基準Ⅰ	許可基準Ⅱ	許可基準Ⅲ
かたさ (N/m <sup>2</sup> )	2.5 × 10 <sup>3</sup> ~ 1 × 10 <sup>4</sup>	1 × 10 <sup>3</sup> ~ 1.5 × 10 <sup>4</sup>	3 × 10 <sup>2</sup> ~ 2 × 10 <sup>4</sup>
付着性 (J/m <sup>3</sup> )	4 × 10 <sup>2</sup> 以下	1 × 10 <sup>3</sup> 以下	1.5 × 10 <sup>3</sup> 以下
凝集性	0.2~0.6	0.2~0.9	—

許可基準	嚥下障害の程度・摂取できる物性の範囲
I	明らかに嚥下障害があるとわかっている人に対して、慎重に評価・訓練するレベル。 咀嚼せずに丸のみすることも可能で、残留の危険も少ない。
II	Iよりも広い範囲のゼリーやムース、軟らかめのパパロアなど、ゼリーよりは少し範囲が広い物性 均一でスムーズ、バラけたり、離水したり、張り付いたりはない。
III	不均質なものを食べ始めた嚥下障害者向き。 例えば、軟らかくて離水しないおかゆ、やや不均質なペースト、硬くないもののゼリー寄せ、あんかけなどを食べる ようなレベル

第二項 ユニバーサルデザインフード（UDF）

2002年、手軽に使用できる市販の介護用食品の需要に呼応して、介護食品を製造・販売している46社により日本介護食品協議会が設立された。介護用食品を「UDF（ユニバーサルデザインフード）」と命名し、かたさの視点から摂食機能に応じた4段階の食事の形態区分表を自主規格により作成した<sup>36)</sup> (Table 1-4, Fig.1-1)。

UDFとは、「利用者の能力に対応して摂食しやすいように、形状、物性および容器等を工夫して製造された加工食品および形状、物性を調整するための加工食品」と定義づけられている<sup>37)</sup>。

Table 1-4 UDF 区分表

区分	 容易にかめる	 歯ぐきでつぶせる	 舌でつぶせる	 かまなくてよい
かむ力の目安	かたいものや大きいものはやや食べづらい	かたいものや大きいものは食べづらい	細かくてやわらかければ食べられる	固形物は小さくても食べづらい
飲み込む力の目安	普通に飲み込める	ものによっては飲み込みづらいことがある	水やお茶が飲み込みづらいことがある	水やお茶が飲み込みづらい
かたさの目安	ごはん	ごはん~やわらかごはん	やわらかごはん~全がゆ	全がゆ
	さかな	焼き魚	煮魚	魚のほくし煮(とろみあんかけ)
	たまご	厚焼き卵	だし巻き卵	スクランブルエッグ
※食品のメニュー例で商品名ではありません。	調理例(ごはん)			
物性規格	かたさ上限値 N/m <sup>2</sup>	5x10 <sup>5</sup>	5x10 <sup>4</sup>	ソル: 1x10 <sup>4</sup> ゲル: 2x10 <sup>4</sup>
	粘度下限値 mPa·s			ソル: 1500 ソル: 1500

※「ソル」とは、液体、もしくは固形物が液体中に分離しており、流動性を有する状態をいう。「ゲル」とは、ソルが流動性を失いゼリー状に固まった状態をいう。

<https://www.udf.jp/outline/udf.htm> より引用





とろみの強さ	+++++	++++	++++	+++++
とろみのイメージ	フレンチドレッシング状	とんかつソース状	ケチャップ状	マヨネーズ状
イメージ図				
使用量の目安	← 1g →		← 2g →	← 3g →

Fig. 1-1 とろみ目安の表示 (水・お茶 100mL あたり)

<https://www.udf.jp/outline/udf.htm> より引用



### 第三項 スマイルケア食

2015年、農林水産省では、介護食品市場の拡大を通じて、食品産業、ひいては農林水産業の活性化を図るとともに、国民の健康寿命の延伸に資するべく、介護食品とよばれてきた食品の範囲を整理し、「スマイルケア食」として新しい枠組みを整備した。

「スマイルケア食」とは、健康維持上栄養補給が必要な人向けの食品に「青」マーク、噛むことが難しい人向けの食品に「黄」マーク、飲み込むことが難しい人向けの食品に「赤」マークを表示し、それぞれの方の状態に応じた「新しい介護食品」の選択に寄与するものとされている<sup>38)</sup> (Fig.1-2)。

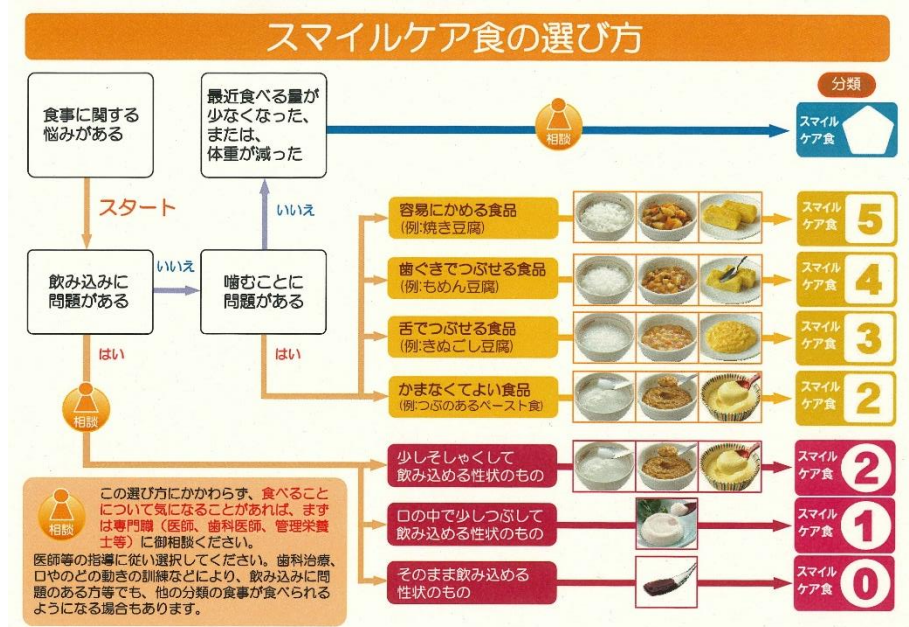


Fig.1-2 スマイルケア食<sup>38)</sup>

### 第四項 嚥下調整食学会分類

2013年、日本摂食・嚥下リハビリテーション学会が、国内の病院・施設・在宅医療および福祉関係者が共通して利用できることを目的として食事およびとろみについて、摂食機能に対応させた段階分類を嚥下調整食学会分類として示した<sup>9)-11)</sup>(Table 1-5)。それまで、食形態や物性を調整した段階的

な食事の基準は、食事を提供するさまざまな場で独自に作成され、利用されていた。しかし、統一基準がないために、地域や施設ごとに多くの名称や段階が混在していた。急性期病院から回復期病院、あるいは病院から施設・在宅およびその逆などの連携が普及している中、統一基準や統一名称がないことは、摂食・嚥下障害者および関係者の不利益となっていた。嚥下調整食学会分類は、その解決の一助として種々の基準を統一し共通言語化したものである。摂食機能に対応して、コード0からコード4まで段階的に構成・分類されてある。2018年には、診療報酬改定・介護報酬改定により、医療機関と介護施設等の関係機関間の栄養情報提供書に嚥下調整食学会分類区分の記載欄が設けられ、摂食・嚥下障害者が必要な対応を切れ目なく受けることができる体制が構築された<sup>39)40)</sup>。また、嚥下調整食学会分類では、対応する既存の段階的分類を明示しており、UDF、えん下困難者用食品許可基準、嚥下食ピラミッドは物性測定値で基準を示しており、物性測定値についての参考とすることができる<sup>9)-11)</sup>。

Table 1-5 学会分類 2021 (食事) 早見表 1)

学会分類 2021 (食事) 早見表

コード 【1-8項】	名称	形態	目的・特色	主食の例	必要な咀嚼能力 【1-10項】	他の分類との対応 【1-7項】
0	嚥下訓練食品 0j	均質で、付着性・凝集性・かたさに配慮したゼリー 離水が少なく、スライズ状にすくうことが可能なもの	重度の症例に対する評価・訓練用少量をすくってそのまま丸呑み可能残留した場合にも吸引が容易たんぱく質含有量が少ない		(若干の送り込み能力)	嚥下食ピラミッドL0 えん下困難者用食品許可基準I
	嚥下訓練食品 0t	均質で、付着性・凝集性・かたさに配慮したゼリー・水 (原則的には、中間のどちらかかたさは濃いところみのどちらかかたししている)	重度の症例に対する評価・訓練用少量ずつ飲むことを想定 ゼリー丸呑みで誤嚥したりゼリーが口中で溶けてしまう場合 たんぱく質含有量が少ない		(若干の送り込み能力)	嚥下食ピラミッドL3の一部 (とろみ水)
1	嚥下調整食 1j	均質で、付着性、凝集性、かたさ、離水に配慮したゼリー・プリン・ムース状のもの	口腔外に既に適切な食塊状となっている(少量をすくってそのまま丸呑み可能)送り込む際に多少意識して口蓋に舌を押しつける必要がある 口に比し表面のざらつきあり	おもゆゼリー、 ミキサー粥のゼリー など	(若干の食塊保持と送り込み能力)	嚥下食ピラミッドL1・L2 えん下困難者用食品許可基準II UDF区分 かまなくともよい(ゼリー状) (UDF:ユニバーサルデザートインフォームド)
	嚥下調整食 2-1	ビュレ・ペースト・ミキサー食など、均質でなめらかなからかたさ、まとまりやすいもの スプーンですくって食べることが可能なもの	口腔内の簡単な操作で食塊状となるものに配慮(咽頭では残留、誤嚥をしないように配慮したもの)	粒がなく、付着性の低いペースト状のおもゆや粥	(下顎と舌の運動による食塊形成能力および食塊保持能力)	嚥下食ピラミッドL3 えん下困難者用食品許可基準III UDF区分 かまなくともよい
2	嚥下調整食 2-2	ビュレ・ペースト・ミキサー食などで、べたつかず、まとまりやすいもので不均質なものを含むスプーンですくって食べることが可能なもの		やや不均質(粒がある)でもやわらかく、離水もなく付着性も低い粥類	(下顎と舌の運動による食塊形成能力および食塊保持能力)	嚥下食ピラミッドL3 えん下困難者用食品許可基準III UDF区分 かまなくともよい
	嚥下調整食 3	形はあるが、押しつぶしが容易、食塊形成や移送が容易、咽頭では受けず嚥下しやすいように配慮されたもの 多量の離水がない	舌と口蓋間で押しつぶしが可能なもの押しつぶしや送りの口腔操作を要し(ある場合はそれらの機能を賦活し)、かつ誤嚥のリスク軽減に配慮がなされているもの	粥水に配慮した粥 など	舌と口蓋間の押しつぶし能力以上	嚥下食ピラミッドL4 UDF区分 舌でつぶせる
4	嚥下調整食 4	かたさ・ばらけやすさ・貼りつきやすさなどのないもの 箸やスプーンで切れるやわらかさ	誤嚥と窒息のリスクを配慮して素材と調理方法を選んだもの 歯がなくても対応可能だが、上下の歯槽間で押しつぶすはすりつぶすことが必要で舌と口蓋間で押しつぶすことは困難	軟飯・全粥 など	上下の歯槽間の押しつぶし能力以上	嚥下食ピラミッドL4 UDF区分 舌でつぶせる および UDF区分 歯ぐきでつぶせる および UDF区分 容易にかめるの一部

学会分類 2021 は、概説・総論、学会分類 2021 (食事)、学会分類 2021 (とろみ)、学会分類 2021 (とろみ) を参照された。  
 本表は学会分類 2021 (食事) の早見表である。本表を使用するにあたっては必ず「嚥下調整食学会分類 2021」の本文を熟読されたい。なお、  
 本表中の【 】表示は、本文中の該当箇所を指す。  
 \*上記 01 の「中間のとろみ・濃い」とろみについては、学会分類 2021 (とろみ) を参照されたい。  
 本表に該当する食事において、汁物を含む水分には原則とろみを付ける。【1-9項】  
 ただし、個別に水分の嚥下評価を行ってとろみ付けが必要と判断された場合には、その原則は解除できる。  
 他の分類との対応については、学会分類 2021 との整合性や相互の対応が完全に一致するわけではない。【1-7項】

Table 1-6 学会分類 2021(とろみ) 早見表<sup>1)</sup>

学会分類2021 (とろみ) 早見表

	段階1 薄いとろみ	段階2 中間のとろみ	段階3 濃いとろみ
英語表記	Mildly thick	Moderately thick	Extremely thick
性状の説明 (飲んだとき)	「drink」するという表現が適切なとろみの程度。口に入れると口腔内に広がる。液体の種類・味や濃度によっては、とろみが付いていることがあまり気にならない場合もある。飲み込む際に大きな力を要しない。ストローで容易に吸うことができる。	明らかにとろみがあることを感じ、かつ「drink」するという表現が適切なとろみの程度。口腔内での動態はゆっくりで、すくには広がらない。舌の上でまとめやすい。ストローで吸うのは抵抗がある。	明らかにとろみが付いていて、まとまりがよい。送り込むのに力が必要。スプーンで「eat」するという表現が適切なとろみの程度。ストローで吸うことは困難。
性状の説明 (見たとき)	スプーンを傾けるとすっと流れ落ちる。フォークの歯の間から素早く流れ落ちる。カップを傾け、流れ出た後にはうっすらと跡が残る程度の付着。	スプーンを傾けるととろりと流れる。フォークの歯の間からゆっくりと流れ落ちる。カップを傾け、流れ出た後には、全体にコーティングしたように付着。	スプーンを傾けても、形状がある程度保たれ、流れにくい。フォークの歯の間から流れ出ない。カップを傾けても流れ出ない(ゆっくりと塊となってしまう)。
粘度 (mPa・s)	50-150	150-300	300-500
LST値 (mm)	36-43	32-36	30-32
シリンジ法による 残留量 (ml)	2.2-7.0	7.0-9.5	9.5-10.0

学会分類2021は、概説・総論、学会分類2021(食事)、学会分類2021(とろみ)から成り、それぞれの分類には早見表を作成した。本表は学会分類2021(とろみ)の早見表である。本表を使用するにあたっては必ず「嚥下調整食学会分類2021」の本文を熟読されたい。

粘度：コーンブレート型回転粘度計を用い、測定温度20°C、ずり速度50s<sup>-1</sup>における1分後の粘度測定結果

LST値：ラインスプレッドテスト用プラスチック測定板を用いて内径30mmの金属製リングに試料を20ml注入し、30秒後にリングを持ち上げ、30秒後に試料の広がり距離を6点測定し、その平均値をLST値とする。

注1. LST値と粘度は完全には相関しない。そのため、特に境界値付近においては注意が必要である。

注2. ニュートン液体ではLST値が高く出る傾向があるため注意が必要である。

注3. 10mlのシリンジ筒を用い、粘度測定したい液体を10mlまで入れ、10秒間自然落下させた後のシリンジ筒内の残留量である。

## 第五項 IDDSI (International Dysphagia Diet Standardisation Initiative) : 国際嚥下困難者用食品標準化構想

2015年、IDDSIはすべての嚥下障害者に適用できる、テクスチャー調整食品および飲み物の世界的に標準化された用語と定義を開発することを目的に設立された。食べ物と飲み物のテクスチャー特性を、IDDIフレームワークとして0～7の段階に分類し、定義と測定方法を示している (Fig.1-3)。それまで、世界各国でそれぞれ、嚥下障害者の安全な食事提供に向けてテクスチャー調整食と粘性のある飲み物の基準の作成に取り組んできた。しかし、世界的な情報通信が容易で、インターネットにアクセスすると摂食・嚥下障害者用食に関する複数の名称と定義が多数あり、混乱を引き起こしていた。そこで、IDDSIは、共通用語で世界をつなぎ、ともに摂食・嚥下者用食の安全性の改善を促進するために行われた。現在30か国がIDDSIを実施しており、わが国も実行を開始し、嚥下調整食との照合、整理が進められている<sup>19)</sup>。

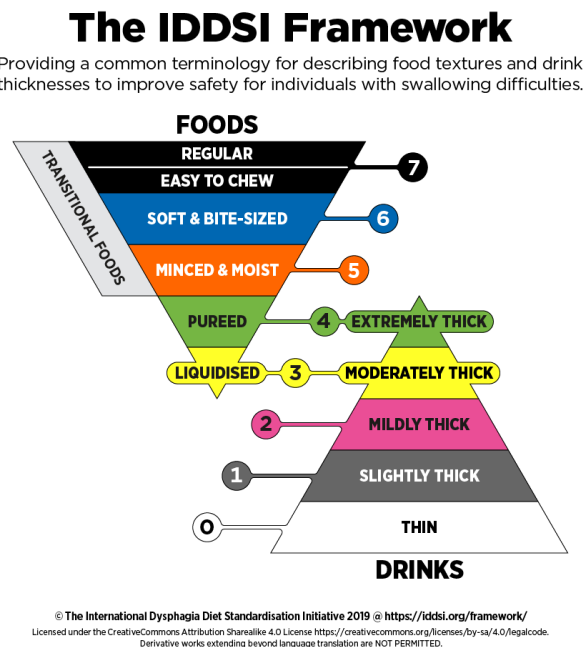


Fig.1-3 The IDDSI Framework

<https://iddsi.org/framework/>より引用

以上のことから、わが国における統一基準として、国内のみならず、国際基準とも連動している「嚥下調整食分類」が、摂食・嚥下障害者に適した食事と飲み物の重要な指針となっている。

### 第三節 摂食・嚥下障害者の食の課題と介護食

摂食・嚥下機能が低下し、食べられるメニューが少なくなった場合の食事の希望として「品数が減っても普通食を食べたい」が最も多いが、「食材の歯ごたえを減らしたやわらか食が食べられればよい」もあげられ、「ミキサー食が食べられればよい」は極めて少ない<sup>41)</sup>。また、現在の嚥下調整食の課題として、「見た目が悪い」、「バリエーションが少ない」、「おいしくない」、「食欲をそそらないものが多い」、「味つけがみな同じで飽きてしまう」、「割高感がある」があげられている<sup>12)</sup>。このことによる拒否感、抵抗感から食事摂取量の低下に伴う栄養状態の低下や予後の悪化が懸念される。「食べる」(摂食)とは、食物を認識して食欲が起こり(先行期)、口に運び(準備期)、咀嚼により食塊を形成し(口腔期)、その食塊が咽頭を通り(咽頭期)、食道、胃へと送られていく(食道期)一連の動作である<sup>42)</sup>。誤嚥回避を優先した嚥下調整食は、口腔期以降の流れを重要視したものであるが、食べ物が口に取り込まれて初めて意義がある。エネルギー・タンパク質摂取量が低下すると、低栄養状態のリスクが高まることから、先行期や準備期をも含めた「食べる」(摂食)こと全体の視点が必要となる。したがって、求められる嚥下調整食として、「見ておいしそうであると感じられるもの」「食べる楽しみを与えるもの」「物性面・衛生面で安全なもの」すなわち、天寿を支え、最後まで口から食べて飲み込むことができるものがあげられている<sup>12)</sup>。この食事が「介護食」である。

介護食は、1988年、特別養護老人ホーム「潤生園」で、嚥下機能が低下し

た高齢者のために、安全面からの物性と、感性科学の視点から開発された食事である。「介護を必要としている人に対して、食べる楽しみを感じさせながら、食べる状況に応じてきめ細かに対応でき、身体状況を悪化させず、見た目にも味もおいしく食べられるもの」と定義された<sup>13)-15)</sup>。いっぽう、嚥下調整食は、摂食・嚥下障害患者に対し、食品物性を重視し、摂食機能に対応して段階的に食事形態が構成・分類される。安全に口から食べることを尊重し、これを用いることでリハビリも可能とした食事である<sup>43)</sup>。つまり、嚥下調整食は介護食の一部であり、「介護食＝嚥下調整食」ではなく、「介護食＞嚥下調整食」と解釈することができる<sup>13)</sup>。

以上のことから、摂食・嚥下障害者に適した食事は、「誤嚥に対して安全な食品物性を有したおいしい介護食」といえる。

#### 第四節 分子調理

近年、物理学、化学、生物学、工学の知識を調理のプロセスに組み込み、科学技術的なアプローチで新たな調理を創造する「分子調理」が注目されている<sup>1)2)</sup>。

分子調理とは、「分子調理学」と、「分子調理法」で構成されている。「分子調理学」とは、食材→調理→料理のプロセスにおいて、食材の性質の解明、調理中に起こる変化の解明、おいしい料理の要因の解明などを分子レベルで行う科学である。マクロからミクロをみる分析的手法をとる。「分子調理法」とは、分子レベルで解明された原理に基づいて、おいしい食材の開発、新たな調理方法の開発、おいしい料理の開発を行う技術である。「分子」には、科学的な視点という意味が込められている。分子調理学と分子調理法は、互いに影響し合い、科学の分子調理学で発見した科学的知見が技術の分子調理法へと活かされ、また反対に、分子調理法によって生まれた新しい技術から

分子調理学における新たな知見が引き出されるといったように、刺激し合うことでお互いが活性化し、さらに循環する<sup>2)3)</sup>。

この流れは、1988年、フランス物理化学者の Herve This と Nicholas Kurt により「分子ガストロノミー (Molecular Gastronomy) : 分子料理学 (美食学)」を提唱し、料理人と科学者との共同研究を促進してから研究開発が進展した<sup>44)</sup>。「調理中に起るプロセスを物理化学的に分析解析して、従来の勘で伝承されていた調理法を科学的に明確にし、正しい知識をもたらすもの」と定義した。そして、分子ガストロノミーの主な目的は、現のメカニズムを見出し、知識を生み出すこと (発見・科学) であり、知識を応用すること (発明・技術) ではないとした<sup>45)</sup>。そのため、シェフの貢献を軽んじることになりシェフと分子ガストロノミーの間に軋轢が生じた。しかしレシピの中で使われる技術を開発するうえでは、科学は非常に重要な役割を果たしている。新しい料理の発展にとって科学と技術は避けて通れないという考えが大きくなり、現代の科学の先端を取り入れながら、最新の科学機器を利用し新しい料理が生み出されている<sup>4)46)</sup>。そして、「料理と科学」の良好な関係性を表す「分子調理」という言葉が定義された<sup>44)47)</sup>。

分子調理法として、真空調理法、泡化 (エスプーマ)、3D プリンター、球状化、乳化等がある。この中で本研究は、真空調理法とエスプーマを用いて新しい介護食の提案に取り組んだ。以下に、真空調理法、エスプーマおよびエスプーマに用いたハイドロコロイドについて述べる。

## 第一項 真空調理法

真空調理法は焼く、蒸す、煮るに続く第4の調理法として1974年にフランスのジョルジュ・プラリュによりフォアグラのテリーヌの調理のため考案された調理法である。日本では1980年代後半から認知され始め、普及して



いる。「鮮度管理された食材を生そのままあるいはあらかじめ熱処理して、調味料・調味液と一緒に真空包装し、温度管理が正確に行える加熱機器を用いて、袋ごと低温加熱する調理法」<sup>48)</sup>と定義されている。低温調理は主に食肉の調理に用いられるが、他にも魚や、野菜、果物の調理などにも用いられる方法である。その際、それぞれの食材の特性に適した調理条件を選ぶ必要がある。真空調理法を適用する場合、既存する微生物が少ないとみなせる新鮮な食材を選定すること、また、貯蔵時の温度管理や調理空間の衛生管理を徹底することが重要である。真空調理法の加熱温度の基本は、厚生労働省で定められている中心温度 75°C 1 分以上または同等以上の加熱を行うことである<sup>49)</sup>。真空調理の芯温設定温度帯とされている 58°C~95°Cのうち、食肉の加熱基準は中心部の温度を 63°C、30 分間加熱する方法又はこれと同等以上の効力を有する方法とされている<sup>50)</sup>。さらに、加熱後 90 分以内に 3°C 以下に急冷し、保存は 0~3°C で行い、再加熱は 1 時間以内に芯温を 65°C まで上げなければならない<sup>49)</sup>。

## 第二項 エスプーマ

「エスプーマ」とは、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) や亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O) を使用し、食材を泡沫状にする料理、またその料理法、分子調理の革命的な器具である。エスプーマは、スペインのレストラン「エル・ブリ」のシェフであったフェラン・アリアによって開発された調理法のひとつで、スペイン語で泡を意味している<sup>51)</sup>。この調理器具を使えば、通常泡立たない食材の泡も作ることができる。また、泡沫状にすることで新食感を生み出すことができ、既存の料理に取年り入れることで料理の幅が広がる。

専用のボトルに食品を入れ、高圧でガスを注入し、ボトルをふると、食品とガスが混ざり、レバーを引くとノズルを通して発泡しながら泡沫を絞り出

することができる。この際、ガスは膨張するが、食材の凝固成分も一緒に膨張するため膨らむと考えられている<sup>52)</sup>。

二酸化炭素は、食品中で炭酸が発生し、シュワシュワとした食感に加え、わずかな酸味や苦味が食品へ付与する。カートリッジのかたちで一般家庭向けに販売されている<sup>53)</sup>。亜酸化窒素で作ったエスプーマは食材のもともとの風味に大きな影響を与えないが、二酸化炭素よりも水へ溶解しづらいため泡沫の安定性がやや劣る。亜酸化窒素は、諸外国では古くからクリームの発泡剤用の食品添加物として認められており、広く利用されてきた。日本では2005年に食品添加物として認められた。使用許可を受けた飲食店などで利用することができ、家庭は使用が難しい。欧米で使われているカートリッジ式の耐圧金属製密閉容器に入れた亜酸化窒素ガスは、日本では成分規格外との理由で使用が認められていない。そのため専用ガスポンペを使用するタイプとなっている<sup>53)</sup>。わが国で個人がエスプーマを利用できる範囲は狭いのが現状である。

### 第三項 ハイドロコロイド

重度の摂食・嚥下障害に適した嚥下調整食の条件を満たすためのテクスチャーコントロールを可能にするものとして、ハイドロコロイドが最近の食品開発においても注目されている<sup>52)</sup>。ハイドロコロイドは、増粘性、ゲル化性、安定化性、乳化性などを有し、少量の添加で食品の物性を変化させることが可能であり、テクスチャーモデファイヤーと呼ばれ、嚥下調整食の物性発現のために適しているといわれている<sup>43)54)</sup>。増粘多糖類は栄養にならない増量剤的なイメージが強く、多量の添加を防ぐために指定添加物(合成糊料)として使用量の基準が設けられた。しかし今日では食物繊維として見直され、その栄養学的位置づけが明白になり、役割も多岐に渡ってきた。

食品工業ではタンパク質を含めてこれらの高分子化合物を食品ハイドロコロイドとして総称されている。本研究で用いたハイドロコロイドについて記す。

1) カラギーナン

海藻由来の増粘多糖類。

20%以上のエステル硫酸を含む分子量 100,000~500,000 の直鎖状のガラクトンで、カラギーナンの基本構造は、 $\beta$ -D-ガラクトースと、 $\alpha$ -D-ガラクトースの $\beta$ -

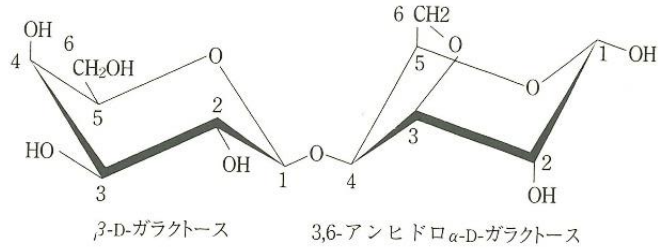


Fig.1-4 カラビオース（カラギーナンの基本単位）<sup>55)</sup>

1,4結合と $\alpha$ -1,3結合が交互に繰り返しガラクトースユニットが結合したものである（Fig.1-4）。構造中の硫酸基の結合位置や量の違いにより、 $\kappa$ 、 $\iota$ 、 $\lambda$ の3種類に分類される。

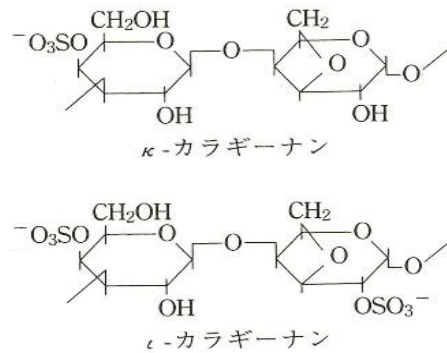


Fig.1-5  $\kappa$ -カラギーナン、 $\iota$ -カラギーナンの基本構造<sup>55)</sup>

$\kappa$ -カラギーナン、 $\iota$ -カラギーナンの基本構造を Fig.1-5 に示

す。 $\kappa$ 、 $\iota$ タイプのカラギーナンの硫酸基はらせん構造の外側に向いているので、互いにその鎖がからみあい、ゲル化する。カラギーナンは強く硬いゲルを形成する。本研究で用いた $\iota$ カラギーナンは、3,6アンヒドロ-D-ガラクトースの2位の硫酸基が作用するために $\kappa$ -カラギーナンのような強いゲルを形成できないが、親水性基が外側に位置する構造をもつために保水性に優れた非常に軟らかいゲルをつくる。Ca<sup>2+</sup>など、2価のカチオンを導入すると、ダブルヘリックスの間で硫酸基同士をつなげる架橋構造を形成してゲル化力が增加する<sup>55)</sup>。

2) キサンタンガム<sup>55)</sup>

分子量 3,000,000 前後の微生物産生増粘多糖類。

主鎖は、 $\beta$ -1,4 結合しているグルコースからなり、側鎖は主鎖のグルコース残基一つおきにマンノース 2 分子とグルクロン酸が結合している。キサンタン

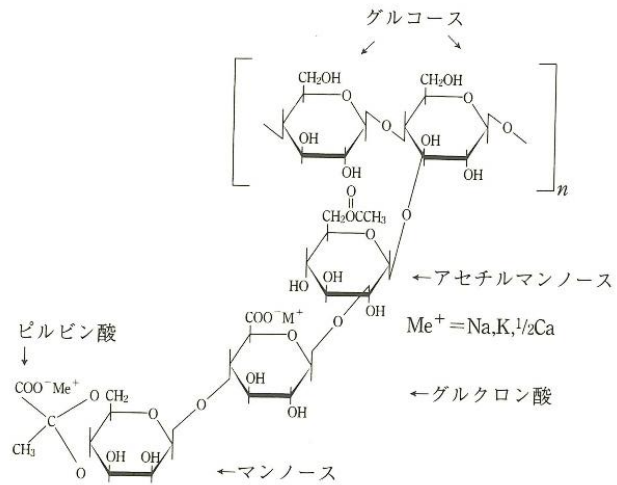


Fig.1-6 キサンタンガムの基本構造<sup>55)</sup>

ガムは主鎖に対する側鎖の割合が大

きく、その側鎖に含まれるカルボキシル基とピルビン酸に由来するマイナス荷電の非常に強い多糖類である。主鎖はセルロース骨格で、それだけでは水に不溶であるが側鎖が水溶性となっている。長い側鎖が主鎖のグルコース残基を覆うことにより、主鎖を保護し重要な役割を果たしている。キサンタンガムは耐酸性、耐塩性、耐熱性、耐酵素性、耐凍結解凍性を示すが、この特異な性質は側鎖によるものと考えられている。水溶液中でダブルヘリックス構造をとっており、その剛直性が、低濃度においても高い粘性を付与すると考えられている。

3) ゼラチン<sup>56)</sup>

ゼラチンは、動物の真皮、骨、軟骨、腱等の結合組織を構成しているコラーゲンが変性されて生成したもの。コラーゲンは、分子量約 350,000 の繊維状のタンパク質である。3重らせん状のヘリックス構造で、分子内あるいは分子間の水素結合で安定させられている。Fig.1-7 にコラーゲンよりゼラチンへの転換を示す。コラーゲンは変性により、水素結合が破壊されてトリプルヘリックスが崩壊し、ランダムなシングルコイルとなる。しかし、その分子間架橋の程度によって、 $\alpha 1$  鎖と  $\alpha 2$  鎖の種類だけでなく、これらの二量

体や3量体やさらに重合度の高い重鎖を生成する。したがって、ゼラチン中にはこれらの各鎖や、重合体にも加えて加熱によって生じた種々のペプチド断

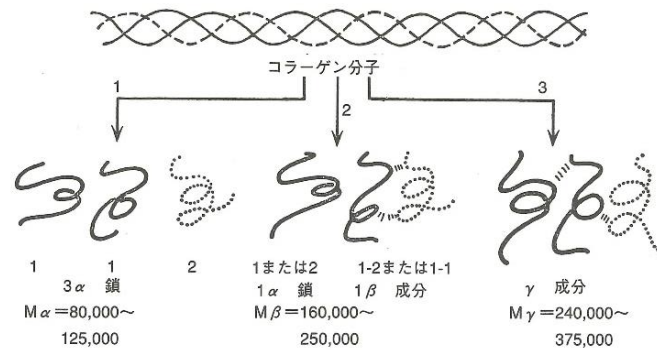


Fig.1-7 コラーゲンよりゼラチンの転換

五十嵐脩他. 食品の機能化学. 弘学出版, 2002, 176より引用

め、その組成は不均一でかつ

多分散性を示すようになる。ゼラチンの性質は、アミノ酸組成の異なるペプチド鎖と、分子量の異なるペプチド鎖が混在するため、両者の性質が総合された形で把握されることになる。これがゼラチンの物性が複雑で現在なお不明な部分が残される原因である。ゼラチンは通常温浴中では(約40℃以上)ゾル状態にあり、フレキシブルなランダムコイル構造を保っている。

## 第五節 分子調理と介護食

摂食・嚥下障害者に適した介護食の条件として、物性面では、①適度なかたさを有すること、②付着性が小さいこと、③食塊形成(凝集性)に優れていること、④離水が少ないことがあげられる<sup>57)</sup>。嚥下調整食分類区分では、対応する既存の段階的分類を明示しており、基準測定値が参考となる。今後は、この基準を満たす食品物性を有することを基盤として、「おいしさ」が介護食の条件の重要項目として加えたものが求められている。

おいしさとは、食品を食べることに伴って引き起こされる、食べる人の総合的な感情である<sup>58)</sup>。おいしさの要因として、食べ物からは化学的因子、物理的因子、外観など、食べる人からは生理的因子、心理的因子、文化的因子、環境要素などがあげられる<sup>58)</sup>。人によって求めるおいしさは異なるが、

摂食・嚥下障害のある高齢者では、テクスチャー<sup>59)60)</sup>、生育環境、食習慣<sup>61)~63)</sup>の影響が大きい。感覚器の低下している高齢者の生理的、心理的特徴を理解して調製することがおいしい介護食につながる。

テクスチャーとは、「食品の構造的要素（分子レベル、微視的および巨視的なレベルの構造）と生理感覚的に感じとられる様子の両者を包含したものである」と、Szczeniakにより定義された。食品の物理的性質を感覚的にとらえた主観的で包括的なもので、歯や舌の触感とか、のどごしを指す食感と考えられている<sup>64)65)</sup>。主観的なテクスチャーと客観的な食品物性値は深く関わりと考えられる。嚥下調整食の食品物性値範囲で、テクスチャーコントロールを検討していくことが、新しい介護食調製の提案につながると考えた。嚥下調整食の食品物性は、かたさ、付着性、凝集性、粘性の項目について、段階的に範囲が設定されているが嚥下障害度が高いほどその範囲は狭まれていく。食材を調理して介護食に仕上げるが、求められる物性値は身体状況に直接影響を及ぼすものであるため、調理操作計画は慎重に進める必要がある。

食材に含まれる物質は高分子のものが主であり、複雑な構造から成り立っている上に、各物質相互の関連が絡みあっており、これを調理した場合の変化はさらに複雑である。調理の際に起こる状態の変化は食品物性に著しい変化を与え、口あたり、歯ごたえなど触覚を通しておいしさに寄与する。食品物性値は、成分である高分子の状態変化と密接な関係がある<sup>66)</sup>。したがって、調理条件による食材の科学的状態変化、添加物の科学的性質など、基本の原理をあらかじめ知っておくことは、より合理的にゴールに向かえるだけでなく、うまくいかない場合の対処、再現性の向上、さらには新しい介護食の開発につながる点で大変重要である<sup>2)</sup>。新しい介護食調製の提案には分子調理の要素を参考に進めることが有用と考える。

## 第二章 真空低温調理による動物性食品の調製

### 低温長時間処理が真空調理した牛すね肉および豚すね肉の 物理化学および官能特性に及ぼす影響

#### 第一節 緒言

真空低温調理は、真空状態という閉じた系内で食材の芯温を 58°C~95°C の範囲で加熱することにより通常の調理法と比較して、水溶性成分の流出が少なく食品成分の熱変化が緩慢である特徴を有し、特有のテクスチャーや風味が発現されると考えられている<sup>67)~70)</sup>。利点として、軟らかく多汁に仕上がることで、ビタミンの破壊が抑制されること、少量の調味料で味が均一に浸透すること等の他、食事提供の管理面における作業効率上の向上、作り置きが可能である等、種々の観点から実用性が高く評価され、クックチルの代表的な調理法の一つとしてホテル、病院等の食事提供の場で広く普及しつつある<sup>67)70)</sup>。

真空低温調理において、おいしさの向上及び適切な衛生管理のためには、食材の細胞構造や成分の特徴に応じた加熱温度と加熱時間すなわち TT 条件が重要となる<sup>71)</sup>。食肉においては、構成するタンパク質の特性により軟らかく仕上げるのが活用され、研究報告は多く挙げられているが<sup>72)~76)</sup>、2日以上長時間調理の報告はほとんどない。食肉の真空長時間調理は、より好ましい調理条件に関するより多くの情報が得られる可能性があると考えた。そこで、本研究は、真空低温調理による牛すね肉と豚すね肉への長時間加熱が及ぼす影響を整理し、介護食への応用を検討することを目的とした。

## 第二節 方法

### 第一項 材料および試料調製

#### 1 食材料および調理に用いた調味料

食材料として、交雑牛（黒毛和種×褐色和種）まえすね肉（以下牛肉）、交雑豚（大ヨークシャ種×ランドレース種×バークシャ種）骨付きすね肉（以下豚肉）を栗原市の市場から購入し、調味料として食塩を用いた。

#### 2 試料の作製

冷凍冷蔵庫 $-18^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した牛肉（約 200g）、豚肉（約 600g）を庫内温度 $+3^{\circ}\text{C}$ の冷蔵庫で 24 時間静置し解凍した。解凍後、それぞれの重量の 1% 重量の食塩を表面にすり込み<sup>77)</sup>、真空保存フードシーラー（アイリスオーヤマ株式会社：VPF - 385T）で真空パックした。真空パック後、ウォーターバス（Personal-11 SDN:Taitec Corporation）を使用して 20 通りの TT 条件、すなわち 5 段階の温度設定（55, 60, 65, 70, 75）および 4 段階の時間設定（1, 3, 5, 7 日）の TT 条件で加熱した。加熱終了後、直ちに流水で 30 分間冷却し庫内温度 $+3^{\circ}\text{C}$ の冷蔵庫で 24 時間保存した<sup>49)</sup>。

### 第二項 物理的特性の測定

#### 1 物性

調理した牛肉・豚肉を  $1.5 \pm 0.5 \text{ cm} \times 1.5 \pm 0.5 \text{ cm} \times 0.9 \pm 0.1 \text{ cm}$  の直方体に成形し、食品包装用ラップフィルムを用いて乾燥を防止しながら、クールインキュベーター（電子冷熱恒温装置クールインキュベーター CN - 40A:三菱電機エンジニアリング製）で中心温度  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  を確認後、30 分静置したものを測定試料とした。

試料の物理的性質であるかたさは、静的物性測定機器であるレオメーター



(CR - 500DX - SII : (株) サン科学) を用い, 1 項目について 3 試料を測定した。測定方法は日本介護食協会自主規格「ユニバーサルデザインフード 自主規格」<sup>79)</sup> に示された試験法で行った。すなわち, 直径 3 mm のプランジャーを用いて直線運動により圧縮貫入速度 10 mm/s でクリアランスを試料の厚さの 30% として測定した。この測定で得られた TPA (Texture Profile Analysis : 時間 (距離) - 荷重 (応力)) 曲線から, 「かたさ」を算定した。測定は 3 回の値の平均値を測定値とした。

## 2 水分

試料は, 物性変化が顕著に認められた調理温度牛肉 65°C, 豚肉 70°C についてそれぞれ調理時間 1, 3, 5, 7 日の 4 段階のものを試料とした。前述の調理条件で調製した肉を真空パックから取り出し, 無傷の状態を測定した。

135°C に設定した恒温乾燥器 (ヤマト科学株式会社, DK600) にアルミニウム製秤量容器をいれ, 2 時間加熱後, デシケーターに移した。容器を 45 分間放冷したのち,  $\pm 0.1$  mg の精度で秤量し, 容器の恒量 ( $W_0$ ) を求めた。次に 5g の試料をその中に入れ, 蓋をして  $\pm 0.1$  mg の精度で一緒に秤量した ( $W_1$ )。秤量容器を再び乾燥機に入れ, 蓋を外し, 静かに容器の横に置いた。2 時間後乾燥機の中ですばやく蓋をして容器全体をデシケーターに移した。乾燥重量 ( $W_2$ ) は, 45 分間放冷した後, 秤量した。得られた値を以下の計算式に従って水分含有量を算出した。

$$\text{水分含有量 (g/100g)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100$$

## 3 タンパク質の電気泳動

調製した肉試料 10mg を水 225ml, Laemmli Sample Buffer 250ul, 2-メルカプトエタノール 25ul を加えてマイクロチューブにいれ 100°C で 2 分間加

熱した。ホモジナイズし、その後 10000rpm で 20°C で 5 分間内容物を遠心分離した。10% ポリアクリルアミドゲルを泳動層にセットし、10 倍希釈した SDS バッファーを流し込んだ。各試料の上清をレーンに注入し（レーンごとに一つの検体、各 8 $\mu$ l）、サンプルの両端にマーカー（Broad SDS-PAGE Standard:Bio-Rad Corporation）を流し込んだ。コンパクト PAGE（アトー株式会社、AE-7300/5 型）を用いてゲルを 30 分間泳動した。その後、クマジーブリリアントブルー染色液に 20 分つけ染色した後、脱色液で脱色して観察した。

### 第三項 官能評価

試料は、物性測定の結果より、物性変化が顕著に認められた調理温度牛肉 65°C、豚肉 70°C についてそれぞれ調理時間 1, 3, 5, 7 日の 4 段階のものを試料とした。調理時間 1 日の試料を基準とし、かたさ、多汁感、うま味、香り、脂っこさ、色、総合評価の 7 項目について、評点法（両極 7 点尺度法）で行った。さらに嗜好について、最も好みとするものを選択する欄を設定した。パネルは、研究の主旨と手順の説明を十分に行い同意を得た栄養士・管理栄養士養成校の学生 18~23 歳の男女 71 名とした。東北生活文化大学研究倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号 29 - 第 11 号）。

### 第四項 統計解析

物性および水分測定は BellCurve for Excel(version 2.15)を用いて Fisher の最小有意差法（LSD）法により有意差検定を実施した。官能評価は、KaleidaGraph を用いて TukeyHSD 法により、異なる時間条件間の統計分析を行い、有意差検定を実施した。

## 第三節 結果

## 第一項 外観

Fig.2-1 に牛すね肉, Fig.2-2 に豚すね肉の様々な調理条件下で真空調理した外観を示す。

牛すね肉, 豚すね肉ともに, 調理時間や調理温度によって異なった外観が観察された。調理温度が高く, 調理時間が長いほど, 牛すね肉は暗くなり, 豚すね肉は白くなった。

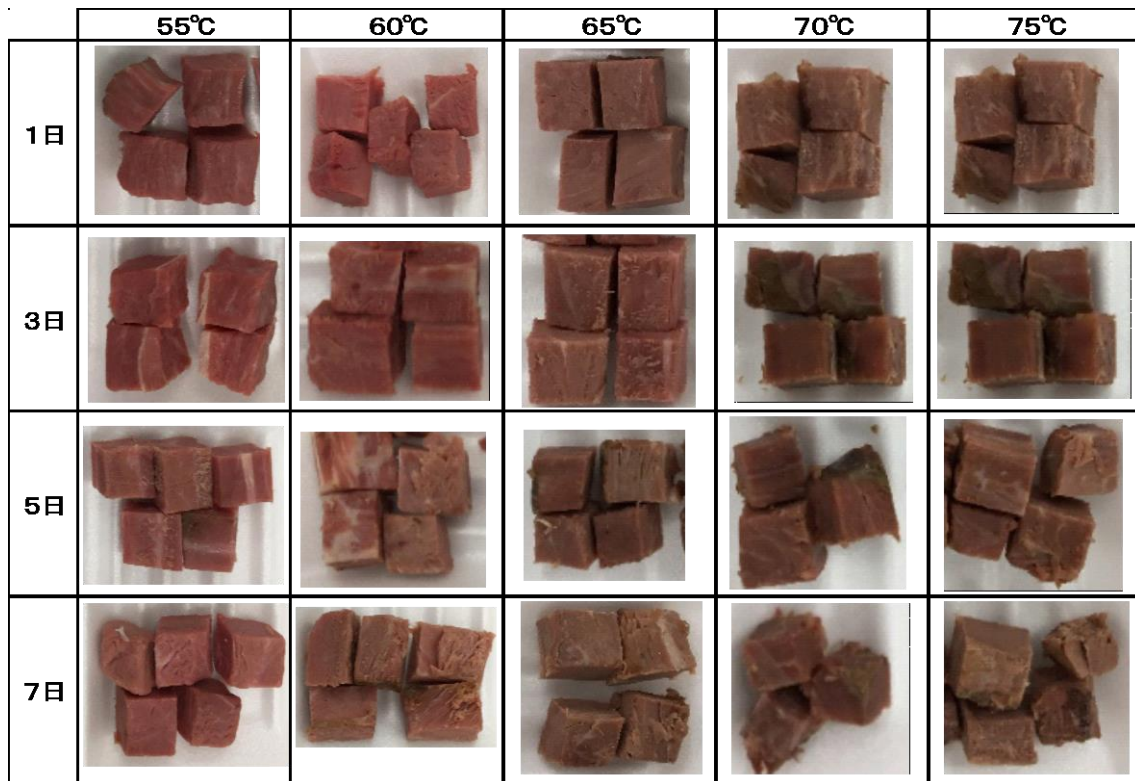


Fig.2-1 Appearance of the beef shank by sous-vide cooking under different conditions

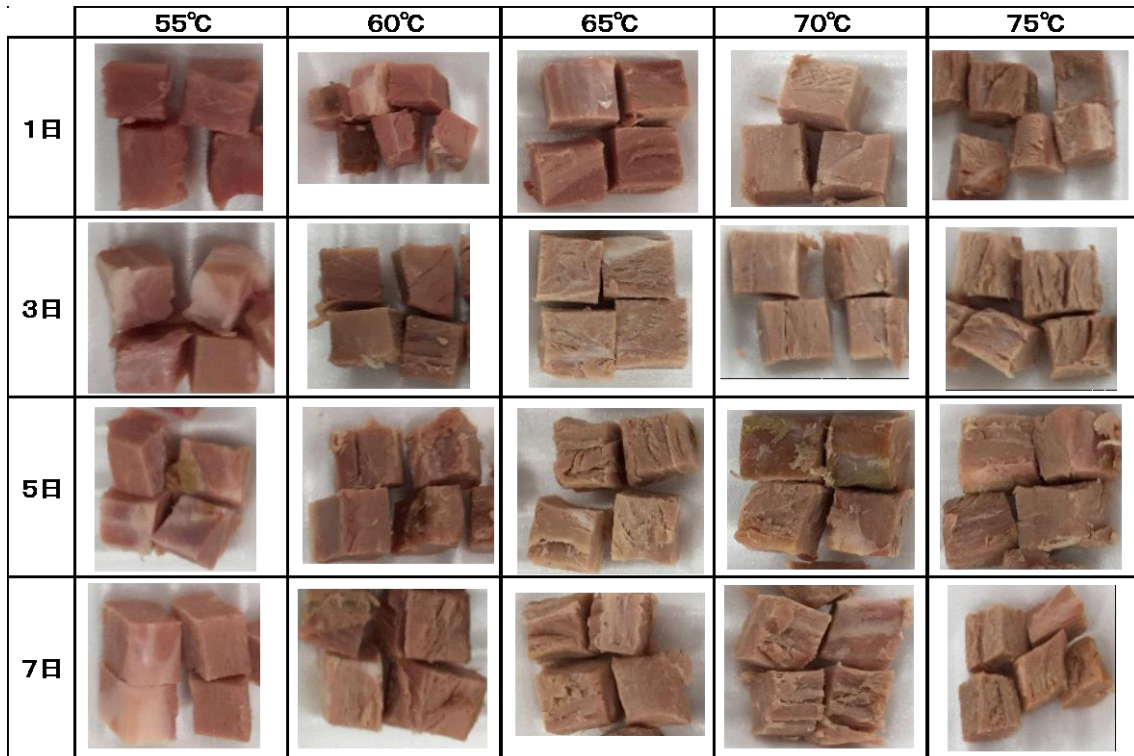


Fig.2-2 Appearance of the pork shank by sous-vide cooking under different conditions

## 第二項 物性

Table2-1 に牛すね肉の調理条件によるかたさ値を示す。

調理条件は牛すね肉のかたさの変化に大きく関連していた。調理温度間、調理時間間で有意差も多かった。牛肉について、同一時間内における調理温度がかたさに及ぼす影響についてみると、全ての時間条件で 55℃と比較して 60, 65, 70, 75℃のいずれの温度も軟らかかった。1 日間調理した場合、1 日は 60℃から 70℃まで温度上昇とともに軟らかさが増したが、75℃の牛肉は 70℃よりも硬かった。3 日間調理した場合、60℃から 65℃まで温度上昇とともに軟らかくなった。5 日間調理した場合、有意差が見られなかった。7 日間調理した場合、75℃の牛肉は 60℃の牛肉より軟らかかった。同一温度内における調理時間がかたさに及ぼす影響についてみると、全ての温度条

件で 1 日目から 5 日目までは時間経過とともに軟らかくなった。しかし、55, 60, 65°C で調理した場合、5 日から 7 日にかけて、硬くなった。全ての温度条件で 7 日は 1 日と比較して軟らかかった。

嚥下調整食コード 4 に対応する UDF 区分「容易にかめる」および「歯ぐきでつぶせる」かたさとして応用できる TT 条件があった。65°C で 3, 5, 7 日間, 70°C で 5, 7 日間, 75°C で 5, 7, 日間だった。

Table 2-1 Effects of the cooking conditions on hardness of the beef shanks ( $\times 10^4 \text{N/m}^2$ )

	1day	3day	5day	7day
55°C	187.0±21.6 <sup>a,A</sup>	166.6±22.2 <sup>b,A</sup>	95.2±17.8 <sup>d,A</sup>	139.8±11.2 <sup>c,A</sup>
60°C	152.7±6.6 <sup>a,B</sup>	62.4±3.0 <sup>b,B</sup>	32.5±13.4 <sup>c,B</sup>	59.6±4.6 <sup>b,B</sup>
65°C	97.7±8.0 <sup>a,C</sup>	43.0±5.9 <sup>b,C</sup>	24.65±1.7 <sup>c,B</sup>	43.7±10.2 <sup>b,B</sup>
70°C	68.8±4.5 <sup>a,D</sup>	55.0±4.0 <sup>a,BC</sup>	32.68±2.3 <sup>b,B</sup>	34.3±9.3 <sup>b,BC</sup>
75°C	91.2±15.9 <sup>a,C</sup>	52.9±3.8 <sup>b,BC</sup>	17.7±3.2 <sup>c,B</sup>	22.4±5.0 <sup>c,C</sup>

(n=3)

a, b, c, d; Different letters within the same row show significant difference at  $p < 0.05$

A, B, C, D; Different letters within the same column show significant difference at  $p < 0.05$

次に、Table2-2 に豚すね肉の調理条件によるかたさ値を示す。豚肉について、同一時間内における調理温度がかたさに及ぼす影響についてみると、有意差が少なく温度によるかたさ変化の傾向はみられなかった。同一温度内における調理時間がかたさに及ぼす影響についてみると、55°C で調理した場合、3 日から 5 日まで軟らかくなった。60, 65, 70, 75°C の温度条件では 1 日から 3 日にかけて時間経過とともに軟らかくなった。60°C では 5 日から 7 日にかけて硬くなった。全体的に、牛肉より豚肉は軟らかい傾向にあった。

嚥下調整食コード 4 に対応する UDF 区分「容易にかめる」および「歯ぐきでつぶせる」かたさとして応用できる TT 条件があった。55°C で 5, 7 日間, 60°C で 3, 5 日間も物性基準は満たしたが、食品衛生面から考慮すると提供にあたっては適しているとはいえない。したがって応用できる TT 条件

は、65°Cで3, 5, 7日間, 70°Cで3, 5, 7日間, 75°Cで3, 5, 7, 日間だった。

Table 2-2 Effects of the cooking conditions on hardness of the pork shanks ( $\times 10^4 \text{N/m}^2$ )

	1day	3day	5day	7day
55°C	71.2±6.2 <sup>a,A</sup>	66.8±5.2 <sup>a,A</sup>	29.8±6.5 <sup>b,A</sup>	31.1±1.3 <sup>b,A</sup>
60°C	54.7±13.5 <sup>a,AB</sup>	34.7±7.8 <sup>bc,B</sup>	24.1±4.8 <sup>c,A</sup>	50.8±29.1 <sup>ab,B</sup>
65°C	62.5±20.0 <sup>a,AB</sup>	38.6±9.0 <sup>b,B</sup>	40.1±6.1 <sup>b,A</sup>	24.51±6.8 <sup>b,A</sup>
70°C	79.8±9.6 <sup>a,AB</sup>	41.1±2.3 <sup>b,B</sup>	27.5±2.8 <sup>b,A</sup>	28.24±5.1 <sup>b,A</sup>
75°C	50.9±3.0 <sup>a,B</sup>	23.3±7.1 <sup>b,B</sup>	31.2±3.9 <sup>b,A</sup>	26.7±7.3 <sup>b,A</sup>

(n=3)

a, b, c, d; Different letters within the same row show significant difference at p<0.05

A, B, C, D; Different letters within the same column show significant difference at p<0.05

### 第三項 水分含有量

Table 2-3 に調理条件による水分含有量を示す。

65°Cの牛肉の水分含有量は、1日目から3日目は有意差は見られなかったが3日目から5日目にかけて有意に減少した。5日目が最も水分含有量が低かったが、5日目から7日目にかけて再び増加し、3日目で観察された値より高い値になった。70°Cの豚肉の水分含有量は、1日目から5日目まで調理時間が長くなるにつれて水分含有量が減少した。7日目は3日目より低かった。

Table 2-3 Effects of the cooking conditions on moisture content of the shanks (%)

	1day	3day	5day	7day
beef shank(65°C)	59.6±0.7 <sup>ab</sup>	58.8±1.0 <sup>b</sup>	48.2±0.2 <sup>c</sup>	61.0±0.2 <sup>a</sup>
pork shank(70°C)	66.7±0.2 <sup>a</sup>	63.3±0.3 <sup>b</sup>	60.3±0.4 <sup>c</sup>	60.6±0.4 <sup>c</sup>

(n=3)

a, b, c, d; Different letters within the same row show significant difference at p<0.05

## 第四項 タンパク質の電気泳動

Fig.2-3 に、異なる調理時間での牛すね肉と豚すね肉の電気泳動法によるタンパク質の分解パターンを示す。タンパク質の分解パターンを電気泳動法で見ると、1日目には、牛肉、豚肉の両方でミオシンがはっきりと検出されたが、3日目までに対応するバンドは非常に薄くなった。この進行性の分解により、ミオシンは5日目と7日目で完全に検出できなくなった。アクチンについては、牛肉では1～7日の全てのサンプルで検出された。豚肉では1日目と3日目では検出されたが、5日目、7日目では分解が進み検出されなかった。牛肉と豚肉を比較すると、ミオシンの分解は同じ速度で分解する傾向であったが、アクチンとミオグロビンでは豚肉の方が分解が速かった。

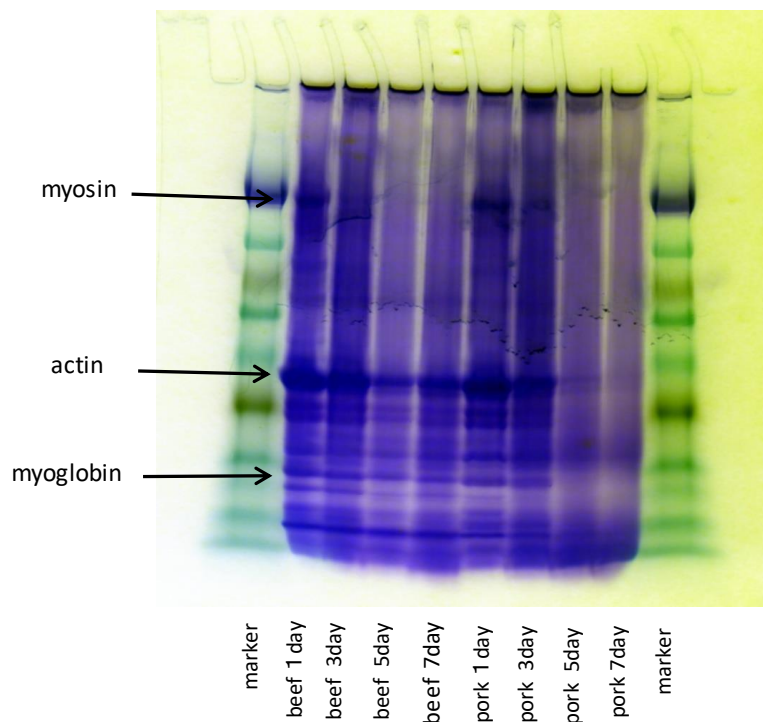


Fig.2-3 Electrophoresis of the beef and pork shanks under different cooking times

## 第五項 官能評価

牛すね肉の官能評価結果を Fig.2-4 に示す。

調理時間 1 日を基準値 0 として，-3~+3 で 7 段階評点法で評価した。

1 日牛肉のサンプルを基準とした場合，かたさは 3 日と比較して 5，7 日が軟らかかった。多汁感、香り、脂っこさは 5 日が 3，7 日と比較して強いと評価された。うま味と色は有意差が見られなかった。最も好みのものは 5 日のもので，次に 3，7，1 日の順だった。食感が軟らかいと評価されるほど，多汁感や脂っこさが強いと評価された。

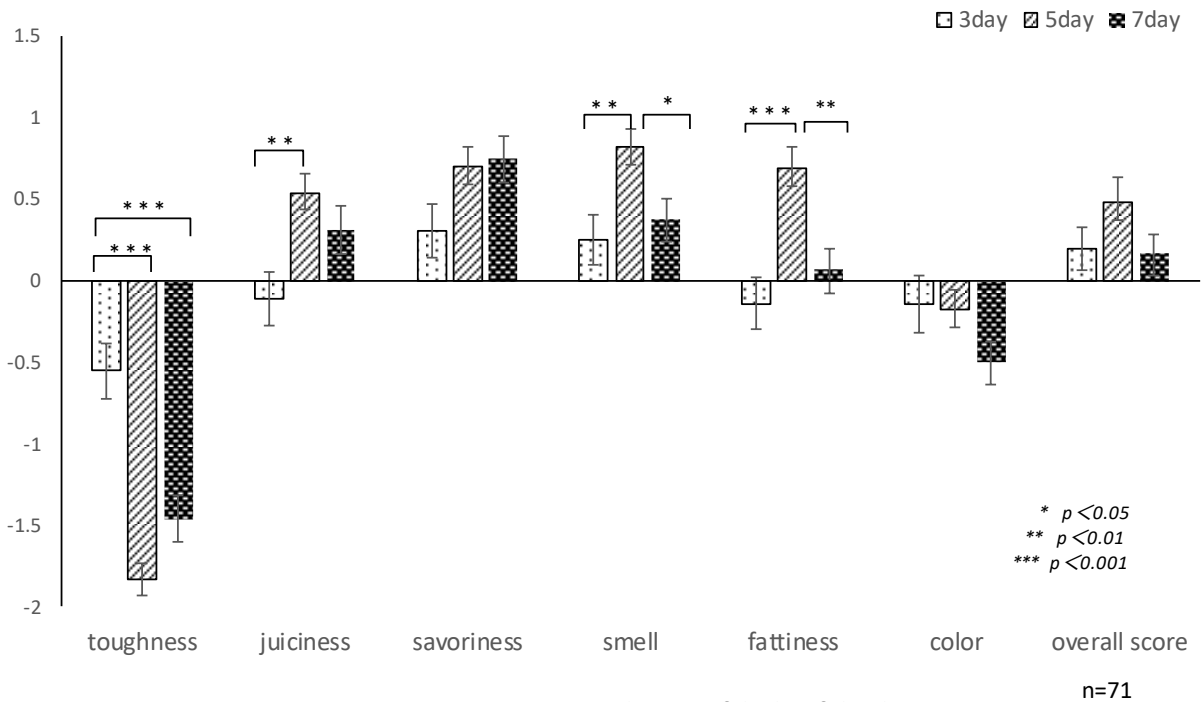


Fig.2-4 Sensory evaluation of the beef shanks

次に豚すね肉官能評価結果を Fig.2-5 に示す。

豚肉について，1 日のサンプルを基準とした場合，かたさは，7 日が最もかたかった。多汁感、色は 3 日が最も明るかった。総合評価は 3 日が最も高かった。多汁感が強く明るい色のものが総合評



価が高かった。うま味、香り、脂っこさは有意差が見られなかった。最も好みのものは1, 3, 5, 7日の順だった。



Fig.2-5 Sensory evaluation of the pork shanks

#### 第四節 考察

##### 第一項 物理化学に及ぼす影響

###### 1 調理温度と調理時間

55°C~75°Cの温度帯で加熱したところ、牛肉において55°Cと比較して60°C以上のすべての温度調理が軟らかかった。調理肉のテクスチャーは、おもに筋原繊維タンパク質のアクチン、ミオシンの変性による硬化と、結合組織タンパク質コラーゲンのゼラチン化による軟化の進行バランスで決定される<sup>71)79)</sup>。タンパク質の熱変性温度帯はタンパク質によって異なり、ミオシンが40~50°C、アクチンが65~75°C、コラーゲンが55~100°Cとされている<sup>80)~82)</sup>。さまざまな温度で変性する。肉の食感はミオシンの変性による影響を比較的受けないが、アクチンが変性し始めると大きく収縮してかなり硬

化し、その過程で、離水された水が排出され保水性、多汁性が低下する<sup>82)</sup>。したがって、ミオシンの変化に関係なく、アクチンの構造を維持する温度で肉を調理すること、すなわち低温調理は、水の損失を最小限に抑え、軟らかさ、保水性、多汁性を維持するための有効な手法であるといえる。一方、コラーゲンは3重らせん構造がほぐれた後いったん収縮し、さらに加熱するとコラーゲン鎖間の結合が切れてゼラチン化が起こる。筋繊維はコラーゲンを含む結合組織に囲まれており、これらのプロセスが進行すると、繊維が緩み始め、結果として軟らかくなる<sup>80)</sup>。ゼラチン化は加熱温度が高いほど短時間に進行するが、変性の最低実用温度は55°Cとみなされ<sup>81)</sup>長時間を要するとされている<sup>80)81)</sup>。アクチンの変性温度に強く影響を受けていたと仮定すれば調理温度70°C、75°Cではかたさが増加するが、逆に低下したことは、アクチンの変性による硬化よりコラーゲンの変性による軟化の影響を強く受けたためと考えられる。加熱開始後、短時間加熱の段階では筋原繊維タンパク質変性が肉の軟化に寄与しているが、長時間加熱段階ではコラーゲンのゼラチン化が支配的に進行し、アクチンの変性温度を超えても肉の軟化が進んだと思われる。以上のことから、55°C~75°Cの低温調理におけるかたさは短時間調理では筋原線維タンパク質変性、長時間調理ではコラーゲン変性の影響を強く受けると考えられる。

55°Cが最もかたかったのは、55°Cという低温であったことで熱が伝わりにくく、タンパク質の変性がゆっくりと進行したためと考えられる。

60°C以上の調理では牛肉、豚肉とも調理温度間に有意差は少なかった。しかし、牛肉では1日目よりも5日目で、豚肉では1日目から3日目で有意に軟らかくなった。これらの傾向は、肉の軟らかさは調理温度よりも調理時間の影響を強く受けていることを示唆している。さらに55°C、60°C、65°Cで調理された牛肉は、5日目から7日目にかけてかたくなったことからコラ

ーゲン変性による軟化にも限界があると考えられる。

本研究ではすね肉を対象としたが、牛すね肉と比較して豚すね肉は、全体的にかたさが低い傾向がみられ、測定値の差が小さく試料間の有意差が少なかった。要因の一つとして、調理前の肉が牛肉の方がかたかったことがあげられる。かたさは、筋線維を束ねる結合組織である筋周膜、筋内膜の量（厚さ）と丈夫さに影響を受ける<sup>80)</sup>。筋周膜と筋内膜の量については、主構造物のコラーゲン線維が多いほど膜は厚くなり食肉はかたくなる。豚の筋肉と牛の筋肉では筋束の構築が異なっており、豚は筋細胞が数十本集まって筋束を形成しているが、牛は、小筋束を形成したうえで筋束を形成しているため、膜量が多くなっていると考えられる。野口らが実施した肉類のコラーゲン量測定では牛すじ肉が最も含量が高かった(4,980 mg/g)という報告もある<sup>83)</sup>。膜の丈夫さについては、コラーゲン線維は、束内の分子同士が共有結合で架橋をつくと丈夫になり、食肉はかたくなる。体を支えるコラーゲン線維は個体サイズが大きい動物ほど丈夫になる<sup>80)</sup>ため牛肉の方がかたい。これは牛肉が一般的に豚肉よりもかたい理由の一因となる。さらに、動物は成長にともなって筋肉コラーゲン線維含有量と架橋密度が増加する。豚は一般的に成熟前にと畜されるのに対し、牛は成熟してからと畜される事実も、牛肉の方がかたい理由となる。これらのことを考慮すると、豚肉と比較して低温長時間調理に対する牛肉は、コラーゲン含有量と架橋密度が高いことの結果であると結論づけることができる。他の要因として個体差、加工日、試料調製時の骨の有無、重量の差があげられる。ばらつきを最小限にするために要因として考えられる条件をなるべく揃える必要がある。牛肉、豚肉ともに 65～75°Cの調理温度で調理時間のコントロールにより嚙下調整食の物性基準を満たし、応用できることが示唆された。

## 2 水分含有量

水分含有量は、3日目から5日目まで調理温度65°Cの牛肉と、1日目から5日目まで調理温度70°Cの豚肉で減少した。コラーゲンの変性が進むと水分が流出し肉の水保持能力は低下する<sup>83) 84)</sup>。コラーゲンは時間の経過とともに徐々に変性するため、肉の水分含有量は、調理時間が長いほど減少したと考えられる。1日目から5日目にかけての水分減少率が牛肉の方が豚肉より高かったのは、牛肉の方がコラーゲン含有量が多いためであると推察される。また、調理温度が豚肉の方が高かったにもかかわらず、水分含有量が多かった理由として、もともとの水分含有量が豚肉の方が多いとされていることや、コラーゲン量が少ないことが考えられる。

牛肉の調理温度65°Cでは、5日目まで水分含有量が減少したが7日目にかけて再吸収された。これはコラーゲン変性により生じたゼラチンが膨潤して水と結合し結着性を生じた<sup>81)</sup>可能性があると思われた。ここで、肉組織から自由水として押し出された水分が無秩序な高分子の断片によって捕捉され、組織を膨潤させる。5日間調理では、筋繊維がゆるみ、構造が破壊され、測定の際、レオメーターのプランジャーに対する抵抗力が弱まった。圧縮により繊維が解け、緩く結合した分子内の水が押し出されてかたさ値の低下につながった。逆に結着性がみられた7日間の調理後、水はこれらの隙間を「埋め」、水素結合によって組織のマクロ構造を強化し、かたさ値の上昇に影響を及ぼした。この水分の損失と、多汁性の低下が肉を乾燥させ、かたさ値の低下につながったと結論づけることができる。

## 3 タンパク質の分解

アクチンとミオグロビンについて65°Cで調理された牛肉では7日目以降も検出されたが、70°Cで調理された豚肉では5日目までにかかなり分解が進

んでいた。ミオシンの分解は牛肉、豚肉とも3日以降分解が開始されたと推察される。これらの傾向は調理時間と関連して、各タンパク質のそれぞれの変性温度に起因すると思われる。

## 第二項 官能評価に及ぼす影響

牛肉調理温度 65°Cの物性として、物性測定値「かたさ」と官能検査結果「強靭さ」の相関を検討したところ、ほぼ同様の傾向を示し、5日目の牛肉は3日目より軟らかいと評価された。

5日間調理の牛肉は、すべての時間条件で最も軟らかいとされ、多汁感、香り、脂っこさで他の調理時間よりも有意に高く評価され、パネルが最も主観的に好むとされた。水分が組織と結合して噛み続けたときに徐々ににじみでるような状態にあることを多汁性に富んでいるという<sup>81)</sup>。水分含量と関係があると推察されるが、多汁性が最も高い5日間調理は水分含有量が1日、3日、7日と比較して有意に低かった。この矛盾はコラーゲンのゼラチン化による肉の軟化の促進と、それに伴う離水により肉の相対的な脂質含有量が増加したため脂っこさと多汁性を強く感じたという推測で説明できる。また、牛肉に対する食の満足さは、軟らかさが許容範囲に達している場合では「香り」が重要な因子である<sup>84)</sup>。特に消費者の好ましさは、脂肪の風味と深く関係しているという説がある<sup>84)</sup>。今回の結果はこの仮定を裏付けている。牛肉の試料を軟らかく脂っこいものと認識したパネルが、その香りに反応し、香りを強く感じ最も好まれた。牛肉調理温度 65°Cはかたさ、多汁性、脂っこさ、香り間に強い相互関係を示唆しており、好ましさに影響を与えると考えられる。色に関しては、有意差が見られなかったが、肉の色調に影響を及ぼすミオグロビンの変性温度以下での調理であったためと考えられる。

3日目の豚肉調理温度 70°Cは、1日目の豚肉よりも、多汁感が高いと評価されたが、時間の経過とともに低下し、かたさと同様の傾向を示した。実際の機器測定によるかたさ値は、時間経過してもほとんど変化しなかった。このことから、かたさ感覚は多汁感と水分含有量に影響を受けると思われた。つまり、多汁感、水分含有量の高いものが軟らかいと感じられる傾向にあると考えられた。色は3日目と比較して5日目、7日目とも暗いとされた。これは電気泳動においてミオグロビンが3日目では検出されたが5日目、7日目では検出されなかったことと一致する。ミオグロビンの変性は牛肉調理温度 65°Cよりわずかに 5°C高い 70°C調理温度のため、牛肉に比べて豚肉で強化された可能性があり、灰褐色のメトミオクロモゲンへの変化レベルが高くなったためと考えられる<sup>80)</sup>。豚すね肉は総合評価では5日目と7日目が3日目よりも有意に低かった。以上のことから、好まれる豚すね肉の重要な特徴は、多汁性があり色の明るいものであることを示唆している。総合的に豚すね肉の最適調理条件は温度条件 70°C、時間条件はコラーゲン変性を 3日以内の状態に抑えたものと考えられる。

食肉の長時間調理の場合、筋繊維が破壊されて乾燥しやすくなりパサつきの問題が出てくることがわかった。この解決策として、肉汁の効果的な利用が考えられる。真空低温長時間加熱によりタンパク質の一部が低分子化して肉汁に溶出する。この中にはうま味ペプチドが存在する可能性もあり<sup>87)</sup>この肉汁をともに食べる調理工夫が加わるとより応用性が高まると期待される。

衛生面での安全も重要となる。真空調理を行う温度は普通調理に比べて低く、素材の取り扱いによっては細菌の繁殖温度と近い温度帯を長く保つ可能性もあり、加熱条件と素材及び環境の衛生管理には慎重な姿勢が必要である<sup>70)</sup>。真空加熱調理は加熱処理温度と時間の管理 (TT 管理)、中心温度の適正

な確保に留意することが重要である<sup>49)</sup>。今回は生の肉を真空パックしたが、より衛生面での効果を上げるために、真空パック前に表面汚染菌を殺菌する目的で表面を焼くとよいと思われた。

## 第五節 小括

真空低温調理による食肉への長時間加熱が及ぼす影響を検討することを目的とした。牛すね肉，豚すね肉について，55，60，65，70，75°Cで，1，3，5，7日間調理したものを試料とし，かたさ，水分含有量の測定，タンパク質の電気泳動，官能評価を実施した。

すべての調理温度条件で時間経過とともに軟らかくなった。55°C～75°Cの低温長時間調理における肉の軟化機序はタンパク質変性，特にコラーゲンのゼラチン化の影響を強く受けると考えられる。60°C以上の調理では，温度よりも時間の影響を強く受け，時間の経過とともにゼラチン化が進み長時間であるほど軟化した。しかしこの反応には限界があることがわかった。牛すね肉調理温度55，60，65°Cでは5日から7日にかけて硬くなった。牛すね肉では5日目，豚すね肉では3日目の調理条件下で最も軟らかい値があった。牛肉，豚肉ともに65～75°Cの調理温度で調理時間のコントロールにより嚥下調整食の物性基準を満たし，「形状を維持したまま軟化する介護食の調製」に応用できることが示唆された。その際，肉種や部位などに応じた軟化のピークに適応した温度×時間条件で調理することが重要である。

### 第三章 真空低温調理による植物性食品の調製

#### 低温長時間処理が真空調理したリンゴの物理化学および 官能特性に及ぼす影響

##### 第一節 緒言

真空調理は、真空状態という閉じた系内で食材の芯温を従来の加熱調理の基本温度 100℃より低温の 58℃～95℃の範囲で加熱する調理法であり、水溶性成分の流出が少なく食品成分の熱変化が緩慢である特徴を有し、特有のテクスチャーや風味が発現されると考えられている<sup>85)86)</sup>。

植物性食品では真空調理に向くメニューの代表的なものとして果物のコンポートがあげられている<sup>86)</sup>。真空調理法による果物のコンポートにはリンゴが最も多く用いられ、通常の調理法で作製したものと比較して高評価を得ている<sup>87)-89)</sup>。

我が国において、リンゴは果物では生産・消費量が第2位で、健康保持・増進に寄与する、と広く認識され<sup>90)</sup>、主として生で摂取されている。一方で、剥くのが面倒である、咀嚼力が低い人にとってはかたく摂取しにくいとも言われており<sup>91)</sup>、消費ニーズに合致した加工法が望まれている<sup>92)93)</sup>。

真空調理において、おいしさの向上及び適切な衛生管理のためには、食材の細胞構造や成分の特徴に応じた調理条件、すなわち加熱温度と時間（TT条件）が重要となる<sup>71)</sup>。真空調理によるリンゴコンポート調製の研究報告は複数あるが、調理条件は 95℃30 分程度の TT 条件がほとんどであり<sup>85)86)88)89)</sup>、75℃2 時間<sup>90)</sup>より低温長時間の報告は見当たらない。リンゴを真空調理することで、生や通常調理の加熱温度帯では得られない食感やおいしさを得ることができ、温度時間条件を調節することで異なる食感や見た目に



仕上げる事が可能であると考えた。また、急速な高齢社会の進行に伴い咀嚼力の低い人が増加しており、リンゴコンポートに求めるかたさを始めとする要素は、ライフステージ等によって異なり、今後ますます多様化が進むと推察した。そこで、既報の調理温度と時間帯を拡大し、真空調理したリンゴの温度時間条件による影響を整理することは、期待する様々な仕上がりのニーズに適した最適条件の設定を可能にし、マニュアル化の一助となると思われた。

以上のことをふまえ、本研究は、真空調理によるリンゴへの長時間加熱が物理化学および官能特性に及ぼす影響を検討することを目的とした。

## 第二節 方法

### 第一項 材料および試料調製

#### 1 食材料および調理に用いた調味料

食材料としてサンふじ（青森県産）を市場から購入し、調味料として市販のグラニュー糖、褐変制御剤として L-アスコルビン酸およびクエン酸を用いた。

#### 2 試料の作製

シロップはグラニュー糖を用いて 30%濃度で、リンゴに対して 50%重量作製した。リンゴは中性洗剤で洗浄し流水で十分すすぎ洗いをした後、0.02%次亜塩素酸ナトリウム溶液（東昭化学株式会社、殺菌・漂白剤 6%バイゲンラックス）に 5 分間浸漬して殺菌した。殺菌後、ゴム手袋を装着して剥皮し、くし形に 8 等分して芯を除き、前処理として 10 g/L L-アスコルビン酸と 2g/L クエン酸の混液に 30 分間浸漬した<sup>94)</sup>。その後、リンゴとシロップを真空パックに入れ、真空保存フードシーラー（アイリスオーヤマ株式

会社、VPF-385T)で真空処理を行った。真空パック後、振とう恒温槽(タイテック株式会社、パーソナル-11 SD)で温度設定は60, 70, 80, 90°C、時間設定は1時間, 12時間, 24時間, 48時間のTT条件で加熱調理した。調理終了後、流水冷却した。

## 第二項 物理化学的特性の測定

### 1 物性

調理したリンゴを厚さ1.2cmの扇形に成形し、食品包装用ラップフィルムを用いて乾燥を防止しながら、クールインキュベーター(電子冷熱恒温装置クールインキュベーターCN-40A:三菱電機エンジニアリング製)で中心温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ を確認後、30分静置したものを測定試料とした。

試料の物理的性質であるかたさは、静的物性測定機器であるレオメーター(CR-500DX-SII:(株)サン科学)を用い、1項目について3試料を測定した。測定方法は日本介護食協会自主規格「ユニバーサルデザインフード自主規格」<sup>79)</sup>に示された試験法で行った。すなわち、直径3mmのプランジャーを用いて直線運動により圧縮貫入速度10mm/sでクリアランスを試料の厚さの30%として測定した。この測定で得られたTPA(Texture Profile Analysis: 時間(距離)ー荷重(応力))曲線から、「かたさ」を算定した。測定は3回行い、値の平均値を測定値とした。

### 2 色調

色彩色差計(コニカミノルタ株式会社, CR-13)を用いて、くし形に8等分に切断して真空調理した試料の切断面表面のL値(明度), a値およびb値(色相)を測定した。

### 3 糖度

シロップを除いた試料を破碎し、その溶液を糖度計（株式会社アタゴ、PAL-J）で測定した。

### 4 pH

シロップを除いた試料を破碎し、その溶液を pH メーター（株式会社堀場製作所、B-71X）で測定した。

## 第三項 官能評価

試料は、物性測定の結果より、時間による物性変化が顕著に認められた調理温度条件 70°C について、それぞれ調理時間 1, 12, 24, 48 時間の 4 段階のものを用いた。

提供方法は、くし形に 8 等分に切断して真空調理した一切れを物性測定の試料と同様に厚さ 1.2 cm の扇形に切断したものを提供した。

調理時間 1 時間を基準とし、かたさ、甘さ、酸味、香り、色、総合評価の 6 項目について、特性の評価として、かたさは、-3 非常に軟らかい、-2 軟らかい、-1 やや軟らかい、0 ふつう、+1 やや硬い、+2 硬い、+3 非常に硬い、の 7 段階の評点法（両極 7 点尺度法）で実施した。かたさ以外の項目についても、かたさと同様に、甘さ、酸味、香り（-3 非常に弱い～+3 非常に強い）、色（-3 非常に暗い～+3 非常に明るい）とした。嗜好評価として、総合評価（-3 非常に嫌い～+3 非常に好みとする）で実施した。さらに嗜好について、最も好みとするものを選択する欄と、自由表記の欄を設定した。パネルは、研究の主旨と手順の説明を十分に行い、同意を得た栄養士・管理栄養士養成校の学生 18～23 歳の男女 66 名とし、東北生活文化大学研究倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号 29 - 第 11 号）。

#### 第四項 統計解析

物性、色調、糖度、pH の測定結果については、BellCurve for Excel(version 2.15)を用いて統計解析を行った。異なる温度と時間条件それぞれの各区分間の平均値の差の検定は、二元配置分散分析後、Tukey-Kramer 法により多重比較検定を実施し判定した。官能評価結果については Kaleida Graph を用いて統計解析を行った。異なる時間条件による各区分間の平均値の差の検定は、一元配置分散分析後、Tukey-Kramer 法により多重比較検定を実施し判定した。

### 第三節 結果

#### 第一項 物性（かたさ）

Table 3-1 に調理条件によるかたさの測定結果を示す。同一温度内における調理時間がかたさに及ぼす影響についてみると、60℃は有意差がみられなかった。70℃は有意に時間経過とともに軟らかくなる傾向がみられ最も長時間の 48 時間のかたさ値は  $1.36 \pm 0.36 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  だった。80℃は 1 時間から 12 時間にかけて有意に軟らかくなり、かたさ値は  $0.96 \pm 0.10 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  となったがそれ以降は変化がみられなかった。90℃は 12 時間で  $1.06 \pm 0.21 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  となりそれ以降の調理時間では、有意差はなかったものの硬くなる傾向が見られた。最も低いかたさ値は  $1.0 \text{ N/m}^2$  程度であった。同一時間内における調理温度がかたさに及ぼす影響についてみると、12 時間までは温度が高いほど軟らかい傾向がみられたが、24 時間以降は 60℃と比較して 70℃以上で有意に軟らかかったが 70, 80, 90℃の温度間では有意差がみられなかった。

嚥下調整食コード 4 に対応する UDF 区分「容易にかめる」および「歯ぐきでつぶせる」かたさとして応用できる TT 条件があった。70℃で 12, 24,

48 時間, 80°Cで, 1, 12, 24, 48 時間, 90°Cで 1, 12, 24, 48 時間だった。

Table 3-1 Effects of the cooking conditions on hardness of the apple compotes ( $\times 10^5 \text{N/m}^2$ )

	Heating time				
	1 hour	12 hour	24 hour	48 hour	
Temperature	60°C	8.01 ± 1.10 <sup>a,A</sup>	7.65 ± 1.93 <sup>a,A</sup>	8.11 ± 0.85 <sup>a,A</sup>	5.26 ± 1.11 <sup>a,A</sup>
	70°C	6.67 ± 1.55 <sup>a,AB</sup>	4.73 ± 1.42 <sup>a,B</sup>	2.50 ± 0.30 <sup>b,B</sup>	1.36 ± 0.36 <sup>b,B</sup>
	80°C	4.85 ± 1.13 <sup>a,B</sup>	0.96 ± 0.10 <sup>b,C</sup>	1.26 ± 0.31 <sup>b,B</sup>	1.13 ± 0.21 <sup>b,B</sup>
	90°C	1.44 ± 0.25 <sup>b,C</sup>	1.06 ± 0.21 <sup>b,C</sup>	1.90 ± 0.56 <sup>b,B</sup>	2.53 ± 0.50 <sup>a,B</sup>

(n = 3)

a, b, c, Different letters within the same row show significant difference at  $p < 0.05$

A, B, C, Different letters within the same column show significant difference at  $p < 0.05$

## 第二項 色調

Fig.3-1 に調理条件による外観を示す。Table 3-2 に調理条件による色調の測定結果を示す。L 値（明度）について、同一温度内における調理時間が明度に及ぼす影響をみると、60°Cは有意差がみられず、70°C以上で時間経過とともに低下する傾向がみられた。同一時間内における調理温度が明度に及ぼす影響をみると、1, 12 時間は 80°C以下では有意差がみられず、80°Cと比較して 90°Cが低くなったが、24, 48 時間で調理温度が高いほど有意に低くなった。このことから L 値（明度）は 24 時間 70°C以上で時間が長いほど温度が高いほど低下したといえる。

a 値（赤系：緑－赤）について、同一温度内における調理時間が a 値に及ぼす影響をみると、60°Cは変化が見られず、70°C以上で温度が高いほど早く有意に上昇する傾向がみられたが、90°Cで有意差はないものの 48 時間で低下傾向がみられた。同一時間内における調理温度が a 値に及ぼす影響をみると、24 時間調理までは温度が高いほど時間が長いほど高い傾向だったが、48 時間では 80°Cのほうが 90°Cより有意に高かった。

b 値（黄系：青－黄）について、同一温度内における調理時間が黄系に及ぼす影響をみると、70, 80℃は変化がなかったが、24 時間から 48 時間にかけて 60℃は上昇、90℃では低下が有意にみられた。同一時間内における調理温度が黄味に及ぼす影響をみるとほとんど有意差はみられず、48 時間のみ 90℃が他の温度と比較して低かった。



Fig. 3-1. Effects of the cooking conditions on appearance of the apple compotes

Table3-2 Effects of the cooking conditions on color of the apple compotes

		Heating time				
		1 hour	12 hour	24 hour	48 hour	
Temperature	L Value (brightness)	60°C	66.7±1.8 <sup>a, A</sup>	62.8±2.3 <sup>a, A</sup>	61.9±2.8 <sup>a, A</sup>	62.5±3.2 <sup>a, A</sup>
		70°C	70.2±0.6 <sup>a, A</sup>	58.3±2.9 <sup>b, A</sup>	54.2±0.6 <sup>b, B</sup>	45.0±4.4 <sup>c, B</sup>
		80°C	67.2±2.0 <sup>a, A</sup>	57.8±2.5 <sup>b, A</sup>	44.1±1.4 <sup>c, C</sup>	36.1±3.1 <sup>d, C</sup>
		90°C	58.4±4.3 <sup>a, B</sup>	45.7±1.9 <sup>b, B</sup>	32.6±3.7 <sup>c, D</sup>	22.1±2.2 <sup>d, D</sup>
	a Value (red-green)	60°C	1.3±0.7 <sup>a, C</sup>	2.0±0.1 <sup>a, B</sup>	1.5±0.4 <sup>a, C</sup>	1.8±1.0 <sup>a, D</sup>
		70°C	1.7±0.1 <sup>b, BC</sup>	1.5±0.2 <sup>b, B</sup>	0.4±0.1 <sup>b, C</sup>	4.4±1.7 <sup>a, C</sup>
		80°C	2.8±0.2 <sup>c, AB</sup>	1.4±0.2 <sup>d, B</sup>	5.9±0.6 <sup>b, B</sup>	10.6±0.1 <sup>a, A</sup>
		90°C	2.5±0.1 <sup>c, A</sup>	7.0±0.7 <sup>b, A</sup>	10.0±1.1 <sup>ab, A</sup>	8.2±2.4 <sup>a, B</sup>
	b Value (yellow-blue)	60°C	26.2±3.0 <sup>a, A</sup>	26.6±1.6 <sup>a, A</sup>	17.4±2.8 <sup>b, A</sup>	24.1±5.1 <sup>a, A</sup>
		70°C	20.6±1.0 <sup>a, A</sup>	22.3±1.7 <sup>a, A</sup>	22.8±1.2 <sup>a, A</sup>	18.8±0.4 <sup>a, A</sup>
		80°C	20.5±1.2 <sup>a, A</sup>	22.0±2.1 <sup>a, A</sup>	21.2±1.3 <sup>a, A</sup>	21.8±1.7 <sup>a, A</sup>
		90°C	21.7±6.0 <sup>a, A</sup>	24.5±1.2 <sup>a, A</sup>	19.3±1.6 <sup>a, A</sup>	11.3±3.8 <sup>b, B</sup>

(n=3)

a, b, c, Different letters within the same row show significant difference at  $p<0.05$

A, B, C, Different letters within the same column show significant difference at  $p<0.05$

### 第三項 糖度

Table 3-3 に調理条件による糖度の測定結果を示す。試料の糖度は 16.0～20.8%を示した。同一温度内における調理時間が糖度に及ぼす影響をみると、60°C, 70°Cでは 12 時間から 24 時間にかけて上昇したが、24 時間から 48 時間にかけて低下した。80°C, 90°Cでは 1 時間から 12 時間にかけて上昇したが 12 時間以降は有意差がみられなかった。同一時間内における調理時間が糖度に及ぼす影響をみると、1 時間、48 時間では 80°C以上、12 時間では 70°C以上、24 時間では全ての温度条件間で有意差がみられなかった。

Table 3-3 Effects of the cooking conditions on sweetness of the apple compotes (%)

		Heating time			
		1 hour	12 hour	24 hour	48 hour
Temperature	60°C	16.6±0.2 <sup>bc, B</sup>	17.4±0.1 <sup>b, B</sup>	20.1±0.0 <sup>a, A</sup>	16.0±1.8 <sup>c, C</sup>
	70°C	17.9±0.3 <sup>b, B</sup>	18.8±0.6 <sup>b, A</sup>	20.4±0.7 <sup>a, A</sup>	18.6±0.4 <sup>b, B</sup>
	80°C	18.4±0.4 <sup>b, A</sup>	19.6±0.3 <sup>ab, A</sup>	19.9±0.1 <sup>a, A</sup>	20.3±0.3 <sup>a, A</sup>
	90°C	18.5±0.1 <sup>b, A</sup>	20.0±1.0 <sup>a, A</sup>	20.8±0.3 <sup>a, A</sup>	19.6±0.3 <sup>a, AB</sup>

(n=3)

a, b, c, Different letters within the same row show significant difference at  $p<0.05$

A, B, C, Different letters within the same column show significant difference at  $p<0.05$

## 第四項 pH

Table 3-4 に調理条件による pH の測定結果を示す。試料の pH が 3.3～3.9 の範囲内を示し、同一温度内における時間条件間、同一時間内における温度条件間に有意差はみられなかった。

Table 3-4 Effects of the cooking conditions on pH of the apple compotes

		Heating time			
		1 hour	12 hour	24 hour	48 hour
Temperature	60°C	3.5±0.1	3.8±0.1	3.5±0.2	3.6±0.1
	70°C	3.5±0.2	3.6±0.2	3.6±0.1	3.6±0.2
	80°C	3.6±0.2	3.7±0.2	3.6±0.2	3.5±0.2
	90°C	3.5±0.1	3.7±0.2	3.6±0.2	3.5±0.2

(n = 3)

a, b, c, Different letters within the same row show significant difference at  $p < 0.05$

A, B, C, Different letters within the same column show significant difference at  $p < 0.05$

## 第五項 官能評価

Fig.3-2 に温度条件 70°C で、時間条件 1 時間、12 時間、24 時間、48 時間で調理したリンゴコンポートの官能評価の結果を示す。調理時間 1 時間を基準値 0 として、-3～+3 点の 7 段階評点法で評価した。

1 時間のサンプルを基準とした場合、かたさは時間経過とともに有意に軟らかいと評価され、物性測定の結果と同じ傾向だった。甘さは、時間経過とともに甘いとされる傾向が見られ 12 時間、24 時間と比較して 48 時間が有意に甘いと評価された。機器測定による糖度値は 24 時間が 12 時間、48 時間と比較して有意に高かった。酸味は時間経過とともに酸味が弱いとされる傾向がみられ、12 時間と比較して 24 時間、48 時間が有意に弱いと評価された。pH 測定では有意差は見られなかった。香りについて有意差は見られなかった。色調は時間経過とともに暗いとされる傾向が見られ、12 時間と比較して 24 時間、48 時間が有意に暗いと評価された。機器測定による L 値



の結果と同じ傾向だった。総合評価は、時間経過とともに好ましくないとされる傾向がみられ、1時間と比較して48時間が有意に評価が低かった。最も好みのものは、1、12、48、24時間の順だった。客観的評価（機器測定結果）と同じ傾向を示したのはかたさと色調で、異なる傾向を示したのは甘さと酸味だった。

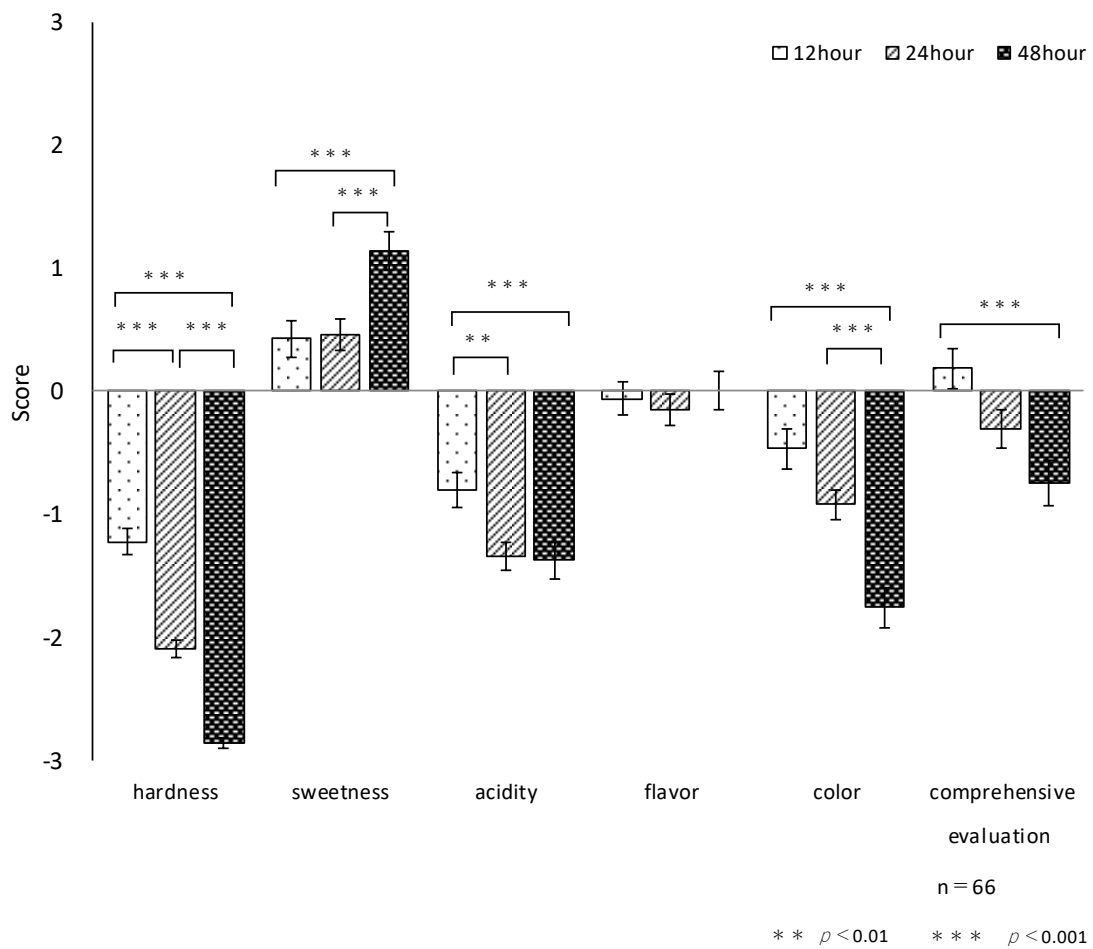


Fig.3-2. Sensory evaluation of the apple compotes

#### 第四節 考察

##### 第一項 物理化学に及ぼす影響

果実類の軟化は、細胞間の接着維持の役割をしているペクチン質と、細胞の形や強度に関するセルロース、ヘミセルロースの量的、質的な変化による<sup>95)</sup>。果実類の真空調理温度はセルロースが破壊される温度帯の 90~95°C が適切であるとされ<sup>78)96)</sup>リンゴコンポートについてはこの温度帯での報告がほとんどである。真空加熱調理によるかたさの仕上がりには、細胞膜中層部のほぼ全体を占めているペクチン質が分解および溶解することで細胞間の結合が失われ軟化する機序が重要である。また、リンゴは、いも類、根菜類、果実類で見られる 55~70°C の温度帯でのペクチンメチルエステラーゼ (PME) による組織硬化が起こらない<sup>95)97)</sup>。以上のことから、リンゴコンポートの真空調理は低温域からの軟化が予測された。そこで、温度条件は、60, 70, 80, 90°C の低温域から、時間条件は 1, 12, 24, 48 時間の長時間までを設定し真空調理を行った。調理温度が高いほどペクチンの分解が早く進行し、かたさ値が減少する傾向が見られたが、80, 90°C では 12 時間で、ある一定のかたさ値  $1 \times 10^5 \text{N/m}^2$  程度になるとそれ以上減少せず、逆に最も高い温度の 90°C では増加した。これは、ペクチンの分解には限界があり、軟らかさの限度に達した後は、拡散作用によりリンゴから水分が流出し体積が減少したため凝縮した状態になり、測定結果としてかたさ値が増加したのではないかと推察された。60°C はかたさの変化は見られなかったため軟らかくするための温度条件として不適と考える。70°C は本研究の設定最長時間 48 時間まで継続して時間経過とともにかたさ値の低下がみられた。以上のことから、真空低温長時間調理において時間経過におけるかたさの変化が最も大きかったことからリンゴの物性変化に依存する温度は 70°C であり、長時間調理に有効な温度条件ではないかと考えられる。

ペクチン質の分解に影響を及ぼす因子として、加熱温度の他、pH、塩類等があげられている<sup>98)</sup>。ペクチン質は中性・アルカリ性では $\beta$ -脱離、酸性では加水分解される<sup>97)</sup>。リンゴはリンゴ酸等の影響で全ての試料がpH4未満と酸性であったことから、ペクチン質が加水分解により軟化したと思われる<sup>99)</sup>。また、シロップ材料がグラニュー糖と水の場合のリンゴのpHは概ね4.1<sup>86)</sup>であるが、クエン酸とL-アスコルビン酸の添加によりpHが低下しpH3.3~3.9の範囲を示したと考えられる。植物性食品がpH4で煮た場合が最も軟化しにくいこと<sup>100)</sup>を合わせて考えると、これらの有機酸の添加は酵素的褐変の防止効果だけでなく、軟化にも寄与したと考えられる。さらに、この範囲のpHは食中毒菌の増殖可能な最低pH以下であり、低pHほど抗菌力は強くなる<sup>101)102)</sup>ため、衛生面においても食中毒防止効果が向上する手法と思われた。試料間で有意差が見られなかったことからpHに温度時間条件はほとんど影響しないことがわかった。

すべての試料が長時間加熱でも形状を保っていたのは、温度設定が細胞の形や強度に関するセルロースの破壊開始温度 $92^{\circ}\text{C}$ <sup>98)</sup>以下であったことと、食材を攪拌しない真空包装での調製であったことからセルロースが完全に破壊されていなかったためと思われ、煮崩れしない仕上がりの手法として真空低温長時間調理の有用性を確認した。

色調について、明度(L値)が時間経過、温度の上昇とともに低くなったこと、赤味(a値)が $80^{\circ}\text{C}$ 以上で時間経過とともに高い傾向を示したことから、色調は調理時間温度条件の影響を強く受け、時間経過、温度の上昇に伴って褐変が進行すると考えられる。また、Fig.3-2に調理条件による外観を示すが、目視変化からも同様の傾向が観察された。変化、褐変化の原因として、ポリフェノール類からポリフェノールオキシダーゼ(PPO)によるキノンへの酵素的酸化に続く色素形成過程のメラノイジンへの重合等の酵素的

褐変<sup>103)</sup>と、酵素が関与せずカルボニル基を有する化合物とアミノ基を有する化合物との成分間反応によりメラノイジンが形成される非酵素的褐変メイラード反応<sup>104)</sup>がある。加熱によりアスコルビン酸の消失とPPOの失活が起きた場合はメイラード反応による褐変が考えられるが、緩やかな加熱であること、PPOの失活温度は60°C~70°C程度<sup>94)</sup>、果物の種類によって異なる<sup>105)</sup>など様々な説があることから、単一の反応だけではないと推測される。徐々に加熱した初期の褐変化ではPPOによる酵素的褐変の影響が大きく、長時間加熱による経時的な褐変化は、メイラード反応による影響が大きかったのではないかと考えられる。各調理条件における変化が酵素的褐変か、非酵素的褐変か、もしくはその両方の反応かということに関しては更なる検討が必要である。いずれにおいても、加熱は褐変現象を進行させ、メイラード反応は温度が高いほど早く着色するという報告<sup>106)</sup>と同じ傾向の結果が得られ、時間経過とともにさらに進行することがわかった。

糖度について、生リンゴの糖量は11~14%<sup>107)</sup>であり、本研究の調理条件、すなわちシロップ濃度30%、60~90°C、1~48時間におけるリンゴの糖度は16.0~20.8%であった。調理条件によって明確な傾向がみられなかったことから、調理温度および調理時間の影響ではなく、リンゴとシロップ間の濃度勾配によるものではないかと考えられる。すなわち、シロップの糖濃度がリンゴ中の糖濃度より高いため拡散作用が働き、シロップ中の遊離糖がリンゴ中へ浸透し、かつリンゴの水分が引き出され、リンゴ内外の糖度が同程度になるまで内外相互の拡散による移動を繰り返し、徐々に内部の糖度が高まったのではないかと考えられる。

## 第二項 官能評価に及ぼす影響

物性測定と色調測定の結果より、時間条件の違いでかたさや色に特に変化がみられた調理温度条件 70°Cが最適条件であると考え、70°C調理条件試料で官能評価を実施したところ、官能評価と機器分析による客観評価の傾向が一致した項目はかたさと色（明度）で、異なる傾向の項目は甘さ（糖度）と酸味（pH）だった。かたさは時間の経過とともに軟らかくなり、色調は時間経過とともに暗いと評価された。甘さは24時間と48時間で官能評価と糖度で逆の結果となった。官能評価では48時間の方が24時間より甘いと評価されたが糖度測定では24時間の方が48時間より糖度が高かった。酸味は、pH測定では有意差がなかったが官能評価では時間の経過とともに酸味が弱くなったと評価された。官能評価と客観評価が異なった理由として、甘さと酸味の感じ方はかたさと色の影響を受けると考えられる。つまり、味の感じ方は、食感や外観の影響を受けると考えられる。メイラード反応は色だけでなく香り成分も生成されるといわれているが今回の評価は香りに有意差がなかった。総合評価が時間経過とともに低下したこと、好みの試料が同じ傾向にあったことから、リンゴコンポートはかたさがあり色が明るいもの、すなわち短時間調理のものが好まれる傾向にあると考えられた。また、この傾向は若年者においてリンゴは軟らかすぎないものが好まれたという報告と類似の結果となり、官能評価の対象が若年層であったことが大きく影響していると思われた。以上のことからリンゴの加熱調理における長時間調理はあまり好まれない傾向にあり、70°C調理では12時間以下の加熱調理が好まれる最適調理条件であると考えられる。

一方で、リンゴの真空調理において、かたさと色の反応機構が異なることから加熱時間・温度条件によりそれぞれの反応速度が異なることを利用して、長時間加熱することによって、かたさと色をコントロールできることがわか

った。調理条件によるかたさと色調の関係をまとめたものを Fig.3-3 に示す。温度別にみると、60℃調理では色は明るく、かたさはかたいものに仕上がりに、70℃調理では色はやや明るく、かたさは軟らかいものからかたいものまで幅広く作ることができ、80℃ではかたさは比較的軟らかく色は明るいものから暗いものまで幅広く作ることができ、90℃では色は比較的暗く、軟らかいものを作ることができると考えられる。時間別にみると、かたさは軟らかいものからかたいものまで作ることができ、色は48時間調理を除いて同じ調理時間では類似した色に仕上げることができると考えられる。以上のことを参考に仕上がりのニーズに適した調製法のマニュアル化ができる可能性がある。たとえば、今回の官能評価対象者のかたくて明るいものの仕上がりのニーズには、70℃であれば12時間以下のものが調理条件として適す。離乳期や高齢期等、咀嚼力が弱い対象者の仕上がりのニーズには、やわらかいものが望まれ、UDF 自主規格<sup>79)</sup>区分1の容易にかめるかたさの基準 $5 \times 10^5 \text{N/m}^2$ 以下を満たすものとして、70℃では12時間以上、80、90℃では1時間以上の調理条件が適している。色については、褐変が望ましくない場合が多くあるが、褐変にともなって食品の品質形成にプラスになる点も多くある。メイラード反応で生成する褐色高分子(メラノイジン)は、活性酸素消去作用や食物繊維様の働きがある<sup>104)</sup>、ポリフェノール類にリンゴ果肉の酵素を作用させて褐変させると抗酸化力を増強することが明確になった<sup>103)</sup>など、いくつかの機能性も報告されている。そのため、つくりあげる目的に応じて褐変反応を調整することが必要になると思われた。

低温長時間加熱という特性を生かし、温泉熱などの自然エネルギーや夜間電力等を利用することで、より実現の可能性が高まると思われる。また、リンゴの物性や褐変度は品種特性に依存するという報告<sup>108)109)</sup>もあるため今後はサンふじ以外の品種でも検討する必要がある。

以上のことから、真空調理は時間温度調整により異なるかたさおよび色に仕上げる事ができるため目的に応じて効果的に調製する手段として有用な手段と考えられる。

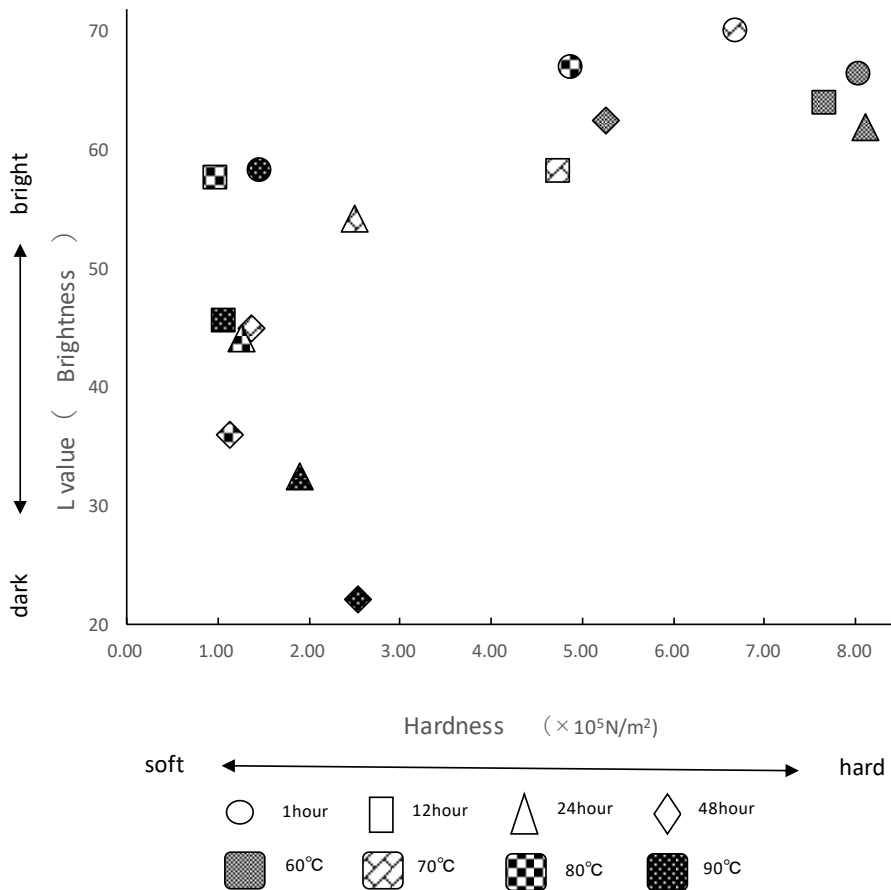


Fig. 3-3 Effects of the cooking conditions on hardness and color of the apple compotes

### 第五節 小括

真空調理によるリンゴへの長時間加熱が及ぼす影響を検討することを目的とし、調理温度 60, 70, 80, 90°C、調理時間 1, 12, 24, 48 時間調理した試料について、色調測定、物性測定、糖度測定、pH 測定、官能評価を実施した。調理時間 12 時間までは調理経過とともに調理温度が高いほど軟ら

かかった。リンゴの加熱による軟化はペクチンの分解の進行が強く関与する。しかし、ペクチンの分解には限界があることが示唆された。80℃、90℃では12時間以上の調理時間でかたさ値が低下しなかった。70℃が時間経過とともにかたさ値が低下したことから、物性変化に依存する温度であり、長時間調理に有効な温度条件と示唆された。温度設定が、細胞の形や強度に関するセルロースの破壊開始温度 92℃以下であったことと、食材を攪拌しない真空包装での調製であったことから煮崩れしない仕上がりになった。70~90℃の調理温度で調理時間のコントロールにより嚥下調整食の物性基準を満たし、「形状を維持したまま軟化する介護食の調製」に応用できることが示唆された。その際、時間経過に伴い明度が低下した。リンゴの長時間真空調理は、温度×時間条件調整により異なるかたさおよび色に仕上げることができると、目的に応じて効果的に調製する手段として有用であると考えられる。



## 第四章 増粘剤添加によるエスプーマ調製

### 豆乳および牛乳エスプーマへの増粘剤添加が物理的特性 および官能特性に及ぼす影響

#### 第一節 緒言

泡の構造を有する食品は、特有の軽いソフトな感触、食感を付与し、その物性や嗜好性などを大きく改変する<sup>110)</sup>。泡を発生させる手法としてイーストや化学膨張剤の化学反応によるもの、攪拌や送気の機械操作によるものがあるが、新しい手法として「エスプーマ」が開発されている<sup>52)53)</sup>。エスプーマは、スペイン語で「泡」を意味し、食材に気体を分散させる泡を形成する手法およびその料理をいう。専用のボトルに食材を入れ、高圧下でガスを注入することにより、食材中にガスを封入することができる。レバーを引いて減圧する際にガスと共に食材が膨張しノズルを通して発泡する。エスプーマに使用されるガスは、CO<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>Oの2種類で、CO<sub>2</sub>は食品の味は変化すが炭酸感を付与することや、使用許可なく入手が容易なことから、家庭などにおいても、広く使用および検討が可能である。N<sub>2</sub>Oは食品添加物として使用許可を受けた飲食店等が入手、使用できることからその範囲が狭いが、味等を損なわずに泡沫が得られ、我が国でも様々な料理に応用されている<sup>53)</sup>。

一方、我が国は超高齢社会の進行を背景に嚥下困難者が増加している<sup>5)111)</sup>。摂食機能に応じた食形態が必要とされ<sup>112)</sup>、日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類2021<sup>9)11)</sup>にまとめられ、病院、介護施設等で嚥下調整食として提供されている。その中で、中等度の嚥下障害に対応する嚥下調整食コード2の食形態は、ペースト状およびゼリー状のものとされている<sup>9)11)</sup>。そのため、食感のバリエーションが少なく、嗜好面での配慮が十分で

あるとは言えない<sup>111)</sup>。「口から食べること」は楽しみや生きがいの上から重要であり、QOLの維持・向上につながるものである<sup>113)114)</sup>。また、嚥下困難高齢者において、口腔機能の低下と低栄養は密接な関係があり<sup>115)116)</sup>、その予防と改善のためには十分なタンパク質摂取が重要とされている<sup>117)118)</sup>。

多くの食品のエスプーマは気泡の消滅が短時間に進行するため、エスプーマの調製および提供において、泡沫の安定が大きな課題である。溶液の粘性を高め、水を保持できる機能を有する物質を加えることにより、泡沫の安定性を向上できる可能性がある<sup>119)-121)</sup>。

エスプーマは、嚥下調整食に応用できると考えられており<sup>111)122)</sup>、泡沫ゲル<sup>123)</sup>、泡状米粥<sup>124)</sup>、泡状パン粥<sup>122)</sup>、泡状納豆<sup>111)</sup>、牛乳および発酵乳の調製<sup>125)</sup>等の報告がある。しかし、市販のテクスチャー改良剤に用いられているゼラチン、キサントガム、カラギーナン、グルコマンナンなどの増粘剤添加によるエスプーマの報告は見当たらない。

泡沫の安定性が高く嚥下調整食に適した物性を有したエスプーマの調製方法を検討することにより新しい食形態の嚥下調整食になり得ると考える。そこで本研究は、エスプーマへの増粘剤添加による物理的特性および官能特性に及ぼす影響を検討した。食材として、良質のタンパク質供給源であり、均質な液状であることから豆乳および牛乳を、封入ガスとして $N_2O$ 、 $CO_2$ を、増粘剤としてゼラチン、キサントガム、 $\iota$ -カラギーナンをそれぞれ用いた。

## 第二節 方法

### 第一項 材料および試料調製

#### 1 材料

食材として、豆乳（おいしい無調整豆乳、キッコーマン（株）；エネルギー

ー58kcal, タンパク質 4.1g, 脂質 3.7 g /100g), 牛乳 (明治おいしい牛乳, 明治 (株); エネルギー69kcal, タンパク質 3.4g, 脂質 3.9 g /100g), 増粘剤として, ゼラチン (粉ゼラチン, 富澤商店 (株)),  $\iota$ -カラギーナン (Genugel carrageenan type CJ, 三晶 (株)), キサンタンガム (Grindsted Xanthan J, 三晶 (株)) を用いた。豆乳および牛乳に注入するガスとして, 亜酸化窒素 ( $N_2O$ ) (食品添加物 亜酸化窒素, 住友精化 (株)), 二酸化炭素 ( $CO_2$ ) (ツイソソーダ, グリーンハウス (株)) を用いた。

## 2 豆乳および牛乳を用いた泡沫試料の調製

試料は, 豆乳および牛乳を以下のように調製した。600ml ビーカーに,  $20 \pm 2^\circ C$  の豆乳または牛乳 200ml を入れ, 増粘剤がダメにならないように, ガラス棒で攪拌しながら少量ずつ添加し 5 分間静置した。各増粘剤の添加濃度は, 予備実験から濃度範囲を設定した。すなわち, 豆乳および牛乳に溶解可能な濃度, および専用ボトルからエスプーマの注出が可能な濃度とし, ゼラチンは 2.0%,  $\iota$ -カラギーナンは 0.2%, キサンタンガムは 0.4% をそれぞれ上限に設定した。各増粘剤の溶解条件温度条件および食品衛生上の条件温度まで上昇するようにビーカー側部を断熱材 (スーパーウールテープ, アズワン (株)) で一重に巻き, 水分蒸発を防ぐために, 上部をポリエチレン製フィルムで上部を覆った。温度プローブ付きのホットスターラー (Magnetic Stirrer Rexim, アズワン (株)) を用いて徐々に加熱しながら  $80^\circ C$  になるまでおおよそ 20 分攪拌し, 増粘剤の溶解を確認後, 更に 1 分間攪拌を行った。次にそれを氷水が入ったボール中で, 攪拌しながら,  $20 \pm 2^\circ C$  まで温度を低下させ, ボトルに充填可能な流動状態にした。

エスプーマ泡沫は,  $N_2O$  および  $CO_2$  それぞれのエスプーマ専用ボトルを用いて作製した。 $N_2O$  を用いたエスプーマ泡沫 (以下  $N_2O$  エスプーマとす

る)は、エスプーマアドバンスディスペンサー(アドバンスディスペンサーM, 日本炭酸瓦斯(株))に泡沫作製用に調製した豆乳または牛乳 200 ml を入れ、蓋を閉めた後、 $N_2O$  を充填し、食材とガスを混合させるために、ボトルを上下に 10 回振った。食材にガスを十分に封入させるために  $20^{\circ}C$  で 3 時間静置後、ノズルを取り付け、抽出し試料とした。 $CO_2$  を用いたエスプーマ泡沫(以下  $CO_2$  エスプーマとする)は、エスプーマスパークリングディスペンサー(Espuma Sparkling-M, 日本炭酸瓦斯(株))に  $CO_2$  を充填し、 $N_2O$  エスプーマと同様の方法で作製したが、予備実験から、均一なエスプーマが得られるように、絞り出す前にボトルを上下に 10 回振る操作を加えた。

エスプーマ泡沫と比較するためのミキサーによる攪拌泡沫は、官能評価の試料となる 3 つのエスプーマの起泡性を参考に、泡沫作製用に調製した豆乳 200 ml をスタンドオートミキサー(Kitchen aid KSM150)を用いて、スピードモード 8 ( $180 \pm 10rpm$ ),  $20 \pm 2^{\circ}C$  で 1 分間攪拌し、試料とした。

## 第二項 物理的特性の測定

### 1 密度(起泡性)

エスプーマ泡沫の起泡性について、宮下ら<sup>126)</sup>の測定方法を参考に測定を行った。すなわち、専用ボトルから起泡直後の各試料 50.0g をメスシリンダー(200ml 容量, アズワン(株))に静かに注入し、体積を測定し、その値を質量で除して、各試料の密度とし起泡性の評価を行った。各試験それぞれ 3 回測定した。

### 2 分離液量割合(安定性)

エスプーマ泡沫の安定性について、宮下ら<sup>126)</sup>の測定方法を参考に測定を行った。すなわち、各試料 50.0g をメスシリンダー(アズワン(株))に注

入後、水分の蒸発を防ぐためにポリエチレン製フィルムで上部を覆い、30分経過までは5分毎、30分以降は10分毎、60分間泡沫上面および分離液上面を目視で測定した。測定時間を60分間としたのは、老人福祉施設等での食事調製終了後から食事終了までに要する時間が、配膳時間に、摂食者の疲労度や集中度を考慮した30～45分の食事時間<sup>127)128)</sup>を加えた60分間程度と推定されることからである。全体量(泡沫量+分離液量)と分離液量から、下記の式により、安定性の算出を行った。分離液量は各試験それぞれ3回測定した。

$$\text{安定性 (分離液量割合 (\%))} = \frac{\text{分離液量 (ml)}}{\text{全体量 (ml)} (\text{泡沫量 (ml)} + \text{分離液量 (ml)})} \times 100$$

### 3 pH

pHメーター (LAQUAtwin pH/ECメータ, アズワン(株))を用いて、豆乳、牛乳および各調製したボトルから絞り出した直後のエスプーマを試料とし、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ で各試験それぞれ3回測定した。

### 4 粘度

共軸二重円筒型回転粘度計 (DV-II + Pro, Brookfield(株))を用いて測定した。測定方法は日本介護食協会自主規格「ユニバーサルデザインフード自主規格」<sup>79)</sup>に示された試験法で行った。すなわち、豆乳、牛乳および各調製したボトルから絞り出した直後のエスプーマを試料とし、 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、12 rpmでローターを回転させ2分間後の示度を読み、その値に対応する係数を乗じて mPa·s で算定した。粘度は各試験それぞれ5回測定した。

## 5 テクスチャー特性

静的物性測定機器であるレオメーター(CR-500DX-S II, サン科学(株))を用いて測定した。測定方法は消費者庁特別用途食品制度「えん下困難者用食品許可基準」<sup>34)</sup>に示された試験法で行った。すなわち、直径 40 mm 高さ 15 mm 直径のステンレスシャーレに  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の試料を専用ボトルから静かに充填した直後、20 mm プランジャーを用いて直線運動により圧縮速度 10 mm/s、クリアランス 5 mm で 2 回圧縮測定し、得られた TPA 曲線より、かたさ、付着性、凝集性を測定した。テクスチャー特性は各試験それぞれ 5 回測定した。測定試料は各調製したエスプーマとした。

### 第三項 官能評価

#### 1 試料

牛乳に比して泡沫の安定性が高いとされる豆乳<sup>129)</sup>を用いた。基準試料は、一般的な泡立て法として従来から存在する攪拌法により調製した豆乳攪拌泡沫とした。基準試料と比較する試料は、増粘剤無添加の豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマ、および安定性の測定値が高かった 0.2% $\iota$ -カラギーナン添加の豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマの 3 種類とした。攪拌泡沫の調製およびエスプーマの抽出は極めて短時間で行うことが可能である。そこで、安定した試料を提供するために、官能検査開始直前に、評価会場から近い別室(隣室)で試料を作製し、透明のプラスチックコップに入れスプーンを添えて提供した。基準の豆乳攪拌泡沫はミキサーから大スプーンですくいにとって 80ml 入れた。エスプーマ試料は 50ml ずつエスプーマボトルから抽出して、試料とした。提供温度は室温と同じ 22°C とした。

## 2 方法

パネルは2つの年齢層で実施した。若年層は、栄養士・管理栄養士養成校の学生54名（男性7名、女性47名、平均年齢 $20.4 \pm 1.6$ 歳）を2部屋に分けて2回実施した。高年層は、摂食機能について、自力摂取が可能で、嚥下機能に障害がなく、日常生活動作について支援および介護を必要としない14名（男性5名、女性9名、平均年齢 $77.6 \pm 6.0$ 歳）とした。高齢者パネリストと記録者の各1名を1グループとし個別に聴取した。

方法は評点法（両極5点尺度法）を用いて分析型官能評価を行い、その後に嗜好型官能評価を行った。基準の豆乳攪拌泡沫に、3種類の試料を1種類ずつ組み合わせ、順序効果に配慮し順序をランダム化したものを、スプーンで一口量約5mlずつ試食してもらった。

分析型官能評価の質問項目では、攪拌泡沫を「基準」(どちらでもない(0))とし、「飲み込みやすさ」(飲み込みにくい(-2) ⇔ 飲み込みやすい(+2))、「べたつきやすさ」(べたつかない(-2) ⇔ べたつく(+2))、「香り」(弱い(-2) ⇔ 強い(+2))、「甘味」(甘くない(-2) ⇔ 甘い(+2))、「苦味」(苦くない(-2) ⇔ 苦い(+2))の5項目について識別してもらった。嗜好型官能評価の質問項目では、攪拌泡沫を基準(0)として、「総合評価(好ましくない(-2) ⇔ 好ましい(+2))」を評価してもらい、さらに最も好みだと思った試料を1つ選択する欄と、自由表記の欄を設定した。実施時間は午前10時から開始した。

官能評価の実施に際し、東北生活文化大学研究倫理委員会の承認を得て(承認番号30—第17号)、パネルに研究の主旨と手順の説明を十分に行い、同意を得た上で行った。

#### 第四項 統計解析

データの統計解析は、BellCurve for Excel (version 2.15) を用いた。増粘剤無添加の測定結果について、異なるガスと乳それぞれの各区分間の平均値の差の検定は、二元配置分散分析後、Tukey 法により多重比較検定を実施し判定した。増粘剤添加の測定結果について、一元配置分散分析後、Dunnett 法により多重比較検定を実施し判定した。官能評価結果について、異なる調製条件による各区分間の平均値の差の検定は、一元配置分散分析後、Tukey 法により多重比較検定を実施し判定した。

### 第三節 結果および考察

#### 第一項 豆乳エスプーマおよび牛乳エスプーマの特性

増粘剤を添加しない豆乳および牛乳のエスプーマによる特性について、密度（起泡性）および pH を Table 4-1 に示した。

##### 1 密度（起泡性）

密度が低いほど、起泡性は高いことを示している。ガスの異なる同一乳種試料の密度を比較すると、牛乳エスプーマは、CO<sub>2</sub>エスプーマが N<sub>2</sub>O エスプーマより有意に低く、起泡性が高かった。乳種の異なる同一ガス試料の密度を比較すると、CO<sub>2</sub>エスプーマでは、牛乳 CO<sub>2</sub>エスプーマの方が豆乳 CO<sub>2</sub>エスプーマと比較して、密度が低く、起泡性が高かった。これは、牛乳中のタンパク質含量やその種類の影響などが考えられる。カゼインは、水溶液中では 3 次構造を作らずにフレキシブルであることから、表面張力減少速度が速く<sup>130)</sup>、起泡力が高くなった要因の一つとして考えられる。



Table4-1 Physical properties of the soymilk and milk by espuma

sample	soymilk	soymilk N <sub>2</sub> O Espuma	soymilk CO <sub>2</sub> Espuma	milk	milk N <sub>2</sub> O Espuma	milk CO <sub>2</sub> Espuma
density (g/cm <sup>3</sup> )	1.01 ± 0.00 <sup>a,A</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>b,B</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	1.01 ± 0.0 <sup>a,A</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>b,A</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>c,B</sup>
pH	7.0 ± 0.0 <sup>a,A</sup>	7.0 ± 0.0 <sup>a,A</sup>	6.2 ± 0.1 <sup>b,A</sup>	7.0 ± 0.0 <sup>a,A</sup>	7.0 ± 0.0 <sup>a,A</sup>	6.3 ± 0.1 <sup>b,B</sup>

Mean ± standard deviation

a,b,c : Different letters within the same type of sample indicate significant difference at  $p < 0.05$

A,B : Different letters within the same gas indicate significant difference at  $p < 0.05$

(n=3 )

## 2 pH

豆乳、牛乳ともに  $N_2O$  エスプーマの pH では、変化がみられなかったが、 $CO_2$  エスプーマで低下した。ガスの異なる同一乳種試料の pH を比較すると、豆乳、牛乳ともに  $CO_2$  エスプーマのほうが  $NO_2$  エスプーマより低かった。 $CO_2$  ガスによる pH の低下は、 $CO_2$  エスプーマのタンパク質に関わる安定性などの物理的特性や酸味などの官能特性に影響を及ぼすと考えられる。

## 3 分離液量割合（安定性）

分離液量割合（安定性）の経時的变化を、豆乳エスプーマを Fig.4-1-1 に、牛乳エスプーマを Fig.4-1-2 に示す。分離液量割合が少ないほど安定性が高く、分離液量が 0 のときは分離が起こっていない安定な泡沫であることを示す。

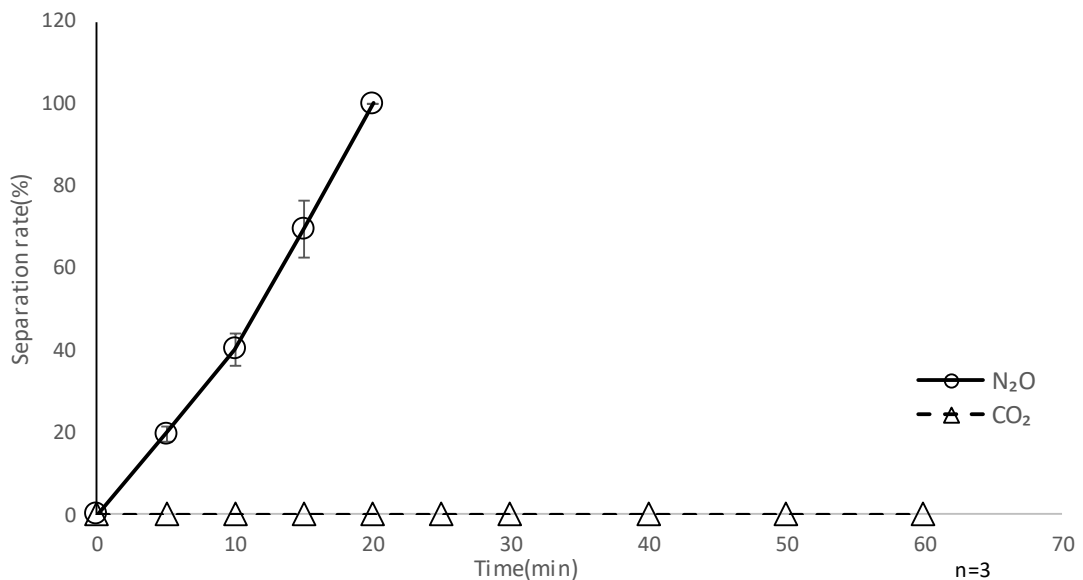


Fig.4-1-1 Separation rate of the soymilk espuma (no thickener)

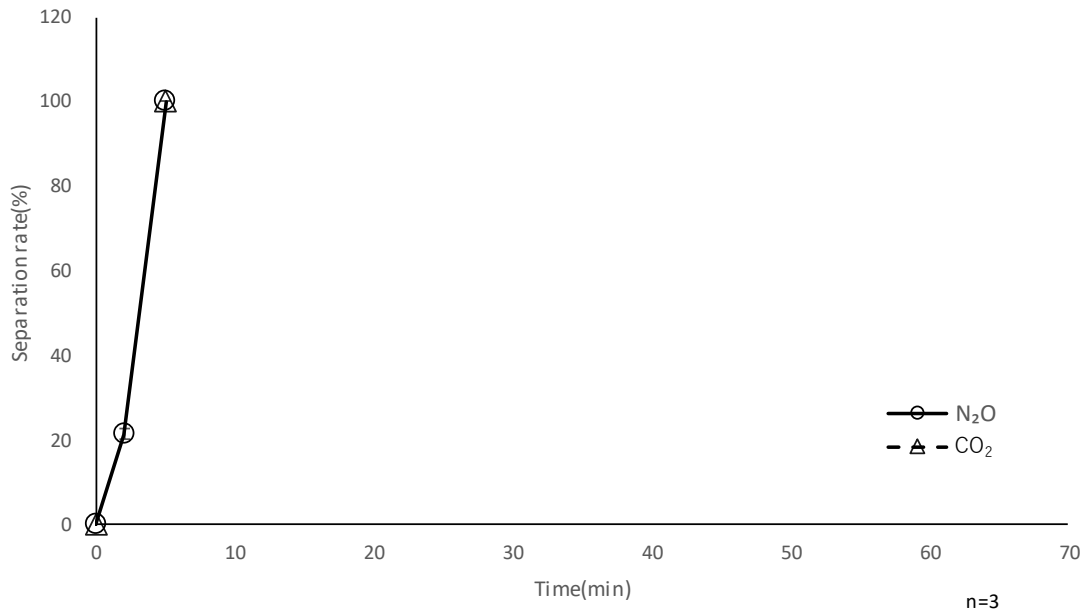


Fig.4-1-2 Separation rate of the milk espuma(no thickener)

増粘剤を添加していない豆乳エスプーマについて、ボトルから絞りだした豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマは、60 分間経過後も全く泡沫からの溶液の分離が見られず、安定なゲル化した泡沫状態であることがわかった。豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマは 20 分後にほとんど泡沫から溶液が分離した。牛乳エスプーマでは、牛乳 CO<sub>2</sub> エスプーマ、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマともに 5 分後に全て泡沫から溶液が分離した。牛乳エスプーマが豆乳エスプーマより泡沫からの溶液の分離が速い傾向がみられた。その要因として粘度や成分の影響が考えられる。泡沫の安定化は気泡同士の間で機械的強度の大きい膜を作り合わせるのを防ぐことで成立し<sup>119)</sup>、液体粘度が高ければ泡膜は安定する<sup>110)</sup>ことから、粘度の高い豆乳エスプーマは分離速度が遅く、牛乳エスプーマより安定性が高いといえる。また、豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマでゲル化したのは、泡沫の気液表面に吸着した大豆タンパク質分子が相互作用し、網目構造が形成される段階において、pH 低下により変性し、極性脂質のレシチンと結合し複合体ができた<sup>119)</sup>ことが、ゲル化を促進し安定した泡沫を形成した要因の一つとして考え

られる。

## 第二項 増粘剤添加が豆乳および牛乳エスプーマの物理的特性に及ぼす影響

安定性の向上を目的として、濃度の異なる3種類の増粘剤（ゼラチン、キサンタンガム、 $\iota$ -カラギーナン）を添加し、物理的特性に及ぼす影響について検討した。

### 1 粘度

Table 4-2 に牛乳、豆乳の増粘剤添加による粘度を示す。豆乳、牛乳ともに、各増粘剤添加により粘度が上昇した。

Table4-2 Viscosity of the soymilk and milk by adding thickener (mPa·s)

sample concentration	no thickener		gelatin		xanthan gum		l-carrageenan	
soymilk	3.2 ± 0.0	0.5%	1115.0 ± 119.7***	1.0%	2.0%	389.7 ± 22.3***	0.1%	0.05%
milk	2.2 ± 0.2	29.5 ± 2.3	141.7 ± 42.6***	141.7 ± 42.6***	895.5 ± 66.0***	28.3 ± 1.9	100.8 ± 6.8**	10.0 ± 2.3
			453.4 ± 9.0***	453.4 ± 9.0***	395.8 ± 8.8***	334.2 ± 42.2***	1101.8 ± 17.7***	444.2 ± 2.3***
								177.5 ± 7.6***
								1493.4 ± 71.0***

Mean ± standard deviation

\* Symbols indicate significance of difference compared with no thickener

\*  $p < 0.05$

\*\*  $p < 0.01$

\*\*\*  $p < 0.001$

( n=5)

## 2 密度（起泡性）

Table 4-3 に豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ，Table 4 に牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマの増粘剤添加による密度（起泡性），テクスチャー特性の結果を示す。豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマおよび牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど密度が高い傾向が見られ，起泡性が低かった。濃度が高いほど粘度が上昇し，ガスが入りにくくなるためだと考えられる。泡沫の形状は，密度が高いほど起泡性が低くもっちりとした泡沫となり，密度が低いほど起泡性が高くふわふわとした泡沫となった。起泡性は安定性と異なり高い方がよいと評価できるわけではなく，好みや食べやすさなど求められている理想的な泡沫を形成するために，安定性と組み合わせて増粘剤の種類や濃度をコントロールすることが重要であるといえる。

## 3 テクスチャー特性

豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ，牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマともに増粘剤の添加濃度が高いほど，かたさ，付着性が上昇する傾向がみられた。今回実験で行った増粘剤添加条件において嚥下調整食コード 2 に対応する，えん下困難者用食品許可基準Ⅲを満たすエスプーマが 2 つあった。それらは，0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ，2.0%ゼラチン添加牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマであった。これらのエスプーマは，食事調製から提供および摂食時間に要する想定時間の 60 分経過後も泡沫から溶液が分離せず安定性が高かったことから，嚥下調整食として応用できることが示唆された。

Table4-3 Physical properties of the soymilk N<sub>2</sub>O espuma by adding thickener

sample	no thickener	gelatin		xanthan gum		i-carrageenan				
		0.5%	1.0%	2.0%	0.1%	0.2%	0.4%	0.05%	0.10%	0.20%
concentration										
density (g/ml)	0.28±0.02	0.30±0.01	0.32±0.00	0.36±0.20**	0.34±0.00*	0.42±0.01***	0.50±0.03***	0.33±0.00	0.51±0.06***	0.33±0.02
hardness (N/m <sup>2</sup> )	114.8±3.1	145.6±6.8**	155.8±7.2***	221.4±22.7***	205.0±17.6***	168.0±12.8***	242.2±13.0***	139.6±6.1	262.0±7.3**	454.8±77.8***
adhesiveness(J/m <sup>3</sup> )	21.8±6.6	71.2±8.2***	76.6±7.5***	111.2±18.3***	116.2±11.9***	100.8±7.3***	154.8±13.5***	69.4±6.1	140.2±14.2***	260.8±83.2***
cohesiveness	0.65±0.17	0.65±0.17*	0.65±0.07*	0.85±0.11***	0.69±0.04***	0.81±0.11***	0.82±0.05***	0.59±0.09*	0.69±0.08***	0.74±0.02***
criteria for acceptability of foods		NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	III

Mean ± standard deviation NA:Not applicable  
 \* Symbols indicate significance of difference compared with no thickener \*p < 0.05 \*\* p < 0.01 \*\*\* p < 0.001  
 ( n=5 density n=3)

Table4-4 Physical properties of the milk N<sub>2</sub>O espuma by adding thickener

sample	no thickener	gelatin		xanthan gum		i-carrageenan				
		0.5%	1.0%	2.0%	0.1%	0.2%	0.4%	0.05%	0.10%	0.20%
concentration										
density (g/cm <sup>3</sup> )	0.32±0.01	0.28±0.00***	0.37±0.01***	0.41±0.01***	0.34±0.00**	0.42±0.01***	0.49±0.02***	0.35±0.01	0.44±0.01	0.58±0.10**
hardness (N/m <sup>2</sup> )	96.7±8.0	142.6±11.4	134.4±13.0	459.0±46.2***	103.6±5.2	142.8±9.3***	205.6±13.8***	115.5±4.1	196.8±11.9***	253.4±25.4***
adhesiveness(J/m <sup>3</sup> )	40.0±5.6	61.0±9.1	55.4±12.6	233.0±18.2***	46.0±5.4	68.4±17.4*	108.8±14.7***	53.8±5.6	106.6±9.9***	151.0±16.9***
cohesiveness	0.73±0.18	0.78±0.05	0.56±0.09	0.84±0.03	0.79±0.10	0.60±0.21	0.61±0.08	0.91±0.09	0.63±0.02	0.73±0.05
criteria for acceptability of foods		NA	NA	III	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Mean ± standard deviation NA:Not applicable  
 \* Symbols indicate significance of difference compared with no thickener \*p < 0.05 \*\* p < 0.01 \*\*\* p < 0.001  
 ( n=5 density n=3)

#### 4 分離液量（安定性）

分離液量割合（安定性）の経時的変化について、ゼラチン添加を Fig.4-2-1（豆乳）、Fig.4-2-2（牛乳）に、キサンタンガム添加を Fig.4-3-1（豆乳）、Fig.4-3-2（牛乳）に、 $\iota$ -カラギーナン添加を Fig.4-4-1（豆乳）、Fig.4-4-2（牛乳）にそれぞれの結果を示す。

豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマおよび牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマともに、全ての増粘剤で濃度が高いほど分離液量割合の増加が緩やかとなる傾向がみられ、泡沫の安定性が向上した。

ゼラチン添加について、2.0%添加で豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマとも 60 分間経過後も液体分離が見られず安定性が高かった。ほとんど液体が分離する時間を比較すると、0.5%添加では豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ 25 分、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ 5 分以内、1.0%添加では豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ 120 分（図には示していない）、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ 15 分時点で豆乳エスプーマの方が安定性が高い傾向にあった。

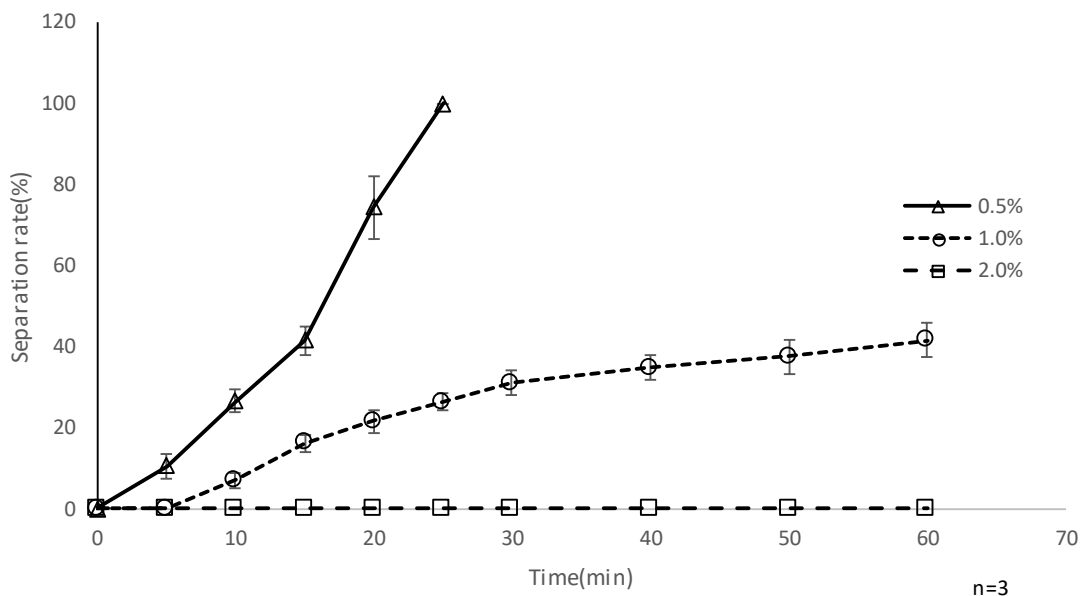


Fig.4-2-1 Separation rate of the soy milk N<sub>2</sub>O espuma by adding gelatin



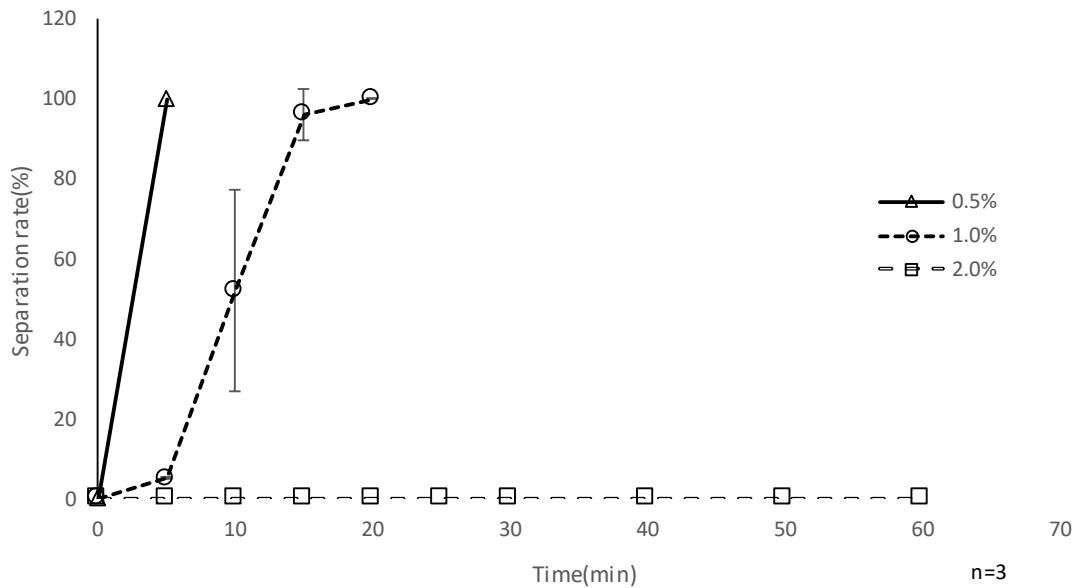


Fig.4-2-2 Separation rate of the milk N<sub>2</sub>O espuma by adding gelatin

キサントタンガム添加について、豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ間で同様な傾向がみられた。0.4%添加の豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマともに 60 分間経過後も液体分離がみられなかった。0.1%添加では豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマともに 5 分後から分離が開始し 50 分後にどちらもほとんど液体が分離した。キサントタンガムは、主鎖に対する側鎖の割合が大きく、マイナス荷電の多い長い側鎖が主鎖を包み固い棒状の剛直構造をなし<sup>55)</sup>、その分子同士が会合して形成した擬ゲル化状態のネットワーク中に水を保持できる空間をもつ<sup>55)</sup>。キサントタンガムを添加したエスプーマでは、添加濃度の増加に伴いネットワークが密になることで保水性が高くなり、試料の成分特性および物性よりも添加濃度による影響を強く受けると考えられる。

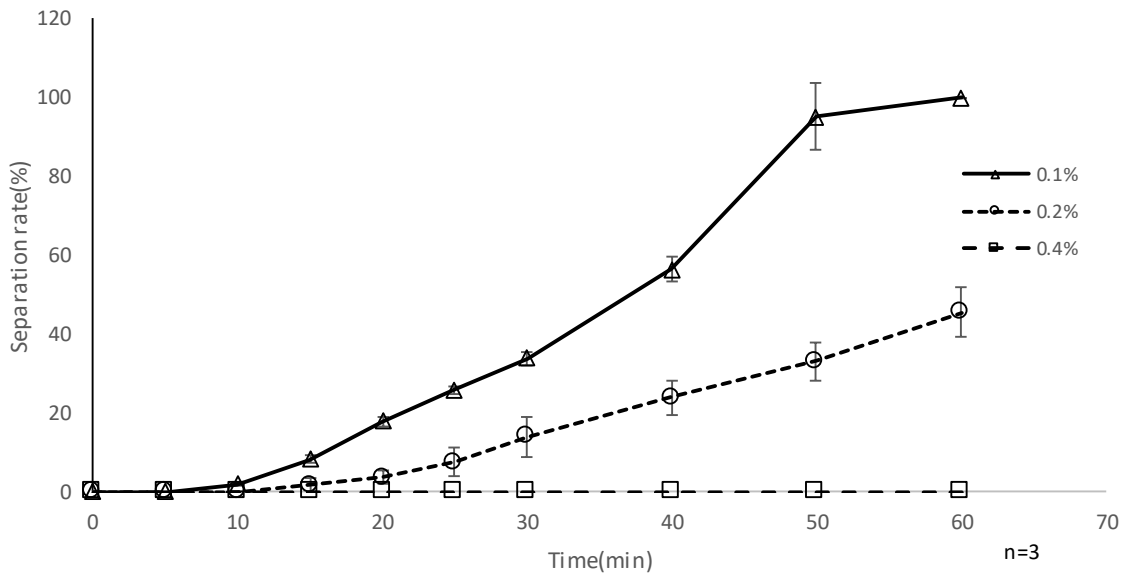


Fig.4-3-1 Separation rate of the soymilk N<sub>2</sub>O espuma by adding xanthan

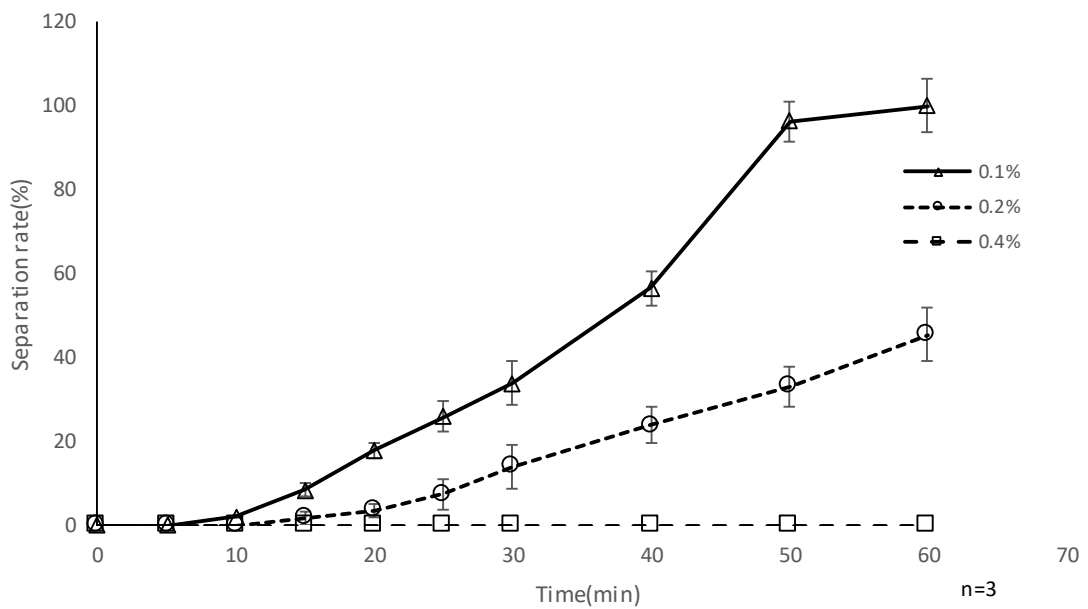


Fig.4-3-2 Separation rate of the milk N<sub>2</sub>O espuma by adding xanthan

L-カラギーナン添加について、0.1 および 0.2%添加の豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマは 60 分間経過後も液体分離が見られず、安定性が高かった。しかし、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ 0.05%添加で 20 分後、0.1%添加で 60 分後、0.2%添加で 70 分後（図に示していない）にほぼ全ての液体分離した。カラギーナンの特異的な特徴の一つにタンパク質との反応があり、基本構造の硫酸基が反応に関わっていると推定されている<sup>55)</sup>。特に L-カラギーナンは 3, 6-アンヒドロ  $\alpha$ -D-ガラクトース基の C-2 位部に硫酸基があるため、非常に保水性が高く離水の少ない弾力のあるゲルを形成する。このことより、豆乳は牛乳と比較して L-カラギーナンと反応できるタンパク質を多く有していたため低濃度でもタンパク質と反応しゲル化した可能性がある。L-カラギーナン添加による泡の安定性について、豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマでは高い効果が見られたが、牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマでは低いことがわかった。

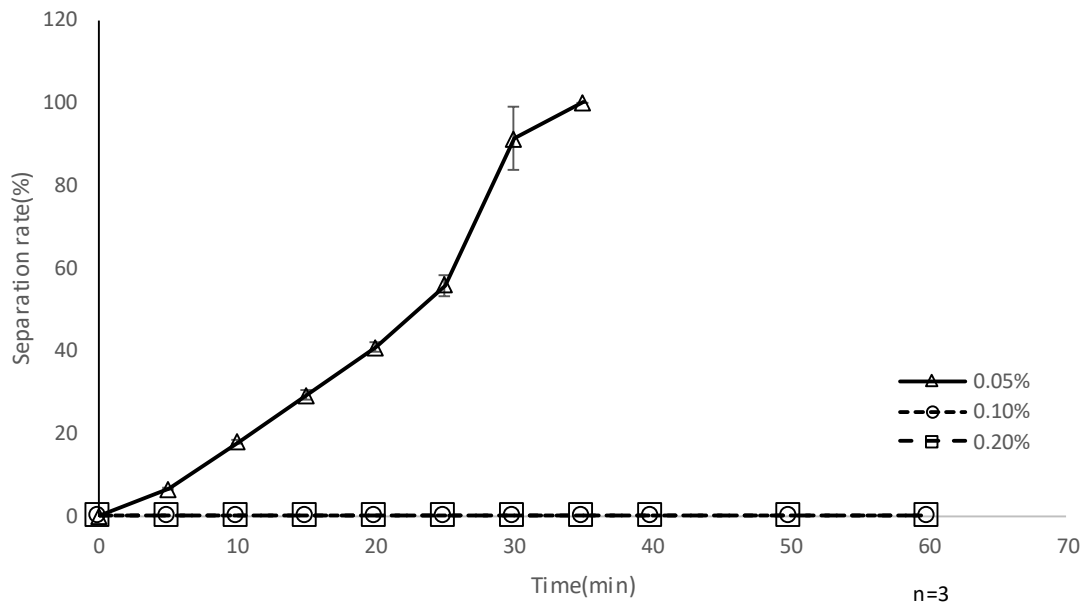


Fig.4-4-1 Separation rate of the soymilk N<sub>2</sub>O espuma by adding L-carrageenan

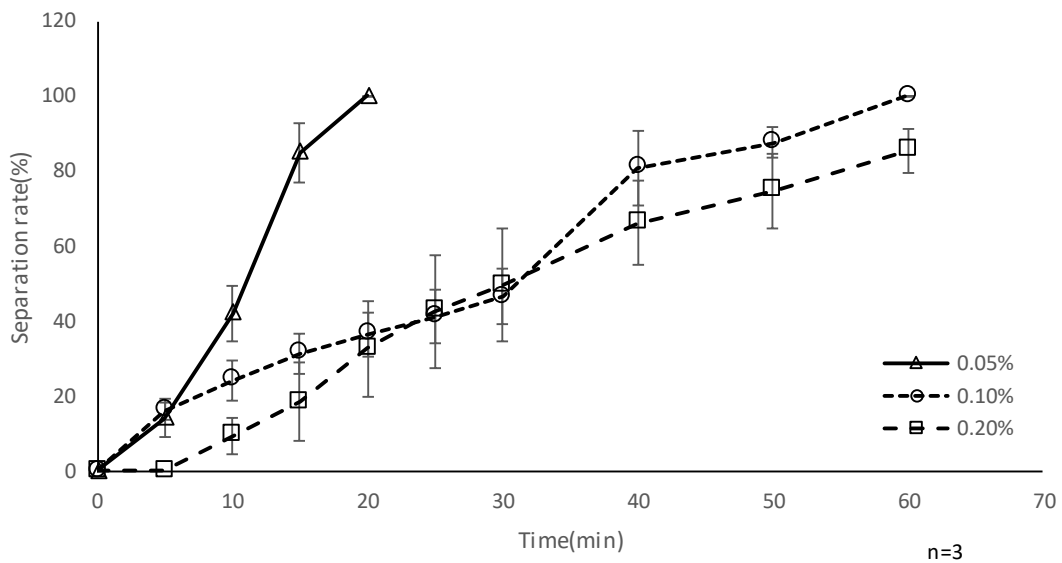


Fig.4-4-2 Separation rate of the milk N<sub>2</sub>O espuma by adding ι-carrageenan

本研究では豆乳および牛乳を実験試料に用いたが、食品成分と増粘剤成分の組み合わせ、および増粘剤の濃度により反応が異なり、最適な増粘剤が食品によって異なることが示唆された。また、60分間以上泡沫から溶液が分離せず、安定性が高いこれらのものは、嚥下調整食として応用できることも示唆された。

今回は  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  の検討であったが、食事は、熱いか冷たいかはっきりした温度、すなわち  $60^\circ\text{C}$  以上及び  $17^\circ\text{C}$  以下のものが、刺激強度が強く嚥下反射を誘発しやすい<sup>127) 128)</sup> ことから、嚥下調整食として望ましい温度帯での検討も今後必要である。泡沫状の食形態が嚥下調整食に加われば、食感のバリエーションが増え、嚥下困難者の「口から食べる」楽しみ、QOLの維持・向上に貢献できる。

## 第三項 若年層および高年層における豆乳エスプーマの官能評価

官能評価の結果を、Fig.4-5-1（若年層）および Fig.4-5-2（高年層）に示す。官能評価に用いた泡沫試料の物理的特性の値を Table 4-5 に示す。

若年層による分析型の官能評価では、豆乳攪拌泡沫を基準とした場合、飲み込みやすさは豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマと比較して豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマおよび 0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマの方が有意に飲み込みやすいと識別された。べたつきやすさは、0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマが最もべたつきやすく、以下 CO<sub>2</sub> エスプーマ、N<sub>2</sub>O エスプーマの順であり、付着性の傾向と一致した。香りは試料間に有意な差がみられなかった。香りは充填するガスの種類や調製する器具による影響は受けないと考えられる。甘味は、豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマと比較して、豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマが有意に甘いと識別された。N<sub>2</sub>O ガスは甘さを呈すると言われており<sup>131)</sup>、それを支持する結果が得られた。苦味は豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマが豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマおよび 0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマと比較して有意に苦いと識別された。苦味については CO<sub>2</sub> の豆乳への溶存や pH が低下したことが影響したと考えられる。その影響で豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマは味の抑制効果により甘味を感じにくくなったのではないかと考えられる。

若年層による嗜好型の官能評価における総合評価は、豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマと比較して豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマが有意に低かった。

最も好みのものを選択した試料では、0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマが 32 名と最も多かった。次いで豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ 20 名、豆乳攪拌泡沫 2 名、豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマ 0 名だった。豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマは

苦味が強いとされたエスプーマであり、苦味のあるものは好まれなかったといえる。総合評価と好みのサンプルの傾向が類似しており、味覚では甘味が好まれ、食感では粘度、かたさ、付着性がある程度高いものの方が好まれる傾向が見られた。泡の料理の特徴として、不安定なほど素早く口の中から消え、爽快さも考えられる。増粘剤を添加すると安定にはなるが、ベタつくことで評価が下がることも予想された。しかし、今回の濃度で増粘剤を添加した付着性  $200\sim 300 \text{ J/m}^3$  程度のものが好まれる傾向があることがわかった。また、増粘剤の添加量を増量することにより、より安定性の高い泡沫を調製することは可能である。いっぽうで、かなり口中に残留することも考えられ、適切な増粘剤の添加量の使用が嗜好性にとって重要であるといえる。

高年層での分析型の官能評価では、豆乳攪拌泡沫を基準とした場合、飲み込みやすさは豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマが  $0.2\%$   $\iota$ -カラギーナン添加豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマおよび豆乳  $\text{CO}_2$  エスプーマと比較して飲み込みやすいと識別された。物理的特性の値でかたさ、付着性が最も低い豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマが、飲み込みやすいと識別された。べたつきやすさ、香り、甘味について有意な差は見られなかった。苦味は豆乳  $\text{CO}_2$  エスプーマが豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマおよび  $0.2\%$   $\iota$ -カラギーナン添加豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマと比較して有意に苦いと識別された。飲み込みやすさ、苦味は若年層と似た傾向がみられた。

高年層での嗜好型官能評価における総合評価は、豆乳  $\text{CO}_2$  エスプーマと比較して、豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマおよび  $0.2\%$   $\iota$ -カラギーナン添加豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマが有意に高く、若年層と同様の傾向が見られた。最も好みのものを選択について、豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマが7名と最も多く、次いで  $0.2\%$   $\iota$ -カラギーナン添加豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマが4名、豆乳  $\text{CO}_2$  エスプーマ3名、攪拌泡沫が0名であった。豆乳  $\text{N}_2\text{O}$  エスプーマが多かった理由として自由記述から、普段慣れ親しんでいる豆乳に最も近い状態であることなどが推測され

た。

若年層と高年層を比較すると、若年者では好まれなかった豆乳 CO<sub>2</sub> エスプーマを好みと回答したパネルもあり、味覚について、若年層と高年層で好みや味の感じ方が異なる可能性も考えられた。本研究では嚥下調整食への応用も検討しており、本来であれば高年層では嚥下困難者をパネルとして官能評価を実施すべきところであるが、実施の難しさもあり、今回、支援や介護を必要としない一般の高齢者をパネルとして実施した。若年層と高年層で同様な結果が得られたため、嚥下困難者の嗜好においても参考になるのではないかと考えられる。

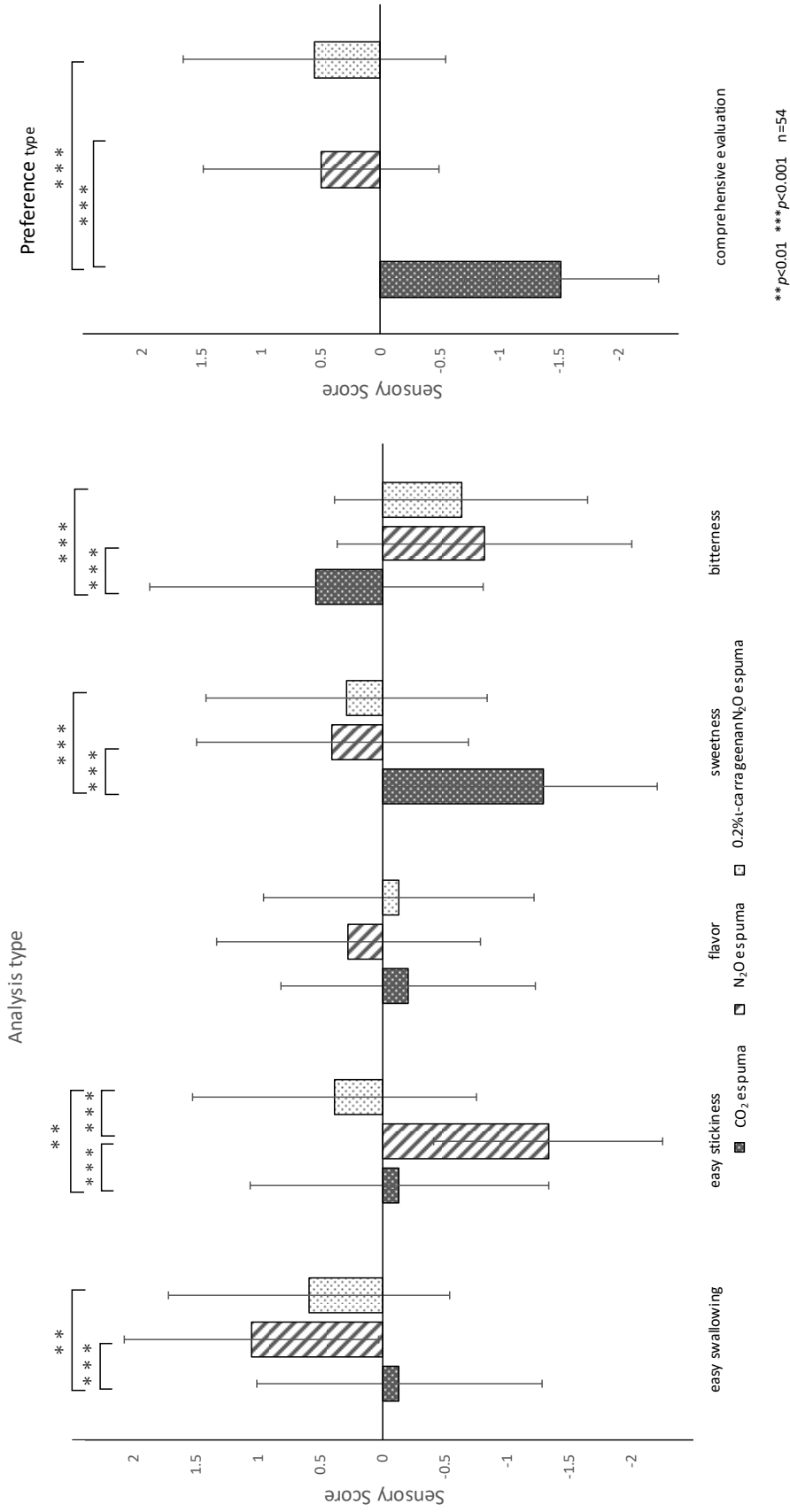
Table4-5 Physical properties of the sensory evaluation sample

	stirred soymilk	soymilk N <sub>2</sub> O Espuma	soymilk CO <sub>2</sub> Espuma	soymilk N <sub>2</sub> O Espuma with 0.2% <sub>1</sub> -carrageenan added
hardness (N/m <sup>2</sup> )	167.2 ± 35.9	114.8 ± 3.1*	229.2 ± 18.4	454.8 ± 77.8***
adhesiveness(J/m <sup>3</sup> )	98.6 ± 17.2	21.8 ± 6.6*	139.4 ± 4.6	260.8 ± 83.2***
cohesiveness	0.49 ± 0.09	0.45 ± 0.14	0.62 ± 0.04	0.74 ± 0.02***
Mean ± standard deviation				( n=5 )

\* Symbols indicate significance of difference compared with stirred soymilk

\*  $p < 0.05$     \*\*\*  $p < 0.001$





The value evaluated with the foam with agitated soy milk as 0 is shown in the figure.

Reference sample is the stirred soy milk.

Fig.4-5-1 Sensory evaluation of the soy milk espuma (Youth)

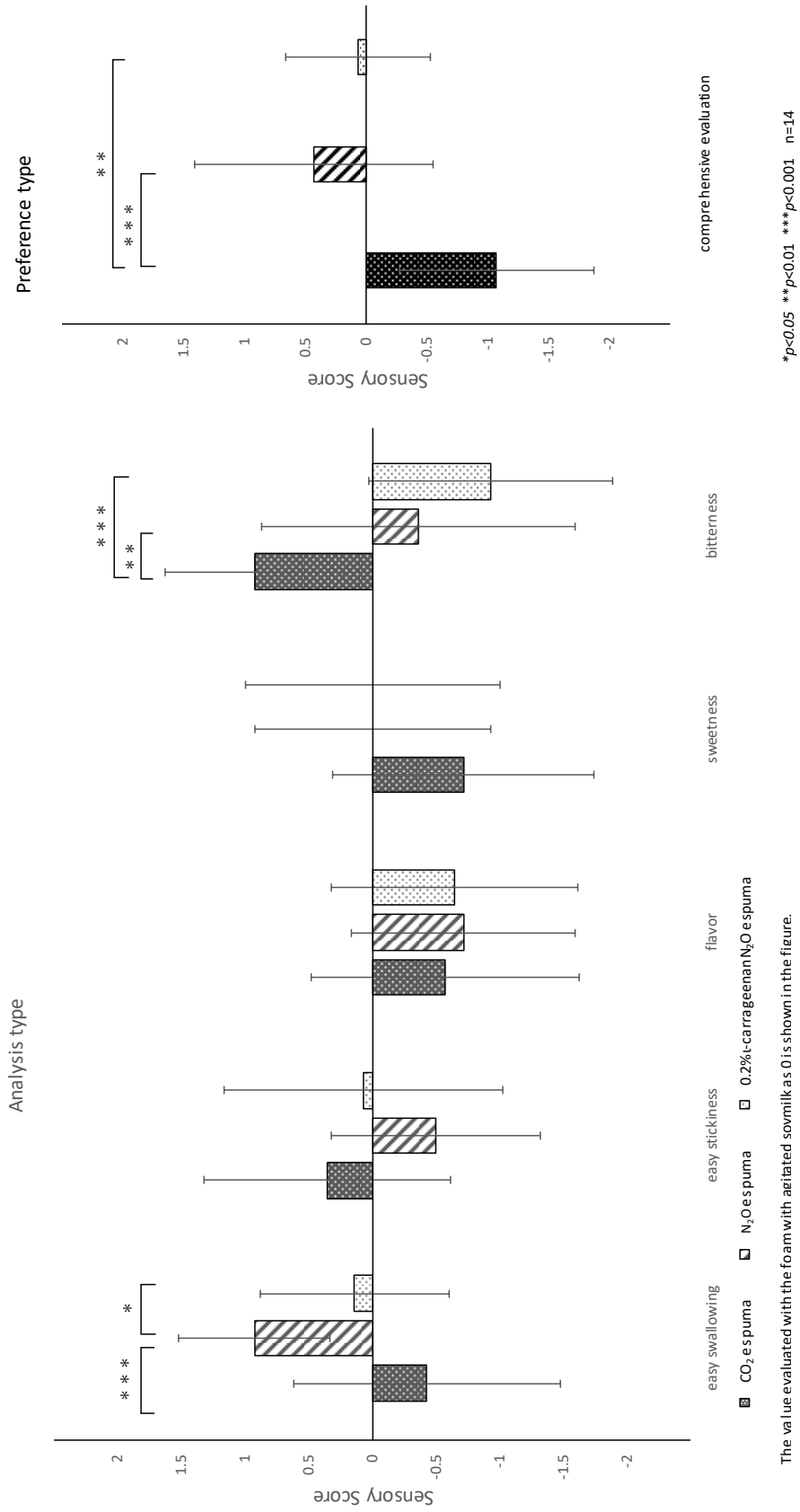


Fig.4-5-2 Sensory evaluation of the soy milk espuma (Elderly)

## 第四節 小括

豆乳および牛乳を用いて、各種増粘剤（ゼラチン、キサンタンガム、 $\iota$ -カラギーナン）添加によるエスプーマの起泡安定性を中心とした物理的特性、および若年層、高年層による官能特性を検討した。起泡性は、豆乳  $N_2O$  エスプーマおよび牛乳  $N_2O$  エスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど起泡性が低下する傾向がみられた。泡沫の安定性は、豆乳  $N_2O$  エスプーマおよび牛乳  $N_2O$  エスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど増加した。食材によって、安定性の向上に適した増粘剤の種類や濃度が異なることが示唆された。嚥下調整食コード 2 の食品物性を示したエスプーマは、2.0%ゼラチン添加牛乳  $N_2O$  エスプーマ、0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳  $N_2O$  エスプーマであった。若年層、高年層による官能評価の結果豆乳  $N_2O$  エスプーマは有意に飲み込みやすいと識別され、豆乳  $CO_2$  エスプーマは苦いと識別された。0.2% $\iota$ -カラギーナン添加豆乳  $N_2O$  エスプーマは若年層において、最もべたつきやすいと識別された。増粘剤を添加した豆乳および牛乳エスプーマは、嚥下調整食の物性基準を満たし、介護食の新しい食形態として期待される。その際、増粘剤の種類や濃度条件を調整することが重要である。

## 第五章 エスプーマによる介護食の炭酸化

### エスプーマによる介護食への炭酸付与が及ぼす影響

#### 第一節 緒言

炭酸刺激を感じるメカニズムとして、食品の水溶液中の水と二酸化炭素が舌上に存在する炭酸脱水酵素により炭酸に変えられ、炭酸の弱酸性による科学的刺激と、炭酸から生じる気泡および破裂が舌上で生じる物理的刺激が炭酸刺激として認知されると考えられている<sup>132) 133)</sup>。

炭酸飲料は水と比較し、健常者の舌圧が上昇した<sup>134) 135)</sup>、嚥下障害患者の咽頭収縮量が増大し、UES（食道入口部括約筋）開大時間が延長した<sup>136)</sup>、嚥下障害患者の誤嚥が減少した<sup>137)</sup>、認知症の方の咽頭通過時間が短縮した<sup>138)</sup>、高齢者の舌骨上筋活動時間が延長した<sup>139)</sup>等の嚥下改善効果が報告されている。しかし、食事に炭酸刺激を付与して摂取した研究はまだ報告されていない。炭酸が含まれているものは大半が液体であり、固体に炭酸が含まれている食品は少ない現状にある。エスプーマによって固体食品に炭酸を付与することは可能である。炭酸水（液体）と同様に、炭酸刺激を付与した介護食にも嚥下改善効果を有する可能性があると考えた。また、炭酸化食品は新規性を感じさせ、介護食の新しいバリエーションにもなり、嗜好性へ働きかけ、おいしさの向上につながる可能性もあると考えた。そこで、エスプーマを用いて介護食の主食である粥および介護用ゼリーに炭酸付与を試み、炭酸刺激を有する固形食品が嚥下反射におよぼす影響を測定するための基礎データの収集を行うことを目的とした。

## 第二節 方法

### 第一項 材料および試料調製

#### 1 材料

食材として、精白米，ゼリー食品テクスチャー改良剤として，ソフティア Tes Cup（ニュートリー株式会社），嚥下造影剤として，バリトゲン HD（伏見製薬株式会社），粥に注入するガスとして，二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）（ツイスパソーダ，グリーンハウス株式会社）を用いた。

#### 2 試料の調製

試料は，粥，ゼリー，バリウム入りゼリーを以下のように調製した。バリウム入りゼリーは，嚥下評価の一方法の VF 食（嚥下造影検査食）を想定した。

粥は，全粥，五部粥，ペースト粥の三種類を調製した。全粥は精白米 100g に水 500ml を加え炊飯器で調製した。五分粥は精白米 50g に水 500ml を加え炊飯器で調製した。ペースト粥は精白米 100g に水 500ml を加え炊飯器で作製した全粥をブレンダーで 2 分間攪拌して均一化させて調製した。炭酸粥は各種粥 30g をファルコンチューブに入れた後，エスプーマスパークリングディスペンサー（Espuma Sparkling-M, 日本炭酸瓦斯株式会社）に入れ，CO<sub>2</sub>を充填し，1 時間，2 時間，3 時間，冷蔵庫に静置した。一定時間後，ボトル内を脱気し中身を取り出し，試料とした。

ゼリーは，ソフティア TesCup（ニュートリー株式会社）3.0g に，水を 125ml 加え，ミキサーにより攪拌した。その後，ファルコンチューブに 30g 分注し，室温にて 1 時間静置しゼリー状に作製した。炭酸ゼリーはゼリーを，エスプーマスパークリングディスペンサーに入れ，CO<sub>2</sub>を充填し，1 時間，2 時間，3 時間 冷蔵庫に静置した。一定時間後，ボトル内を脱気し中

身を取り出し、試料とした。

バリウム入りゼリーは、嚥下造影の検査法に準じて、30%バリウム液を作製した<sup>140)</sup>。バリトゲン HD（伏見製薬株式会社）300 g に水 100ml を加えて攪拌により溶解し、180%濃度のバリウム溶液を作製した。この 180%バリウム溶液 5ml に、水 25ml を加えて 30%バリウム溶液を作製した。ファルコンチューブにバリトゲン HD 9g, ソフティア TesCup 0.66g を加え、水を 30ml までメスアップし、攪拌した。その後、室温にて 1 時間静置しゼリー状に固め作製した。炭酸バリウム入りゼリーは、エスプーマスパークリングディスペンサーに入れ、CO<sub>2</sub>を充填し、1 時間、2 時間、3 時間、冷蔵庫に静置した。一定時間後、ボトル内を脱気し中身を取り出し、試料とした。

## 第二項 pH

CO<sub>2</sub>は圧力により液体に溶解し、その溶け込んだ炭酸が口腔内に入った時に炭酸刺激として現れることが考えられている。そのため、固形食品の場合もボトルの中でかけられた圧力により、食品内の水分に CO<sub>2</sub>が溶解し、炭酸刺激として食味を行ったときに感じられると考えられる。CO<sub>2</sub>の含有量が pH に反映されることから pH の測定を行った。

pH メーター（LAQUAtwin pH/EC メータ、アズワン株式会社）を用いて、一定時間後、容器内を脱気し、ボトルから取り出した試料について、5 分ごとに 60 分間 20±2°C で各試験それぞれ 3 回 pH 測定を行った。3 回の値の平均値を測定値とした。

## 第三項 食味

炭酸刺激がどの程度付与されたかについての参考資料とするために、粥、ゼリーの食味を研究者が実施した。一口量 4 g の試料をスプーンですくい、舌

先に置き、舌と口蓋で押しつぶし、10秒後に飲み込んで炭酸感の程度を予備的に検討した。

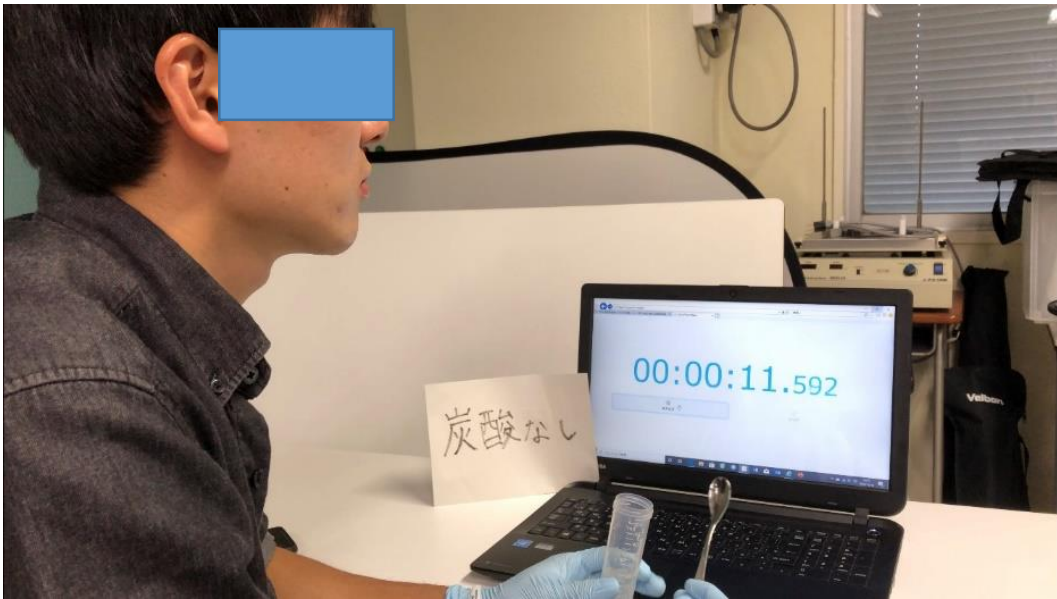
#### 第四項 官能評価

##### 1 試料

pH測定試料と同様の方法で作製したゼリーと炭酸入りゼリー2種類を用いた。ファルコンチューブに充填したゼリー30gにスプーンを添えた。提供温度は室温と同じ22°Cとした。

##### 2 方法

パネルは宮城県内の大学学生5名(21~24歳)で実施した。方法はフードテスト(F T:Food Test)に準じて実施した。すなわち、背もたれのない椅子に壁面と並行に背をまっすぐに深くすわり、足は床に対して90度にし、足の裏は床にきちんとつける。顎は引き気味にし、4横指(首に親指以外の4本指が横に入る状態)に固定する。一口量4gをスプーンですくい、摂取してもらった。被験者には机の上に置いてあるストップウォッチが見えるように着席してもらい、試料が入った容器およびスプーンを手にしてもらった。被験者自らストップウォッチのスタートを押してもらい、ストップウォッチが6秒経過後、試料を舌先に置き、舌と口蓋で押しつぶし、10秒後に飲み込んでもらうように指示した。その様子をビデオカメラで撮影し、摂取後に動画から嚥下運動にかかる時間を測定した。撮影した動画より、飲み込み開始から喉頭隆起が上がりきるまでの時間を算出し、嚥下運動にかかる時間を評価した。さらに、被験者の嚥下運動の状態を知るために空嚥下にかかる時間も測定を行った。



### 第三節 結果および考察

#### 第一項 pH および食味

##### 1 粥

エスプーマにより、炭酸化させた pH の変化について、全粥を Fig.5-1、五分粥を Fig.5-2、ペースト粥を Fig.5-3 に示す。

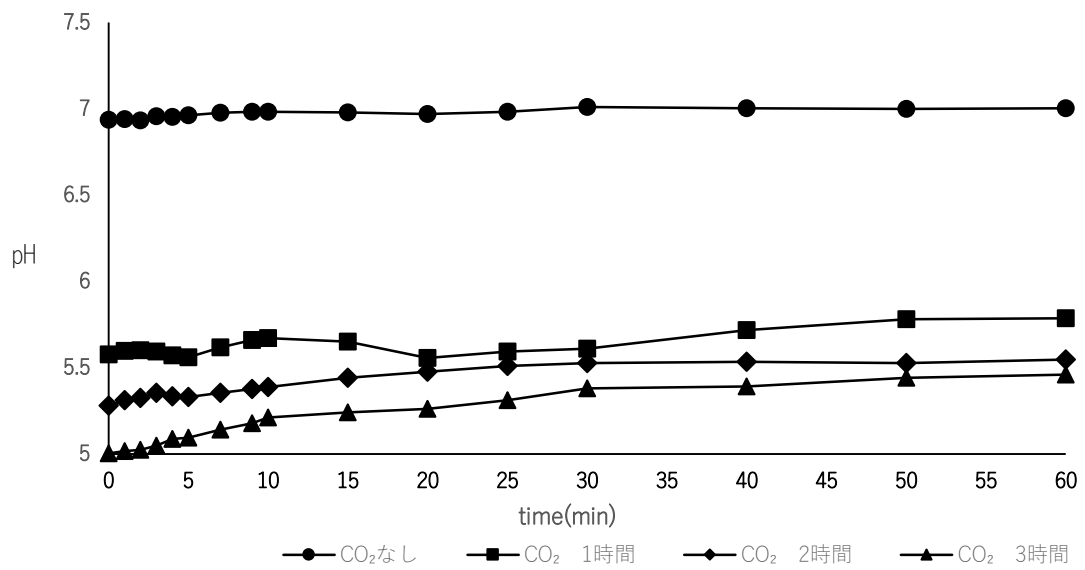


Fig.5-1 炭酸化全粥の pH 変化



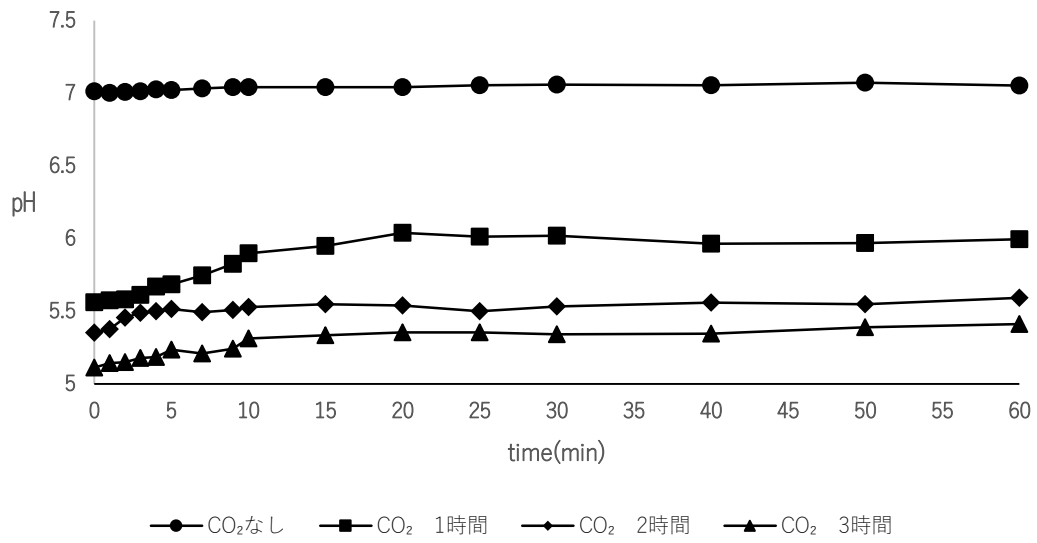


Fig.5-2 炭酸化五分粥の pH 変化

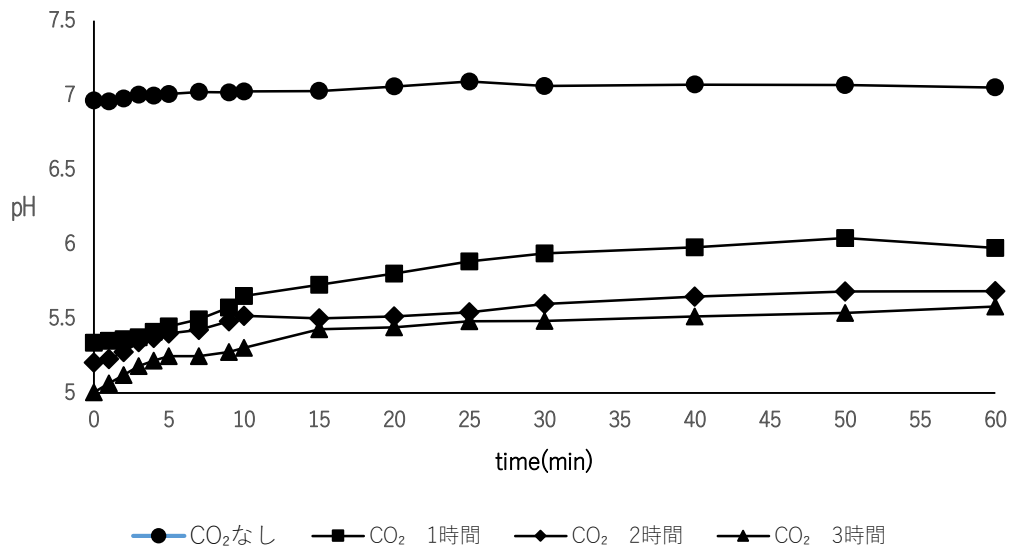


Fig.5-3 炭酸化ペースト粥の pH 変化

pH の変化について、全ての粥で CO<sub>2</sub> の封入によって pH が低下し、封入後の静置時間が長いほど pH が低かった。全ての粥で pH の大きな変化がみられたのは 10 分経過後までで、30 分以降は大きな変化はみられなかった。全ての粥で 60 分間経過後の pH は 2 時間静置と 3 時間静置に大きな差はみられなかった。

食味について、全ての粥で CO<sub>2</sub> 封入後の静置時間が長いほど炭酸刺激が強く感じられた。これは pH の値と一致した。すなわち、pH が低いほど炭酸刺激が強い傾向があることが示唆された。ペースト粥が全粥、五分粥と比較して pH 値に大きな差がないが、炭酸刺激が弱かった。これは、攪拌により不均質から均質な性状への構造変化による物性が食感（テクスチャー）に影響したと思われた。全粥はミキサー処理することにより、かたさが減少し、均一でなめらかな状態にすることができる。しかし、粥をミキサーにかけることの問題点としては、糊状となり付着性と粘度が高くなり、口腔内でべたつきを感じる<sup>141)</sup>。炭酸刺激の要因として考えられている、炭酸による科学的刺激と気泡の発生および破裂による物理的刺激が阻害されるのではないかと考えられる。そのため、粘度の高い食品は炭酸刺激が十分に感じられない可能性があるということが考えられた。

2 ゼリー

エスプーマにより、炭酸化させた pH の変化について、ゼリーを Fig.4, バリウム入りゼリーを Fig.5 に示す。

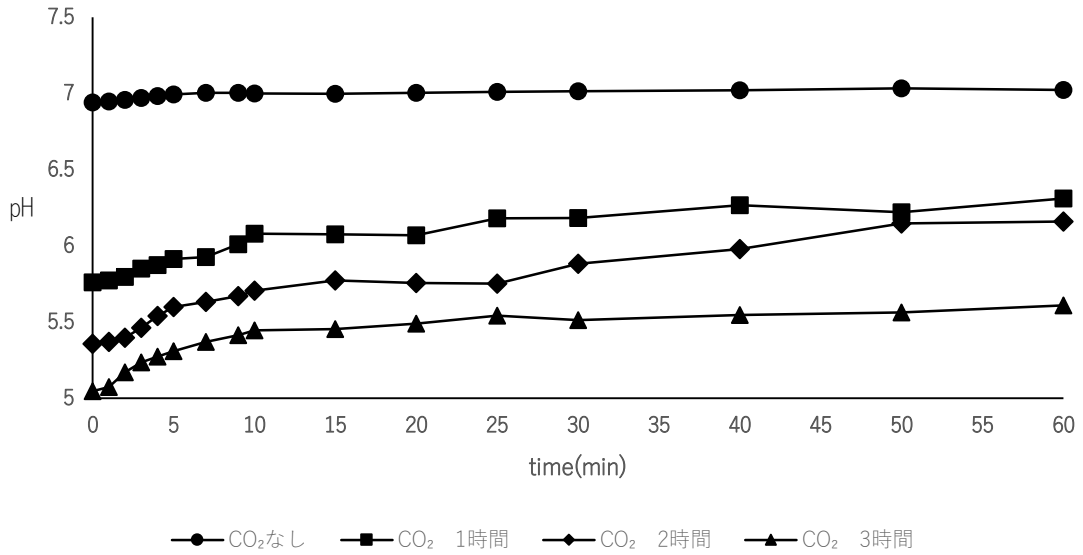


Fig.5-4 炭酸化ゼリーの pH 変化

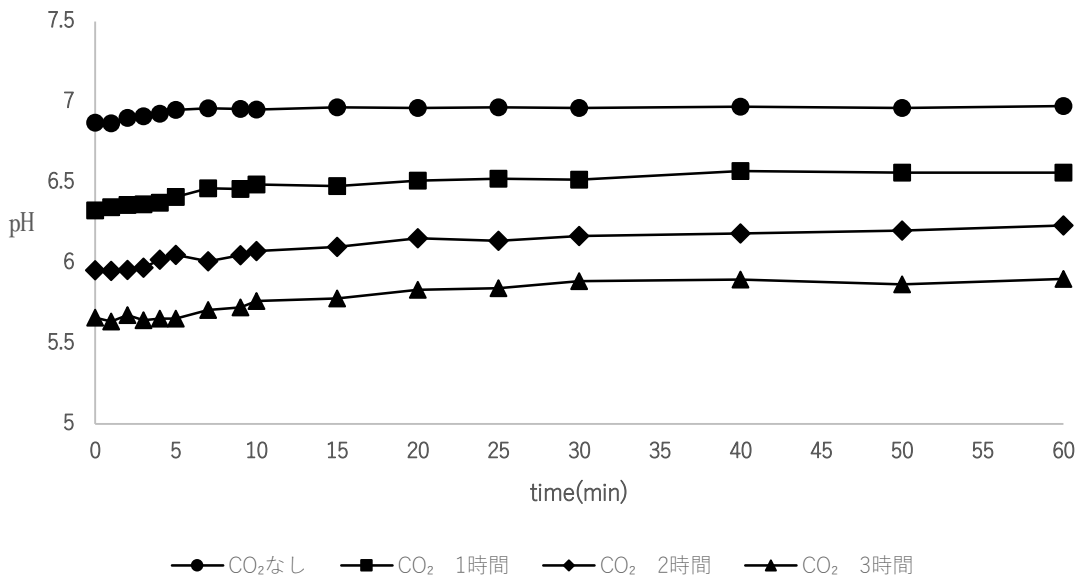


Fig.5-5 バリウム入り炭酸化ゼリーの pH 変化

バリウムありゼリー，バリウムなしゼリーどちらも CO<sub>2</sub> の封入によって pH が低下し，封入後の静置時間が長いほど pH が低かった。バリウム入りゼリーは封入後の静置時間による大きな変化はみられず，バリウム無しゼリーは 10 分間経過後以降で大きな変化がみられなかった。60 分間経過後の pH はどちらも 3 時間静置したもので pH が低かった。

バリウムなしゼリーの方が各々対応するバリウム入りゼリーと比較して pH が低かった。バリウムを加えることにより，pH の低下がバリウムを加えていないものと比べて小さいということが分かった。バリウムが CO<sub>2</sub> 封入をしづらくしていることが示唆された。pH 値は炭酸刺激と関係があると考えられる。そのため，炭酸化食品の嚥下改善効果の評価について，VF 検査では，実物より低評価になることが推測された。

摂食・嚥下状態評価の一手法として，実際に食物を摂取してその経過を評価する嚥下造影検査（VF）がある。実施するにあたって摂食・嚥下器官は消化器に属するという観点から，消化管造影剤を使用する。消化管造影剤として安価で比較的安全な硫酸バリウムが検査食に対して 30～40%濃度になるように調整して添加し，実施されている<sup>140)</sup>。本研究では，目安とされる最低濃度 30%で実験を行ったが，硫酸バリウムは食品でないことから，食味はできなかった。そのため，バリウムが含まれている試料にはどの程度，炭酸刺激が含まれているのか不明である。しかし，実験結果はバリウムを加えたことにより pH 低下が小さくなった。pH 値は炭酸刺激と関係があると考えられることから，炭酸化食品の嚥下改善効果の評価方法として VF 検査による結果の妥当性は低いと思われる。

## 第二項 官能評価

Table 5-1 にゼリーの嚥下運動にかかった時間を示す。

Table 5-1 嚥下運動にかかった時間 (sec)

被験者	炭酸なし	炭酸あり	炭酸化による時間変化	空嚥下
A	0.717	0.519	-0.198	0.242
B	0.584	0.573	-0.011	0.407
C	0.545	0.304	-0.241	0.537
D	0.236	0.394	0.158	0.353
E	0.334	0.251	-0.083	0.288
平均±標準偏差	0.483±0.195	0.408±0.137	-0.075±0.159	0.365±0.115

炭酸化により時間変化をみると、5人中4人が炭酸ありゼリーの方が炭酸なしゼリーと比較して嚥下運動にかかった時間が短く、炭酸化により嚥下運動時間が短縮された。対象者の嚥下運動の平均時間で0.075秒短縮した。

空嚥下での嚥下運動にかかる時間では、被験者Aが0.242秒と一番短く、被験者Cが0.537秒と一番長かった。しかし、ゼリーの摂食・嚥下運動時間と同じ傾向はみられなかった。このことから、摂食有無による嚥下運動への関係はないことが示唆された。

今回の嚥下運動時間を測定する実験は暫定的な方法により行ったものであるため、改良点が多々存在すると考えられる。しかし、今回の結果では、炭酸を含んでいることにより嚥下運動時間のわずかな短縮が見られる結果となった。被験者の年齢が21～24歳と若く、嚥下機能の衰えも少ないこともあり、炭酸刺激が嚥下運動に関わる筋肉にどの程度の効果をもたらしたか不明ではある。被験者が高齢者や嚥下機能が衰えてしまった人である場合、先行研究で見られたように炭酸刺激が嚥下運動に関わる筋肉を刺激し、嚥下運動時間が短縮する可能性が固体の炭酸入り食品の場合でも考えられる。

食事の炭酸化に嚥下改善効果があることが示唆されたが、今後の研究は、

パネル数を増加しての官能評価や、筋電位測定など、さらに評価方法を検討して実施することが必要である。また、食事は様々な物性を有する食品の混合物である。介護食は普通食と比較して安全に摂取する物性範囲が狭い。その中でいかに多様なテクスチャーを展開していくかが、介護食の発展に求められていると考える。炭酸化食品がおいしさと嚥下改善効果をもちあわせることが示唆された。同時に固形食品は飲料と異なり食品に組織構造があるため、構造状態では保持しにくくなる可能性も示唆された。そのため、炭酸化のメカニズムを解明して効果的な炭酸化を検討していくことが必要である。

#### 第四節 小括

エスプーマを用いて、炭酸刺激を有する固形食品が嚥下反射におよぼす影響を測定するための基礎データの収集を目的とした。介護食の主食である粥および介護用ゼリーに CO<sub>2</sub> を封入して pH の経時変化の測定、食味、嚥下運動評価を行った。CO<sub>2</sub> 封入後の静置時間が長いほど pH が低く炭酸化が進むことが示唆された。pH が低いほど炭酸刺激が強く感じられる傾向にあった。しかし、ペースト粥は全粥、五分粥と比較して弱かった。均質な性状で付着性、粘度が高まることが要因の一つと考えられる。ゼリーに嚥下造影検査を想定してバリウムを添加すると pH が高くなった。炭酸化食品の嚥下改善効果の評価方法として VF 検査による結果の妥当性は低いと思われた。ゼリーに炭酸を付与することにより嚥下運動時間が短縮することが示唆された。今後は、パネル数を増加しての官能評価や、筋電位測定など、さらに評価方法を検討して実施することが必要である。摂食・嚥下障害者に適した食品物性を有する炭酸化食品が普及されれば、介護食のバリエーションの展開に寄与することが期待される。

## 第六章 介護食への応用

本研究は既存の分子調理法を用いて、分子調理科学の原理に従って新しい介護食の提案に取り組んだ。真空低温調理では形状保持のままの軟化、エスプーマでは新しい食形態の追加、炭酸化による嚥下改善効果の可能性が新たな知見として得られた。得た知見を今後どのように応用していくか、また、取り組む中で生じた新たな課題について述べる。

### 第一節 真空低温調理

本研究では、求める出来上がりに応じて最適調理条件で調理することが重要であることを確認した。動物性食品は、対象とする食肉種や部位に応じてコラーゲンのゼラチン化の限界点を見極めて TT 条件を設定することが大切である。その際、長時間調理により、乾燥が進むことから肉汁を利用してパサつきを解消することがおいしさに貢献すると思われる。植物性食品のかたい果実の軟化について、時間経過とともにペクチンの分解が進行する温度条件があることがわかった。同時に細胞の形状や強度に関するセルロースの破壊開始温度以下であるため、形状を維持したままでの軟化が可能であった。この温度条件により、出来上がりのかたさコントロールが可能となった。加熱もしくは時間経過により褐変が進行するため、求める出来上がりに応じて TT 条件を設定することが重要である。

真空調理法は、下処理した食品をフィルムに入れることで、そのフィルムが調理器具となる、調理中の操作は必要としない等、調理作業の省略化による作業能率の向上を図ることができる。また、真空調理法は、脱気により食材の酸化を抑制でき、0～3℃で1週間、-22℃で長期保存が可能のため、まとめづくりに応用できる可能性がある<sup>142) 143)</sup>。しかし、こういった真空調理

法のメリットを理解しつつ、病院、施設の導入率が低いのは衛生的な懸念の影響が大きい。病院や高齢者施設などのいわゆる免疫弱者を対象とする施設では、科学的根拠をもった管理基準を設けて食品衛生管理をすることが強く求められている<sup>144)</sup>。真空調理システムの導入割合の低さは、厚生労働省によって示された「大量調理施設衛生管理マニュアル」および「中小規模調理施設における衛生管理の徹底について」へ適応させて真空調理の特徴である低温加熱時の安全性を検討した報告が少ないことが要因であると推察されている<sup>144) 145)</sup>。真空調理法の衛生管理に関する検討が進み、データが蓄積されることが、不安感を軽減し普及の一助になると思われる。いっぽうで、今回得た調理条件で、真空パックと比較して低コストのポリエチレン袋等を使用して、食材の軟化および衛生状の安全が確認できれば、災害時や調理担当者の負担感軽減に応用できるのではないかと考えた。

## 第二節 エスプーマ

軽くなめらかな食感のエスプーマは介護食の食形態の多様化に大きく貢献すると思われる。課題としては気体を包含するために、エネルギー・栄養素密度が低下することである。摂食・嚥下障害者にとって、摂取行動は身体に負担がかかるため疲労しやすい。そのため、一口当たりのエネルギー・栄養素密度をアップすることが望ましい。本研究は食事時間を通して安定した物性を優先したが、今後は、エネルギー・たんぱく質密度を高める工夫に取り組みたい。例えば、食味に影響を及ぼしにくい中鎖脂肪酸やマルトデキストリン等を添加して、その影響を検討するなどである。また、本研究では中等度の嚥下障害者まで適用される食品物性発現をした。嚥下リハビリテーションにおいて、嚥下運動改善目的で、嚥下能力に該当する食形態より1段階難易度の高いコードの食品物性にチャレンジする交互嚥下の考え方が浸透



してきている<sup>146) 147)</sup>。その際に、エスプーマはやわらかで均一であり、誤嚥による窒息等のリスクは低いため、適用できるのではないかと考えた。食品の味に影響のない N<sub>2</sub>O は一般的に入手しにくいいため、入手方法が開かれることを期待する。

本研究で使用した増粘多糖類は他の分子調理法でも活用の機会が多い。増粘多糖類は食品添加物として食品加工業界で用いられることが多いが、一般消費者が購入している多くの加工食品に使用されている。増粘多糖類を家庭で用いるとなると、抵抗感が出てくることが予想されるが正しい知識を伝えることで、分子調理法の普及が促進すると思われる。増粘多糖類は温度や濃度等の調理条件で発現する物性が異なる。また、本研究で得た知見として、上記の温度、濃度の他に、添加する食品と増粘剤の組み合わせにより、反応が異なることがわかった。市販増粘剤製品に用いられている増粘剤の反応特性を理解して、用いる食品特徴に対応した使用量や使用方法をより具体的に伝えることが大切である<sup>148) 149)</sup>。

### 第三節 分子調理を用いた介護食の普及

本研究で用いた分子調理法以外に介護食調製に有用と思われるのは、3Dプリンターである<sup>150) 151)</sup>。求める食事を作り上げていくという発想は、介護食調製の課題の「手間がかかる」の解決につながると思われ、調理操作の省略化が大きな魅力である。

おいしい食を追求するという視点はどの食事調製においても同様である。外食産業の方は特に客のおいしい反応のために、日々研鑽を重ねている。外食業界においても、摂食・嚥下障害者に安全な食事提供が普及すれば、QOLの向上につながる。一例として「つなごう！ 外食の調理技術×医療福祉の知識で広がる食の自由度と食の多様性」として摂食・嚥下障害者が外食をあ

きらめない取り組みを行っているシェフも存在する<sup>155)</sup>。分子調理の視点で、こういった取り組みを一步ずつ進めることが、安全な食品物性でおいしい介護食の発展に望まれる。

## 第七章 総括

本研究は既存の分子調理法を用いて現在の介護食の課題を解決することを目的に取り組んだ。すなわち、介護食として適した食品物性を有していることを基盤とした上で、「見た目がよくない」については、真空調理法を用いて形状を保持した状態での軟化、「バリエーションに乏しい」についてはエスプーマ法を用いた新しい食形態の提案を目的とした。

第1章では、分子調理と介護食を融合して研究を進める意義を述べた。我が国の摂食・嚥下障害者の現状と課題、次に適した食事について、種々ある呼称を整理して介護食とした理由と課題を述べた。そして、新しい介護食の開発に必要とする分子調理の概要と介護食への導入を述べた。

第2章では、真空低温調理による食肉への長時間加熱が及ぼす影響を検討した。牛すね肉、豚すね肉解凍後、それぞれの重量に対し1%重量の食塩を添加後、真空パック後、55、60、65、70、75°Cで、1、3、5、7日間調理したものを試料とし、物性測定、水分含有量測定、タンパク質の電気泳動を実施した。官能評価は、牛すね肉65°C、豚すね肉70°Cで調理時間1日を基準とし、3、5、7日間調理した試料を、かたさ、多汁感、うま味、香り、脂っこさ、色、総合評価の7項目について、評点法（両極7点尺度法）で行った。すべての調理温度条件で時間経過とともに軟らかくなった。55°C～75°Cの低温長時間調理における肉の軟化機序はタンパク質変性、特にコラーゲンのゼラチン化の影響を強く受けると考えられる。60°C以上の調理では、温度よりも時間の影響を強く受け、時間の経過とともにゼラチン化が進み長時間であるほど軟化した。しかしこの反応には限界があることがわかった。牛すね肉調理温度55、60、65°Cでは5日から7日にかけて硬くなった。牛すね肉では5日目、豚すね肉では3日目の調理条件下で最も軟らかい値があった。

また、かたさの変化は牛すね肉の方が大きく、コラーゲン含有量と架橋結合を多く有していることが豚すね肉に比べ低温長時間調理による軟化の特徴が現れたと考えられる。嚥下調整食として応用できる TT 条件があった。牛すね肉は 65°C で 3, 5, 7 日間, 70°C で 5, 7 日間, 75°C で 5, 7 日間だった。豚すね肉は 65°C で 3, 5, 7 日間, 70°C で 3, 5, 7 日間, 75°C で 3, 5, 7 日間だった。5 日間調理の牛肉は, すべての時間条件で最も軟らかいとされ, 多汁感, 香り, 脂っこさについても高く評価され, パネルが最も主観的に好むとされた。好まれる豚肉の重要な特徴は, 多汁性があり色の明るいものであることが示唆された。牛肉, 豚肉ともに 65~75°C の調理温度で調理時間のコントロールにより嚥下調整食の物性基準を満たし, 形状を維持したまま軟化する介護食の調製に応用できることが示唆された。その際, 肉種や部位などに応じた軟化のピークに適応した温度×時間条件で調理することが重要である。

第 3 章では, 真空調理によるリンゴへの長時間加熱が及ぼす影響を検討することを目的とし, 調理温度 60, 70, 80, 90°C, 調理時間 1, 12, 24, 48 時間調理した試料について, 色調測定, 物性測定, 糖度測定, pH 測定を実施した。官能評価は, 温度条件 70°C で調理した試料について, かたさ, 甘さ, 酸味, 香り, 色, 総合評価の 6 項目について 7 段階評点法で実施した。調理時間 12 時間までは調理経過とともに調理温度が高いほど軟らかかった。リンゴの加熱による軟化はペクチンの分解の進行が強く関与する。しかし, ペクチンの分解には限界があることが示唆された。80°C, 90°C では 12 時間以上の調理時間でかたさ値が低下しなかった。70°C が時間経過とともにかたさ値が低下したことから, 物性変化に依存する温度であり, 長時間調理に有効な温度条件と示唆された。時間経過に伴い明度が低下した。初期の褐変化は酵素的褐変の影響が大きく, 長時間加熱による経時的な褐変化は, 非酵素

の褐変（メイラード反応）による影響が大きかったと考えられる。

官能評価から甘さと酸味の感じ方はかたさと色の影響を受ける，つまり，味の感じ方は，食感や外観の影響を受けると考えられた。若年層にはリンゴコンポートはかたさがあり色が明るいもの，すなわち短時間調理のものが好まれる傾向にあり，70℃調理では12時間以下の加熱調理が好まれる最適調理条件であると考えられる。以上のことからリンゴの長時間真空調理は時間温度調整により異なるかたさおよび色に仕上げることができるため目的に応じて効果的に調製する手段として有用な手段であると考えられる。嚥下調整食として応用できるTT条件があった。70℃で12，24，48時間，80℃で1，12，24，48時間，90℃で1，12，24，48時間だった。

また，温度設定が細胞の形や強度に関するセルロースの破壊開始温度92℃以下であったことと，食材を攪拌しない真空包装での調製であったことから，形状が維持された仕上がりになった。70~90℃の調理温度で調理時間のコントロールにより嚥下調整食の物性基準を満たし，形状を維持したまま軟化する介護食に応用できることが示唆された。

第4章では，豆乳および牛乳を用いて，各種増粘剤（ゼラチン，キサンタンガム， $\gamma$ -カラギーナン）添加によるエスプーマの起泡安定性を中心とした物理的特性，および若年層，高年層による官能特性を検討した。起泡性は，豆乳N<sub>2</sub>Oエスプーマおよび牛乳N<sub>2</sub>Oエスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど低下する傾向がみられた。泡沫の安定性は，豆乳N<sub>2</sub>Oエスプーマおよび牛乳N<sub>2</sub>Oエスプーマともに増粘剤添加濃度が高いほど増加した。食材によって，安定性の向上に適した増粘剤の種類や濃度が異なることが示唆された。豆乳N<sub>2</sub>Oエスプーマ，牛乳N<sub>2</sub>Oエスプーマともに増粘剤の添加濃度が高いほど，かたさ，付着性が上昇する傾向がみられた。若年層，高年層ともに豆乳N<sub>2</sub>Oエスプーマは有意に飲み込みやすいと識別され，豆乳CO<sub>2</sub>エ

スプーマは苦いと識別された。0.2% l-カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマは若年層において、最もべたつきやすいと識別された。嚥下調整食コード 2 の食品物性を示したエスプーマは、2.0%ゼラチン添加牛乳 N<sub>2</sub>O エスプーマ、0.2% l-カラギーナン添加豆乳 N<sub>2</sub>O エスプーマであった。これらのエスプーマは、食事調製から提供および摂食時間に要する想定時間の 60 分経過後も泡沫から溶液が分離せず安定性が高かったことから、新しい介護食の食形態として応用できることが示唆された。

増粘剤を添加した豆乳および牛乳エスプーマは、嚥下調整食の物性基準を満たし、介護食の新しい食形態の調製方法として期待される。その際、増粘剤の反応特性を理解して、食品特徴に適応した濃度や温度等の条件調整が重要である。

第 5 章では、エスプーマを用いて、炭酸刺激を有する固形食品が嚥下反射におよぼす影響を測定するための基礎データの収集を目的とした。介護食の主食である粥および介護用ゼリーに CO<sub>2</sub> を封入して pH の経時変化の測定、食味、嚥下運動評価を行った。CO<sub>2</sub> 封入後の静置時間が長いほど pH が低く炭酸化が進むことが示唆された。pH が低いほど炭酸刺激が強く感じられる傾向にあった。しかし、ペースト粥は全粥、五分粥と比較して弱かった。均質な性状で付着性、粘度が高まることが要因の一つと考えられる。ゼリーに嚥下造影検査を想定してバリウムを添加すると pH が高くなった。炭酸化食品の嚥下改善効果の評価方法として VF 検査による結果の妥当性は低いと思われた。ゼリーに炭酸を付与することにより嚥下運動時間が短縮することが示唆された。今後は、パネル数を増加しての官能評価や、筋電位測定など、さらに評価方法を検討して実施することが必要である。摂食・嚥下障害者に適した食品物性を有する炭酸化食品が普及されれば、介護食のバリエーションの展開に寄与することが期待される。

第6章では、第2章から第5章までの研究結果から得た知見に基づいて、今後の介護食へどのように応用することが考えられるか、展望と課題を述べた。

本研究では既存の分子調理法を用いて新しい介護食の提案にむけて取り組み、新しい知見を得た。真空低温調理では、動物性食品の長時間加熱でコラーゲンのゼラチン化により軟化が認められるが、限度があることがわかった。植物性食品の果実の加熱は既報の設定温度より低い温度帯でかたさ値が時間に依存する温度があることがわかった。求める仕上がりに最適な調理条件で調理することが重要である。

エスプーマでは、安定性を高める目的で増粘剤を用いる場合、食材および増粘剤の特性によって適した食材と増粘剤の組み合わせ種類や濃度が異なることがわかった。増粘剤の反応特性を理解して使用することが重要である。介護食の炭酸化が嚥下改善運動に寄与する可能性を有することが示唆された。

微視的、科学的に調理をとらえる分子調理を用いて介護食の課題である「見た目がよくない」について、原形を維持したままの軟化ができた。「バリエーションに乏しい」について、泡沫状（エスプーマ）の新しい食形態が提案できた。嚥下障害者の「食べられるものが増える」という「口から食べる楽しみ」に貢献する新しい介護食の提案には分子調理が有効である。

## 謝辞

本研究を遂行して学位論文をまとめるにあたり、5年間という長期に渡って、温かでの確に響くご指導をくださった石川伸一教授に心より感謝申し上げます。石川先生から、「食材を調べ理める」事象をマクロからミクロの視点で捉えて整理していく学びの真髓をご教授いただきました。今後も調理を業とする私に、かけがえのない財産を授かったと感謝申し上げます。

真空低温調理に関する研究の共同研究者である吉成愛未様、エスプーマに関する研究の共同研究者である長谷川莉子様、介護食の炭酸化に関する研究の共同研究者である武内智暉様には、実験を通して多大なお力添えをいただき、柔軟な考察から貴重な刺激をいただき、深く感謝申し上げます。

牛すね肉・豚すね肉の入手について快諾し、漢方和牛牧場の見学、低温調理法の助言をいただきました関村清幸様、間瀬様に心より感謝申し上げます。温泉熱利用の現場を見学させていただきましたすがわら旅館様に感謝申し上げます。増粘剤をご提供いただいた三昌株式会社様に感謝申し上げます。

官能評価実施にあたり、東北生活文化大学短期大学部助手の岡部美喜子様、大滝友美様、仙台市泉西一地区民生委員児童委員協議会の齋藤道子様にも多大なご協力いただきました。官能評価にご協力くださいました東北生活文化大学学生の皆様、加茂地域2丁目サロンの皆様に感謝申し上げます。



## 文献

- 1) 富永美穂子, 石川伸一, 湯浅正洋, 安部春香, トレイバー フリッツ. 新たな食感とおいしさの研究ーオーストリアにおける分子調理の取り組み. *日本調理科学会大会研究発表要旨集*. 2016, Vol.28(0), 104.
- 2) 石川伸一. 分子調理学のすすめ. *日本家政学会誌*. 2019, Vol.70(10). 692-695.
- 3) 石川伸一. 分子調理って何?. *応用物理*. 2014, Vol.83(11).
- 4) Humphries, C. "Chefs are teaming up with researchers to create avant-garde dishes. Is 'molecular gastronomy' more than a fad?". *Delicious science. Nature*. 2012, Vol.486, S10-S11. <https://doi.org/10.1038/486S10a>
- 5) 独立行政法人国立長寿医療研究センター. 摂食嚥下障害に係る調査研究事業報告書平成 23 年度老人保健事業推進費等補助金 老人保健健康増進等事業. 2012.
- 6) Bock, J.; Varadarajan, V.; Brawley, M.; Blumin, J. Evaluation of the natural history of patients who aspirate. *Laryngoscope*. 2017, Vol.127(S8), S1-S10. doi: 10.1002/lary.26854.
- 7) Clavé, P.; Shaker, R. Dysphagia : current reality and scope of the problem: *Nat Rev Gastroenterol Hepatol* . 2015, Vol.12(5), 259-70. doi: 10.1038/nrgastro.2015.49.
- 8) Lindroos, E.; Saarel, R.; Suominen, M.; Muurinen, S.; Soini, H.; Kautiainen, H.; Pitkälä, K. Burden of Oral Symptoms and Its Associations With Nutrition, Well-Being, and Survival Among Nursing Home Residents, *J Am Med Dir Assoc*. 2019, Vol.20(5), 537-543. doi:10.1016/j.jamda.2018.10.025.

- 9) 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誌*. 2013, Vol.17, 255-267.
- 10) 大越ひろ. 段階的食事の共通化とユニバーサルデザインフード. 缶詰時報. *日本介護食品協会*. 2011, Vol. 90(10), 12-23.
- 11) 日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食委員会. 日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2021. *日本摂食・嚥下リハビリテーション学会誌*. 2021, Vol.25(2), 135-149.
- 12) これからの介護食品をめぐる論点. 農林水産省. 2013.
- 13) 手嶋登志子. 介護食とは何か, 介護食ハンドブック. 手嶋登志子. (株)医歯薬出版, 2004, 23-26.
- 14) 大越ひろ. 嚥下障害者のための食事—高齢者を対象とした食事の安全性とテクスチャーの面から—. *日本食生活学会誌*. 2007, Vol.17(4), 288-296.
- 15) 大越ひろ. ユニバーサルデザインフード 介護食の現状と課題. *食品工業*. 2009, Vol.30(1), 20-26.
- 16) 内閣府. 高齢化の現状と将来像, 高齢化の国際的動向. 令和3年度版高齢社会白書. 2021. 2-8. (閲覧日: 2021/11/22)
- 17) Lim, Y.; Kim, C, Park, H.; Kwon, S, Kim, O.; Kim, H. Socio-demographic factors and diet-related characteristics of community-dwelling elderly individuals with dysphagia risk in South Korea. *Nutrition Research and Practice* .2018, 12(5). 406-414. Published online: 18 September 2018, <https://doi.org/10.4162/nrp>
- 18) Cichero, J.; Steele, C.; Duivesteyn, J.; Clavé, P.; Chen, J.; Kayashita, J.; Dantas, R.; Lecko, C.; Speyer, R.; Lam, P.; Murray, J. The Need for International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and

- Thickened Liquids Used in Dysphagia Management: Foundations of a Global Initiative. *Curr Phys Med Rehabil Rep.* 2013, Vol.1(4), 280-291. doi: 10.1007/s40141-013-0024-z.
- 19) Cichero ,J.; Lam, P.; Steele, C.; Hanson,B.; Chen, J.; Dantas, R.; Duivestein, J; Kayashita, J.; Lecko, C.; Murray,J.; Pillay, M.; Riquelme,L.; Stanschus,S. Development of International Terminology and Definitions for Texture-Modified Foods and Thickened Fluids Used in Dysphagia Management: The IDDSI Framework: *Dysphagia* .2017, Vol.32(2), 293-314. doi: 10.1007/s00455-016-9758-y.
- 20) Rofes, L.; Arreola, V.; Almirall, J.; Cabré, M.; Campins, L.; García,P.; Speyer, R.; Clavé, P. Diagnosis and management of oropharngelial dysphagia and its nutritional and respiratory comlications in the elderly: *Gastroenterology Research and Practice*. 2011, Special Issue. <https://doi.org/10.1155/2011/818979>
- 21) 坂口紅美子, 原修一. 高齢な誤嚥性肺炎患者の生命予後に関連する因子. *日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌*. 2018, Vol.22(2), 136-144.
- 22) Teramoto S.; Fukuchi,Y.; Sasaki,H.; Sato,K.; Sekizawa, K.; Matsuse,T. High incidence of aspiration pneumonia in community and hospitalacquired pneumonia in hospitalized patients: A multicenter, prospective study in Japan, *J An Geriatr Soc*. 2008, Vol.56(3), 577-579. doi: 10.1111/j.1532-5415.2008.01597.x.
- 23) 厚生労働省.令和元年人口動態統計.2021. (閲覧日 : 2021/11/22)
- 24) 消費者庁. 高齢者の事故の状況についてー「人口動態調査」調査表情報及び「救急搬送データ」分析. 2018. [https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer\\_safety/caution/caution\\_00](https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/caution/caution_00)

- 9/pdf/caution\_009\_180912\_0002.pdf
- 25) Peladic, N.; Orlandoni ,P.; Dell'Aquila ,G.; Carrieri,B.; Eusebi ,P.; Landi,F.; Volpato,S.; Zuliani ,G.; Lattanzio,F.; Cherubini,A. Dysphagia in Nursing Home Residents: Management and Outcomes. *JAMDA*. 2019, Vol.20(2), 147-151.
- 26) Sura,L.; Madhavan, A.;Carnaby,G.;; Crary,M. Dysphagia in the elderly: management and nutritional considerations. *Clin Interv Aging*. 2012, Vol.7, 287-298. doi: 10.2147/CIA.S23404
- 27) Ortega,O.; Martín,A.;Clavé,P. Diagnosis and Management of Oropharyngeal Dysphagia Among Older Persons, State of the Art. *JAMDA*, 2017, Vol.18(7), 576-582.
- 28) 松尾浩一郎, 谷口裕重, 中川量晴, 金澤学, 古谷純一, 津賀一弘, 池邊一典, 上田貴之, 田村文誉, 永尾寛, 山本健, 櫻井薫, 水口俊介. 急性期病院入院高齢者における口腔機能低下と低栄養との関連性. *老齡歯学*. 2016, Vol.31(2), 123-133.
- 29) 大越ひろ, 渡邊慎二. 油脂を利用した嚥下困難者向け食品の開発. *オレオサイエンス*. 2013, Vol.13(1), 25-31.
- 30) Sungsinchai,S.;Niamnuy,C.;Wattanapan,P.;Charoenchaitrakool,M.; Devahastin,S. Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of Dysphagia Foods: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019, Vol.18(6), 1898-1912.  
<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12495>
- 31) 厚生省生活衛生局食品保健課新開発食品保健対策室長通知. 高齢者用食品の表示許可の取り扱いについて. *衛新*. Vol.15, 1994.
- 32) 柴本勇. 摂食・嚥下リハビリテーションにおける栄養管理の位置づけ:

摂

食・嚥下リハビリテーションと栄養管理. *MEDICAL REHABILITATION*,  
2009, Vol.109, 1-8.

33) 坂井真奈美, 江頭文江, 金谷節子, 栢下淳. 臨床的成果のある段階的嚥下食に関する食品物性比較. *日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌*.  
2007, Vol.10(3), 239-248.

34) 厚生労働省医薬食品局食品安全部長. “特別用途食品の表示許可等について食安発第 0212001 号”. 2009.

[https://www.caa.go.jp/policies/policy/food\\_labeling/health\\_promotion/pdf/syokuhin1539.pdf](https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/health_promotion/pdf/syokuhin1539.pdf), (閲覧日: 2020/12/1)

35) 山縣誉志江, 藤谷順子, 柴本勇, 河原和枝, 栢下淳. 官能評価による特別用途食品えん下困難者用食品許可基準(案)の検証. *日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌*. 2010, Vol.14(1), 17-26.

36) 大越ひろ. ユニバーサルデザインフード 介護食の現状と課題. *食品工業*. 2009, Vol.1(30), 20-26.

37) 伊藤裕子. ユニバーサルデザインフードのこれまでと将来. *日本調理科学会誌*. 2019, Vol.52(2), 119-122.

38) 桃野慶二. 超高齢社会における新しい介護食品(スマイルケア食)の取組. *日補綴会誌*. 2016, Vol.8(2), 121-125.

39) 宮崎純一, 中川幸恵, 藤井文子, 原純也, 渡辺啓子, 石川祐一. 医療栄養情報提供書発行の有用性について. *日本栄養士会雑誌*. 2017, Vol.60(6), 27-35.

40) 健康局健康課栄養指導室. 2018年度診療報酬改定・介護報酬改定(栄養関係)について. 2018 (閲覧日: 2021/11/22)

41) 全国国民健康保険診療施設協議会. 在宅高齢者の口から食べる楽しみの

- 支援のあり方に関する調査研究事業報告書. 2016.
- 42) 向井美恵. 摂食・嚥下機能の基礎知識. 摂食・嚥下障害ベストナーシング. 向井美恵, 鎌倉やよい編, 学研メディカル秀潤社, 2010, 1-13.
- 43) 金谷節子. 嚥下食の理解. 嚥下食のすべて. 金谷節子編, 医歯薬出版, 2006.
- 44) 葛西隆則, 石掛恵理, 大石はるか, 長勢朝美, 細川尚子. 「分子調理学 [美食学] Molecular Gastronomy の盛衰とシェフ達による新しい動き. 藤女子大学紀要. 2011, Vol. 48(2), 35-41.
- 45) This, H. The science of molecular gastronomy and the art of innovative cooking. *FEBS Letters THE SCIENTISTS' FORUM*. 2019, Vol.593, 887-891. <https://doi.org/10.1002/1873-3468.13373>
- 46) 川端晶子. 調理科学は世界を駆けめぐる, その名は「分子ガストロノミー」. *日本調理科学会誌*. 2006, Vol.39(2), 184.
- 47) This, H.; Molecular Gastronomy, a Scientific Look at Cooking. *Acc. Chem. Res.* 2009, Vol.42(5), 575-583. <https://doi.org/10.1021/ar8002078>
- 48) 山下由美子, 溝下あさみ, 村田美穂子, 谷口美佐子, 白砂千登勢, 水井富美恵, 岡田正浩. 新調理システムにおける真空調理法の安全性についての一考察. *広島文化学園短期大学紀要*. 2009, Vol.42, 41-49.
- 49) 加藤和悦. 新調理システムにおける品質と衛生管理について. *エレクトロヒート*. 2012, Vol.184, 51-63.
- 50) 厚生労働省. 食品別の規格基準について (食肉製品). [http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/jigyousya/shokuhin\\_kikaku/dl/09.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/jigyousya/shokuhin_kikaku/dl/09.pdf)
- 51) 渡辺正記. エスプーマベースによる“泡料理”の創造. *月間フードケミカル*. 2010, Vol.11, 78-80.

- 52) オーレ・G・モウリットセン, クラフス・ストルベク. “食品中の泡”. 食感をめぐるサイエンス. 石川伸一編. 化学同人, 2019, 180-184.
- 53) 湯浅正洋. ガスを用いて泡立てる分子調理法「エスプーマ」—新しい泡料理の可能性—. *分子調理研究会誌*. 2018, Vol.2, 3-4.
- 54) 高橋智子. 高齢者の摂食機能に応じた食事のテクスチャー面から見た特徴. *日本食生活学会誌*. 2009. Vol.20(2), 87-92.
- 55) 國崎直道, 佐野征男. 海藻由来の食品多糖類, 微生物産生食品多糖類. 食品多糖類—乳化・増粘・ゲル化の知識—. 國崎直道, 佐野征男編. 榊書房, 2005, 94-113, 141-153.
- 56) 吉村圭司, 高橋幸資. タンパク質ハイドロコロイド. 食品ハイドロコロイドの開発と応用. 西村勝好監修. シーエムシー出版, 2007, 317-329.
- 57) 笹田陽子, 仲舘綾子, 工藤ルミ子, 重田公子, 鈴野弘子, 石田裕, 鈴木和春, 樫村修生. 特別養護老人ホームにおける咀嚼・嚥下困難者用食の物理的器能評価. *日本食生活学会誌*. 2008, Vol.19(3), 251-259.
- 58) 高尾哲也. おいしさの分子生物学的アプローチ. *日本調理科学会誌*. 2010, Vol.43(2), 149.
- 59) 吉村美紀, 桑野稔子, 高田晴子. 寒天寄せ惣菜の物性と嗜好特性について. *日本咀嚼学会誌*. 2002, 131-139.
- 60) 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誌*. 2005, Vol.9(2), 172-179.
- 61) 小城明子, 高木里恵. 残食調査結果から推察される介護老人保健施設入所者の食品群および調理に対する嗜好について. *栄養学雑誌*. 2004, 62(3), 153-160.
- 62) 高橋亮, 西成勝好. おいしさのぶんせき. *ぶんせき*. 2010, Vol.428, 388-

- 394.
- 63) 鳥居邦夫. 食は脳で食べる—嗜好性発現の脳内機序—. *日本食生活学会誌*. 1998, Vol.9(3), 8-12.
- 64) 大坪研一, 内藤成弘. 官能評価とテクスチャー用語. 食品のテクスチャー評価の標準化. 森友彦, 川端晶子編. 光琳, 1997, 1-26.
- 65) Szczesniak, A. Classification of Textural Characteristics. *Food Science*. 1963, Vol.28(4), 385-389. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00215.x>
- 66) 足利千秋. 調理を探る. *調理科学*. 1975, Vol.8(4)
- 67) 村上和保, 門出清香, 表彩子, 佐藤佑子, 竹森真由美, 立道洋子, 和田貴臣, 三好真理. 真空調理過程におけるセレウス菌の消長. *日本家政学会誌*. 2006, Vol.57(12), 793-798.
- 68) Renna, M.; Gonnella, M.; Giannino, D.; Santamaria, P. Quality evaluation of cook-chilled chicory stems (*Cichorium intybus* L., Catalogna group) by conventional and sousvide cooking methods. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 2013, Vol.94(4), 656-665.
- 69) Ahn, J.; Chung, C. The Sensory and Physical Quality of Sous-Vide Cooking Beef Sirloin Meat. *Korean journal of food and cookery science*. 2010, Vol.26(3), 281-289.
- 70) 後藤昌弘. 真空調理法. *神戸女子大学家政学部紀要*. 2006, Vol.3, 23-33.
- 71) 石渡奈緒美, 福岡美香, 為後彰宏, 酒井昇. 真空調理法に基づく畜肉加熱処理時のタンパク質変性分布および微生物挙動の予測. *日本食品工学会誌*. 2013, Vol.14(1), 19-28.
- 72) Zhu, X.; Kaur, L.; Staincliffe, M.; Boland, M. Actinin pretreatment and sous vide cooking of beef brisket: Effects on meat microstructure, texture and in



- vitro protein digestibility. *Meat Science*. 2018, Vol.145, 256-265.
- 73) Vaudagna,S.; Sánchez,G.; Neira,M.; Insani,E.; Picallo,A.; Gallinger,M.; Lasta,J. Sous vide cooked beef muscles:effects of low temperature-long time(LT-LT)treatments on their quality characteristics and storage stability. *International Journal of Food Science&Technology*. 2002, Vol.37(4), 425-441.
- 74) Diaz,P.; Nieto,G.; Garrido,M.;Banon,S. Microbial,physical-chemical and sensory spoilage during the refrigerated storage of cooked pork loin processed by the sous vide method. *Meat Science*. 2008, Vol.80(2), 287-292.
- 75) Roldan,M.; Antequera,T.; Martin,A.;Mayoral,A.; Ruiz,J. Effect of different temperature-time combinations on physicochemical, textural and structural features of sous-vide cooked lamb loins. *Meat Science*. 2013, Vol.93(3), 572-578.
- 76) Pulgar,J.; Gázquez,A.;Carrascal,J. Physico-chemical, textural and structural characteristics of sous-vide cooked pork cheeks as affected by vacuum,cooking temperature,and cooking time. *Meat Science*. 2012, Vol.90(3), 828-835.
- 77) 千国 幸一, 佐々木 啓介, 江森 格, 岩木 史之, 谷 史雄, 中島 郁世, 室谷 進, 三津本 充. 豚肉風味関連物質の含量に対する加熱処理の影響. *日本養豚学会誌*. 2002, Vol.39(3), 191-199.
- 78) 脇雅世. 真空調理法. *調理科学*. 1989, Vol.22(3), 190-195.
- 79) 日本介護食品協議会. “ユニバーサルデザインフード製品試験法”. ユニバーサルデザインフード自主規格第3版. 日本介護食品協議会. 2016, 2-7.
- 80) 沖谷明鈺. 肉の科学. 朝倉書店, 2000.

- 81) Baldwin,D. Sous vide cooking: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. Vol.1, 2012, 15-30.
- 82) 福岡美香, 酒井昇. 加熱調理の最適化を目指した物性変化の予測. *計測と制御*. 2015, Vol.54(5), 356-360.
- 83) 野口知里, 小林身哉, 小山洋一. 20代から50代日本人女性における食事由来コラーゲン推定摂取量の特徴. *栄養学雑誌*. 2012, Vol.70(2), 120-128.
- 84) 右田正男. 蛋白質と調理(V) 肉の加熱による変化(2). *調理科学*. 1969, Vol.2(2), 92-97.
- 85) 高橋節子, 内藤文子, 佐藤之紀, 内藤博, 田中直義, 野口駿. 真空調理法が鶏ささみ肉の物性および食味特性に及ぼす影響. *日本家政学会誌*. 1994, Vol.45(2), 123-130.
- 86) 河内公恵, 大中佳子, 山口真由. 真空調理の風味の変化に関する研究. *鎌倉女子大学学術研究所報*. 2018, Vol.18, 71-75.
- 87) 後藤昌弘, 彼末富貴, 西村公雄, 中井秀了. ランダム・セントロイド最適化法を用いた真空調理によるリンゴコンポートの最適調理条件の決定. *日本家政学会誌*. 2000, Vol.51, 521-525.
- 88) Segovia,P.; Palacios,V.; Bemad,C.; Bello,A.; Carrascosa,R.; Breton,J.; Monz,J. Improvement of a culinary recipe by applying sensory analysis: Design of the New Tarte Tatin. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2012, Vol.1(1), 54-60.
- 89) 坂本薫, 森井沙衣子, 澤村弘美. 災害時の食事に関する検討—野菜・果物摂取およびビタミンCの確保における真空調理の有効性と献立への応用—. *兵庫県立大学環境人間学部研究報告*. 2013, Vol.15, 61-71.

- 90) 西谷真人, 赤染陽子, 神田智正. りんごポリフェノール「アップルフェノン」の生活習慣病に対する有用性. *日本補完代替医療学会誌*. 2009, Vol.6(2), 69-74.
- 91) 小出あつみ, 山内知子, 山本淳子, 松本貴志子. 食材への切り込み操作が高齢者の咀嚼回数と嗜好性に及ぼす影響. *日本調理科学会誌*. 2012, Vol.45(1), 48-55.
- 92) 農林水産省.果樹をめぐる現状. (平成 30 年 9 月)  
<http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/fruits/attach/pdf/index-57.pdf>  
(2019.3.29 参照)
- 93) 農林水産省. 果実の需要と消費をめぐる現状中央果実協会 (公財) 説明  
試料 [http://www.maff.go.jp/j/seisan/engei/ryutu\\_kako/pdf/siryou4.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/engei/ryutu_kako/pdf/siryou4.pdf)  
(2019.3.29 参照)
- 94) 村田容常, 本間清一. ポリフェノールオキシダーゼと褐変制御. *日本食品科学工学会誌*. 1998, Vol.45(3), 177-185.
- 95) 真部正敏. 果実組織の硬度とペクチン質. *日本食品工業学会誌*. 1981, Vol.28(12), 653-659.
- 96) 神田知子. スチームコンベクションオーブン調理と真空調理の野菜の煮物の品質について. *日本調理科学会誌*. 2014, Vol.47(4), 230-232.
- 97) 香西みどり. 野菜の食味と加熱. *日本食生活学会誌*. 2006, Vol.17(2), 100-104.
- 98) 丹波悠輝, 森山三千江, 大羽和子. 真空調理に伴う植物性食品の抗酸化機能成分の変化. *日本調理科学会誌*. 2007, Vol.40(4), 257-265.
- 99) 淵上倫子. 野菜の軟化に及ぼす加熱時の pH の影響. *日本栄養・食糧学会誌*. 1983, Vol.36(4), 219-224.
- 100) 淵上倫子. 調理・加工による食品物性の挙動と組織に関する総合的研

- 究. *日本調理科学会誌*. 2013, Vol.46(2), 65-74.
- 101) 藤井建夫, 塩見一雄. 新・食品衛生学第二版. 恒星社厚生閣, 2018, 228.
- 102) 内閣府食品安全委員会. 役に立つ食中毒の知識.  
[https://www.fsc.go.jp/monitor/moni\\_26/moni26-shiryo1-2-tokyo1.p](https://www.fsc.go.jp/monitor/moni_26/moni26-shiryo1-2-tokyo1.p)  
(2019.3.29 参照)
- 103) 大村浩久, 尊田民喜, 浅田要一郎, 稲富良文, 橘英文. リンゴ酵素褐変系の抗酸化能. *日本食品工業学会誌*. 1975, Vol.22(8), 387-394.
- 104) 白井照幸. 食品におけるメイラード反応. *日本食生活学会誌*. 2015, Vol.26(1), 7-10.
- 105) 村田容常. フェノール類と食品の品質に関する化学的・生化学的研究ー生物活性, 分析法, 酵素的褐変ー. *日本食品科学工学会誌*. 2001, Vol.48(1), 1-7.
- 106) 安藤昭代, 岸野すき江, 松井澄子, 清水恵子. 生ジュースの色の变化. *東海学園大学紀要*. 1974, Vol.9, 19-32.
- 107) 西念幸江, 小澤啓子, 棚橋伸子, 峯木真知子. 真空調理によるりんごコンポート(未加熱)の調製. *東京医療保健大学紀要*. 2007, Vol.1, 17-23.
- 108) Ortiz,A.; Meurlay.; Lara,D.; Symoneaux,R.; Madieta1,E.; Mehinaglc,E.,  
The effects of sous-vide cooking parameters on texture and cell wall modification in two apple cultivars: A response surface methodology approach. *Food Science and Technology International*, 2016, 99-109.
- 109) 宇野和明, 宇野良子, 前田巖, 加田静子. リンゴ果肉の酵素的褐変における速度論的研究. *日本調理科学会誌*. 2001, Vol.33(1), 7-12.
- 110) 水越正彦他. 泡と食品. 食品ハイドロコロイドの開発と応用. 西成勝好監修. シーエムシー出版, 2007, 129-149.

- 111) 藤間紀明, 山村千絵. エスプーマ調理器で泡状に加工した納豆の咀嚼・嚥下特性. *日本咀嚼学会雑誌*. 2012, Vol.22, 113-121.
- 112) 山縣誉志江, 酒井美由季, 栢下淳. 物性調査による嚥下調製食の現状と課題. *日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌*. 2012, Vol.16, 140-147.
- 113) Yasunori, S.; Nobuyoshi, O; Hiroko, M.; Yukihiro, M.; Osami, U. The effect of an oral health care program for improving oral function in community-dwelling elderly. *Arch. Gerontol. Geriatr.* 2010, Vol.51, 125-128.
- 114) Inuma, T.; Arai, Y.; Takayama, M.; Takayama, M.; Abe, Y.; Osawa, Y.; Fukumoto, M.; Fukui, Y.; Shioda, Y.; Hirose, N.; Komiyama, K.; Gionhaku, N. Satisfaction with dietary life affects oral health-related quality of life and subjective well-being in very elderly people. *J. Oral Sci.* 2017, Vol.59, 207-213.
- 115) Peladic, J, N.; Orlandoni, P.; Dell'Aquila, G.; Carrieri, B.; Eusebi, P.; Landi, F.; Volpato, S.; Zuliani, G.; Lattanzio, F.; Cherubini, A. Dysphagia in nursing home residents: Management and outcomes. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 2019, Vol.20, 147-151.
- 116) Sura, L.; Madhavan, A.; Carnaby, G. Crary, A. M. Dysphagia in the elderly : management and nutritional considerations. *Clin. Interv. Aging.* 2012, Vol.7, 287-298.
- 117) Ortega, O.; Martín, A.; Clavé, P. Diagnosis and management of oropharyngeal dysphagia among older persons, state of the art, *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 2017, Vol.18, 576-582.
- 118) Levine, E. M.; Suarez, A. J.; Brandhorst, S.; Balasubramanian, P.; Cheng, C.; Madia, F.; Fontana, L.; Mirisola, G. M.; Guevara-Aguirre, J.; Wan, J.;

- Passarino, G.; Kennedy, K. B.; Cohen, P.; Crimmins, M. E.; Longo, D. V. Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population, *Cell Metab.* 2014, Vol.19, 407-417.
- 119) 阿久澤さゆり, 石川伸一, 寺本明子. “「気軽」にいこう! 料理における気体の役割”, “卵白を使わずにメレンゲをつくる方法”. *The Kitchen as Laboratory 新しい「料理と科学」の世界*. César Vega, Job Ubbink, Erik van der Linden 編. 講談社, 2017, 103-123.
- 120) Pu, W.; Wei, P.; Sun, L.; Jing, F.; Wang, S., Experimental investigation of viscoelastic polymers for stabilizing foam, *J. Ind. Eng. Chem.* 2017, Vol.47,360-367.
- 121) Li, X.; de Vries, R. Interfacial stabilization using complexes of plant proteins and polysaccharides, *Curr. Opin. Food Sci.* 2018, Vol. 21, 51-56.
- 122) 駒込乃莉子, 山本菜美, 和田涼子, 峯木眞知子. 高齢者向きエスプーマ調理法による泡状パン粥の調製. *東京家政大学研究紀要*. 2019, Vol.59, 27-32.
- 123) 高橋智子, 中川裕子, 大越ひろ. 気泡混合ゲルの物理的特性と嚥下特性. *日本調理科学会 2019 年度大会研究発表要旨集*. 2019, 64.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajscs/31/0/31\\_64/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajscs/31/0/31_64/_pdf),  
(閲覧日: 2020/12/1)
- 124) 駒込乃莉子, 山本菜美, 池谷実紀, 中山栞里, 島村綾, 和田涼子, 峯木眞知子. エスプーマ調理法による高齢者向け米粥の調製. *日本家政学会 70 回大会研究発表要旨集*. 2018.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kasei/70/0/70\\_153/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kasei/70/0/70_153/_pdf/-char/ja), (閲覧日: 2020/12/1)

- 125) 富永美穂子, 中野綾香, 富眞真美, 湯浅正洋. 牛乳・乳製品エスプーマの物性と嗜好性. 日本調理科学会平成 30 年度大会研究発表要旨集.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajscs/30/0/30\\_101/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajscs/30/0/30_101/_article/-char/ja),  
(閲覧日: 2020/12/1)
- 126) 宮下朋子, 長尾慶子. フレンチメレンゲの性状や嗜好性に及ぼす気泡の影響と嚥下困難者食品への利用適正. 家政誌. 2013, Vol.64, 725-732.
- 127) 舘村卓. “生理学に基づく対応”. 臨床の口腔生理学に基づく摂食・嚥下障害のキュアとケア. 医歯薬出版株式会社, 2009,60-146.
- 128) 海老原孝枝. “高齢者の食事と栄養・口腔ケア”. 高齢者の摂食・嚥下障害とその対策. 公益財団法人長寿科学振興財団, 2020, 97-108.
- 129) 富永美穂子, 富眞真美, 湯浅正洋. 牛乳・発酵乳エスプーマの物理的特徴. 日本調理科学会平成 29 年度大会研究発表要旨集.  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajscs/29/0/29\\_106/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ajscs/29/0/29_106/_article/-char/ja/)  
(閲覧日: 2020/12/1)
- 130) 北畠直文, 土井悦四郎. 食品タンパク質の泡沫特性. *New Food Industry*. 1983, Vol.25, 63-75.
- 131) Nagele, P.; Duma, A.; Kopec, M.; Anne, M.; Gebara, A. M.; Parsoei, A.; Walker, M.; Janski, A.; Panagopoulos, N. V.; Cristancho, P.; Miller, P. J.; Zorumski, F. C.; Conway, R. C., Nitrous oxide for treatment-resistant major depression: A proof-of-concept trial. *Biol. Psychiatry*, 2015, Vol.78, 10-18.
- 132) 駒井三千夫, 井上貴詞, 長田和実. 口腔・鼻腔の三叉神経を介した刺激性物質の受容機構. *におい・かおり環境学会誌*. 2006, Vol.37(6), 408-416.
- 133) Wise, P.; Wolf, M.; Thom, S.; Bryant, B. The Influence of Bubbles on the Perception Carbonation Bite. *PLoS One*. 2013, Vol.8(8),  
doi:10.1371/journal.pone.0071488.

134) Moritaka,H.; Kitade,M.; Sawamura,S.; Takihara,T.; Awano,I.; Ono,T.; Tamine,K.; Hori,K. Effect of Carbon Dioxide in Carbonated Drinks on Linguopalatal Swallowing Pressure. *Chemical Senses*. 2014, Vol. 39(2), 133-142.

<https://doi.org/10.1093/chemse/bjt062>

135) Krival,K.; Bates,C. Effects of club soda and ginger brew on linguopalatal pressures in healthy swallowing. *Dysphagia*. 2012, Vol.27(2), 228-239. *Chemical Senses*. 2014, Vol.39(2), 133-142.

<https://doi.org/10.1093/chemse/bjt062>

136) Regan J. Impact of Sensory Stimulation on Pharyngo-esophageal Swallowing Biomechanics in Adults with Dysphagia: A High-Resolution Manometry Study. *Dysphagia*. 2020, Vol.35(5), 825-833.

137) Sdravou,K.; Walshe,M.; Dagdilelis,L. Effects of carbonated liquids on oropharyngeal swallowing measures in people with neurogenic dysphagia. *Dysphagia*. 2012, Vol.27(2), 240-250.

138) Larsson,V.; Torisson,G.; Bülow,M.; Londos,E. Effects of carbonated liquid on swallowing dysfunction in dementia with Lewy bodies and Parkinson' disease dementia. *Clinical Interventions in Aging*. 2017, Vol.12, 1215-1222.

DOI:10.2147/CIA.S140389

139) Morishita,M.; Sanae Mori,S.; Yamagami,S.; Mizutani,M. Effect of carbonated beverages on pharyngeal swallowing in young individuals and elderly inpatients. *Dysphagia*. 2014, Vol.29(2), 213-222.



- 140) 日本摂食嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会. 嚥下造影の検査法 (詳細版). 日本摂食嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会. 2014.
- 141) 野原舞, 安江香, 栢下淳. 飲み込みやすいミキサー粥の物性についての研究. *県立広島大学人間文化学部紀要*. 2009, Vol.4, 47-54.
- 142) 田中朝子, 中曽根真未. 真空調理法および通常調理法を用いた根菜煮物のできばえの比較. *人間生活学研究*. 2016, Vol.7, 21-32.
- 143) 生野世方子, 山内直樹, 芥田暁栄. 豆類の真空調理について. *調理科学会誌*. 1991, Vol.24(2), 103-107.
- 144) 村上和保, 門出清香, 表彩子, 佐藤佑子, 竹森真由美, 立道洋子, 和田貴臣, 三好真理. 真空調理過程におけるセレウス菌の消長. *日本家政学会誌*. 2006, Vol.57(12), 793-798.
- 145) Miyazawa,F.; Eto, K.; Kanai,M.; Kashima,M.; Sasaki,H.; Koike,Y.; Tani, T. Microbial Contaminants in Foods Prepared by Vacuum-Packed Pouch Cooking (Sous-Vide). *Food Hygiene and Safety Science*. 1994, Vol.35(5), 530-537.
- 146) 古屋純一, 織田展輔, 長谷理恵, 阿部里紗子, 鈴木哲也. 大学病院歯科医療センターにおける摂食・嚥下リハビリテーションの現状とその効果. *老年歯学*. 2009, Vol.24(1), 37-47.
- 147) 常行 美貴, 加藤 智絵里, 平山 裕次, 斎藤 幹, 丹生 健一. 口腔・中咽頭癌術後における言語聴覚士が関わる咀嚼・嚥下のリハビリテーション. *頭頸部癌*. 2008, Vol.34(3), 388-392.
- 148) Lin,S.; Lin,K.; Tsai,Y.; Chiu,E.Effects of a food preparation program on dietary well-being for stroke patients with dysphagia. *Medicine*

- (*Baltimore*). 2021, Vol.100(25): e26479. Published online 2021 Jun 25. doi:  
10.1097/MD.00000000000026479
- 149) Villiers, M.; Hanson, B.; Moodley, L.; Pillay, M. The impact of modification techniques on the rheological properties of dysphagia foods and liquids. *J Texture Stud.* 2020, Vol.51(1), 154-168. doi:10.1111/jtxs.12476. Epub 2019 Sep 1.
- 150) Lee, A.; Pant, A.; Pojchanun, K.; Lee, C.; An, J.; Hashimoto, M.; U-Xuan, T.; Leo, C.; Wong, G. Chua, C.; Zhang, Y. Three-Dimensional Printing of Food Foams Stabilized by Hydrocolloids for Hydration in Dysphagia. *Int J Bioprint.* 2021, Vol.7(4), 393. Published online 2021 Jul 26. doi: 10.18063/ijb.v7i4.393
- 151) Sungsinchai, S.; Niamnuy, C.; Wattanapan, P.; Charoenchaitrakool, M.; Devahastin, S. Texture Modification Technologies and Their Opportunities for the Production of Dysphagia Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2019, Vol.18(6), 1898-1912. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12495>
- 152) 加藤英二. 外食の調理技術×医療福祉の知識で, 広がる食の自由度と食の多様性. 第26・27回日本摂食・嚥下リハビリテーション学会学術大会要旨集. 2021, 124.

## 資料

### <リンゴ官能評価同意書>

## 同 意 書

わたしは、「低温調理による食材への長時間加熱の影響と調理条件の最適化」に関する研究の目的と方法について、内容を十分に理解しました。

わたしは、りんごによりアレルギー症状を起こしたことはありません。

さらに、この研究に協力している途中で健康状態に変化が生じた場合には、直ちに中断して適切な対応を受けられることの説明を受けました。

また、協力を継続できなくなった場合には任意に辞退することができ、そのことによる私への不利益は決してないことも説明され、了承しました。

この研究の内容については自由に第三者に説明ができ、結果は知らされることも了解しました。

上記のことを了解しましたので、本書類への署名をもってこの研究に協力し、参加することに同意します。

平成            年            月            日

氏 名 \_\_\_\_\_

＜リンゴ官能評価用紙＞

リンゴ 官能評価試験シート(2018.1)

性別 ( 男 ・ 女 )      年齢 (      ) 歳

Q 1 各項目について、サンプルAの「ふつう」を基準にしたとき、各サンプルはどの程度ですか。あてはまる欄に○をつけて下さい。

<b>①かたさ</b>	非常に 柔らかい	やや 柔らかい	ふつう	やや 硬い	非常に 硬い	<b>④香り</b>	非常に 弱い	やや 弱い	ふつう	やや 強い	非常に 強い	
	A		○				A			○		
	B						B					
	C						C					
	D						D					
<b>②甘さ</b>	非常に 弱い	やや 弱い	ふつう	やや 強い	非常に 強い	<b>⑤色</b>	非常に 暗い	やや 暗い	ふつう	やや 明るい	非常に 明るい	
	A						A			○		
	B						B					
	C						C					
	D						D					
<b>③酸味</b>	非常に 弱い	やや 弱い	ふつう	やや 強い	非常に 強い	<b>⑥好み</b>	非常に 嫌い	やや 嫌い	ふつう	やや 好み	非常に 好み	
	A						A			○		
	B						B					
	C						C					
	D						D					

<牛すね肉・豚すね肉官能評価同意書>

同 意 書

わたしは、「低温調理による食材への長時間加熱の影響と調理条件の最適化」に関する研究の目的と方法について、内容を十分に理解しました。

わたしは、牛肉、豚肉によりアレルギー症状を起こしたことはありません。

さらに、この研究に協力している途中で健康状態に変化が生じた場合には、直ちに中断して適切な対応を受けられることの説明を受けました。

また、協力を継続できなくなった場合には任意に辞退することができ、そのことによる私への不利益は決してないことも説明され、了承しました。

この研究の内容については自由に第三者に説明ができ、結果は知らされることも了解しました。

上記のことを了解しましたので、本書類への署名をもってこの研究に協力し、参加することに同意します。

平成            年            月            日

氏 名 \_\_\_\_\_

＜牛すね肉官能評価用紙＞

官能評価試験シート(2017.12.12)

性別 ( 男 ・ 女 )      年齢 (      ) 歳

Q 1 <牛肉について>

各項目について、サンプルAの「ふつう」を基準にしたとき、各サンプルはどの程度ですか。あてはまる欄に○をつけて下さい。

<p><b>①かたさ</b></p> <p>非常に柔らかい      やや柔らかい      ややふつう      やや硬い      非常に硬い</p> <p>A      B      C      D</p>	<p><b>⑤脂っこさ</b></p> <p>非常に弱い      やや弱い      ふつう      やや強い      非常に強い</p> <p>A      B      C      D</p>
<p><b>②多汁感</b></p> <p>非常に乾燥      やや乾燥      ややふつう      ややジューシー      非常にジューシー</p> <p>A      B      C      D</p>	<p><b>⑥色</b></p> <p>非常に暗い      やや暗い      ふつう      やや明るい      非常に明るい</p> <p>A      B      C      D</p>
<p><b>③うま味</b></p> <p>非常に弱い      やや弱い      ふつう      やや強い      非常に強い</p> <p>A      B      C      D</p>	<p><b>⑦好み</b></p> <p>非常に嫌い      やや嫌い      ふつう      やや好み      非常に好み</p> <p>A      B      C      D</p>
<p><b>④香り</b></p> <p>非常に弱い      やや弱い      ふつう      やや強い      非常に強い</p> <p>A      B      C      D</p>	

## 〈豚すね肉官能評価用紙〉

### 〈豚肉について〉

**Q 2** 各項目について、サンプルAの「ふつつ」を基準にしたとき、各サンプルはどの程度ですか。あてはまる欄に○をつけて下さい。

<p><b>①かたさ</b></p> <p>非常に 柔らかい</p> <p>やや 柔らかい</p> <p>ふつつ</p> <p>やや 硬い</p> <p>硬い</p> <p>非常に 硬い</p>	<p><b>⑤脂っこさ</b></p> <p>非常に 弱い</p> <p>やや 弱い</p> <p>ふつつ</p> <p>やや 強い</p> <p>強い</p> <p>非常に 強い</p>	<p><b>②多汁感</b></p> <p>非常に 乾燥</p> <p>やや 乾燥</p> <p>ふつつ</p> <p>やや ジューシー</p> <p>ジューシー</p> <p>非常に ジューシー</p>	<p><b>⑥色</b></p> <p>非常に 暗い</p> <p>やや 暗い</p> <p>ふつつ</p> <p>やや 明るい</p> <p>明るい</p> <p>非常に 明るい</p>
<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>
<p><b>③うま味</b></p> <p>非常に 弱い</p> <p>やや 弱い</p> <p>ふつつ</p> <p>やや 強い</p> <p>強い</p> <p>非常に 強い</p>	<p><b>⑦好み</b></p> <p>非常に 嫌い</p> <p>やや 嫌い</p> <p>ふつつ</p> <p>やや 好み</p> <p>好み</p> <p>非常に 好み</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>
<p><b>④香り</b></p> <p>非常に 弱い</p> <p>やや 弱い</p> <p>ふつつ</p> <p>やや 強い</p> <p>強い</p> <p>非常に 強い</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>	<p>a</p> <p>b</p> <p>c</p> <p>d</p>

## &lt; エスプーマ官能評価同意書 &gt;

## 同 意 書

わたしは、「エスプーマ処理が豆乳の官能特性に及ぼす影響について」に関する研究の目的と方法について、内容を十分に理解しました。

わたしは、大豆・大豆製品によりアレルギー症状を起こしたことはありません

さらに、この研究に協力している途中で健康状態に変化が生じた場合には、直ちに中断して適切な対応を受けられることの説明を受けました。

また、協力を継続できなくなった場合には任意に辞退することができ、そのことによる私への不利益は決してないことも説明され、了承しました。

この研究の内容については自由に第三者に説明ができ、結果は知らされることも了解しました。

上記のことを了解しましたので、本書類への署名をもってこの研究に協力し、参加することに同意します。

平成            年            月            日

氏 名 \_\_\_\_\_



## &lt; エスプーマ官能評価票 &gt;

## エスプーマの官能試験

平成 31 年 1 月 10 日

性別( 男 ・ 女 )      年齢(      ) 歳

Q1 サンプルAの「ふつう」を基準としたとき、各サンプルはどの程度ですか。当てはまる欄に○を付けてください。

<p><b>① 飲み込みやすさ</b></p> <p>飲み込み  やや飲み  ふつう  やや飲み  飲み込み にくい    込みにくい       込みにやすい    やすい</p>	<p><b>④ 甘味</b></p> <p>甘くない    やや  ふつう  やや  甘い 甘くない    甘い</p>
<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>	<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>
<p><b>② べたつきやすさ</b></p> <p>べたつか  ややべた  ふつう  やや  べたつく ない    つかない       べたつく</p>	<p><b>⑤ 苦味</b></p> <p>苦くない    やや  ふつう  やや  苦い 苦くない    苦くない</p>
<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>	<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>
<p><b>③ 香り</b></p> <p>弱い    やや弱い  ふつう  やや強い  強い</p>	<p><b>⑦ 総合評価</b></p> <p>好ましく  やや好ま  ふつう  やや  好ましい ない    しくない       好ましい</p>
<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>	<p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p>

Q2 各サンプルのうち、最も好みのもの1つに○を付けてください。

サンプル	A	B	C	D
------	---	---	---	---

Q3 サンプルや官能試験について感じたことを自由に記入してください。(任意)

ご協力ありがとうございました。