

平成 25 年度 学位論文

気泡分散系食品の品質と QOL を高める
嚥下困難者用食品への提案

指導教員 長尾慶子教授

東京家政大学大学院
家政学研究科
人間生活学専攻

宮下朋子

気泡分散系食品の品質と QOL を高める 嚥下困難者用食品への提案

宮下朋子

食品のおいしさの重要な要素であるテクスチャーは、含まれる成分や加工方法などの要因によって様々に変化する。中でも、食品中に気泡を含有・分散させた場合、外観はもとより、食品の物性、食感などが変化し、嗜好性が向上する。

本論文では、性質の異なる泡沫系食品として、鶏卵白（メレンゲ）、自然薯入り米粉（蒸しパン）および“煮凝り”を想定した攪拌自然薯ゼラチンゲルの3種をとりあげ、それぞれの連続相に、気泡を加熱または冷却によって固定・分散させ、各食品の物理的性状に及ぼす気泡の影響と嗜好性について検討した。さらに、これら製品を用いて調製した“嚥下困難者用食品”への利用適性について検討を行なった。本論文は以下の4章で構成されている。

第1章では、フレンチメレンゲの性状に及ぼす卵白気泡の影響を知るため、メレンゲ中に分散する気泡の状態と製品の性状を、物性試験と官能評価から検討した。さらに焼成したフレンチメレンゲにとろみ液を混合した製品を調製し、嚥下困難者用食品としての利用適性を検討した。

その結果、加熱前の生メレンゲのテクスチャーは、消費者庁による嚥下困難者用食品の許可規準ⅡまたはⅢに該当した。焼成メレンゲのみかけの破断応力は、攪拌7分の試料が最も低く、砕けやすかった。また、気泡面積と破断応力の間には、 $r = 0.961$ の高い相関関係が認められた。上記7分試料にとろみ液を混合した製品（以下、とろみ液混合メレンゲ）は、嚥下困難者用食品の許可規準Ⅲに該当した。官能評価の結果でも、とろみ液混合メレンゲ製品は、攪拌7分の試料が最も好まれた。以上のように、加熱前(生)および焼成後のメレンゲは、含有する気泡量を攪拌時間でコントロールする事で、嚥下困難者用食品としての基準に合致した製品の調製が可能となることが示唆された。

第2章では、著者の地元、福島県産の粘りの強いヤマノイモ(自然薯)を用いて気泡含有食品に入れた。福島産の粘りの強い自然薯を用いて、攪拌時間を変え含有気泡量を変えた各試料に、米粉を加えた蒸しパン製品を調製し、製品中に分散する気泡の状態が蒸しパンの品質に及ぼす影響について検討した。次いでこれらの自然薯蒸しパンに水を加えて蒸しパン粥を調製し、嚥下困難者用食品としての利用適性を検討した。

その結果、自然薯蒸しパン製品の比容積[容量 / 重量]は、攪拌時間10分までは上昇し、膨化は最大となった。自然薯蒸しパンから調製した自然薯粥の官能評価では、攪拌8分の製品が飲み込

みやすさおよび味において有意に好まれた。抗酸化能の指標の一つである ORAC 値は、生自然薯皮付きで 361 $\mu\text{mol Trolox Equivalent (TE)}/100\text{g}$ の高い抗酸化能が明らかとなったが、自然薯蒸しパンおよび蒸しパン粥にも抗酸化能が認められた。今後は、副材料を工夫することで抗酸化能、嗜好性ともに高めた製品の調製が期待できる。

第 3 章では、上記、自然薯を用いて、攪拌時間を変え、含有気泡量の異なる各試料をゼラチンゾルに加えて、自然薯・ゼラチンゲル試料を調製し、製品中に分散する気泡の状態が製品の品質や熱移動に及ぼす影響を検討した。次いでこれら自然薯ゲル製品の嚥下困難者用への利用適性について検討した。

その結果、気泡含有量の指標となるみかけ密度は、攪拌時間 10 分までは低下し、その後定常となった。このことは、攪拌 10 分で混入気泡量が最大となることを示している。各試料ゾルを 5°C で冷却しゲル化する際の内部温度下降速度は、攪拌時間が長く、混入する気泡量が多につれて緩慢になった。このことは、気泡含有自然薯ゲル製品の調製には、十分なゲル化時間をとる必要があることを示唆している。本研究における調製条件での自然薯ゲル試料のテクスチャーは、いずれも嚥下困難者用食品の許可基準ⅡないしⅢに該当した。官能評価では、8 分の試料は、攪拌時間の短い 2 分の製品に比べて総合評価において高い評価を得ていた。今後は、製品にだし汁や塩分などの副材料を添加することで、嗜好的にも好まれる惣菜料理への利用が期待できる。

第 4 章では、本研究で取り上げてきた、メレンゲ、攪拌自然薯に、魚肉落とし身とその残渣部から取った煮汁（冷却により煮凝り化する）を混合した“魚肉混合ムース製品”を調製し、この製品の物性、抗酸化性および嗜好性について検討した。さらに、嚥下困難者用食品としての適性を検討した。その結果、“タラムース製品”の ORAC 値は、583 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ であり、高い抗酸化能を有することが認められた。また、“タラムース製品”のテクスチャーは、嚥下困難者用食品の許可基準Ⅲにほぼ該当していた。さらに嗜好性においても、総合評価において良い評価を得ており、嚥下困難者用食品として適することが示唆された。

以上の結果から、“タラムース製品”は、調味料に味噌を用いたり、魚の残渣部から取った煮汁を加えるなどの嗜好面、物性面における工夫を講じることで、抗酸化能も高く、より満足できる製品の調製が期待できる事を明らかにした。

本研究で得られた成果は高齢者用食品の品質を高め、摂食者の QOL を高める製品への応用が期待できる。

Quality of food products with air bubble dispersions and proposals for dysphagia diets to improve quality of life for elderly people

Tomoko Miyashita

Texture is an important element in the taste of food and varies based on factors such as processing methods and ingredients used. In particular, air bubbles dispersed in a food product not only change its appearance, elasticity, and texture, but also improve its palatability.

Focusing on three types of foam-based food products (meringue, rice flour with Japanese yam, and yam-gelatin gel), this study examined the effects of air bubbles on the physical properties and preference of each product through gelation and dispersion of air bubbles. In addition, the study also examined the suitability of each product for “dysphagia diets.” This study is organized into four chapters.

In chapter 1, the effects of different quantities of air bubbles on the properties of prebaked French meringue and the preferences for it were examined. The chapter also researched the suitability of baked meringue in a liquid form for dysphagia diets. The texture of the prebaked meringue sample corresponded to Level II or III of the approved criteria for dysphagia diets by Consumer Affairs Agency, Government of Japan. The apparent rupture stress of the prebaked meringue was the smallest with a whipping time of 7 min. A high correlation between the rupture stress and air bubble size was observed ($r = 0.961$). The baked meringue in the liquid form corresponded to Level III of the approved criteria. The sensory evaluation of the baked meringue sample in its liquid form achieved the highest score. This chapter indicated that it was possible to prepare prebaked and baked meringue samples for dysphagia diets by controlling the quantity of air bubbles present in the meringue using the whipping time.

In chapter 2, the effects of different quantities of air bubbles on the properties and preference of steamed bread containing Japanese yams with a strong stickiness harvested in the Fukushima Prefecture were examined, and the suitability of steamed bread gruel for dysphagia diets was investigated. The apparent density of a pre-steamed sample continued to increase up to 10 min of whipping time, and the degree of swelling increased similarly. A sensory evaluation showed that the steamed bread gruel with 8 min of whipping time was preferred. The ORAC values were 361 μmol

Trolox Equivalent (TE)/100g for unpeeled Japanese yams, 76 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ for steamed Japanese yam bread, and 25 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ for its gruel. Japanese yam products will be desirable and have an antioxidant capacity when secondary materials were used.

In chapter 3, the samples using Japanese yams with a strong stickiness harvested in the Fukushima Pref. were made with different quantities of air bubbles by changing the whipping time. Gelatin gel was then added to the samples. The effect of different quantities of air bubbles on the properties and heat transfer of the yam-gelatin gel samples was examined. In addition, the suitability of the yam-gelatin samples for dysphagia diets was investigated. The results showed that, while the apparent density of the samples continued to decrease up to 10 min of whipping time, it remained constant thereafter. The temperature-lowering speed inside each sample cooled at 5 °C decreased according to increasing the amount of air bubbles. The texture of the samples corresponded to Level II or III of the approved criteria for dysphagia diets. The sensory evaluation of the sample with an 8 min whipping time was the highest. It is likely that the Japanese yam products will be desirable in dishes added to secondary materials such as stock or salt.

In chapter 4, an air bubble containing fish meat product, i.e., Alaska pollack mousse was prepared by mixing the fish meat with yam, meringue and broth which taken from the residue portion which became the aspic 'Nikogori' by cooling. Then, the physical properties, antioxidant activity and preference of the product were examined. The suitability of fish mousse for a dysphagia diet was also researched. The ORAC value of Alaska pollack mousse was 583 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$, which showed that the mousse had a high antioxidant capacity. In addition, the texture of the product corresponded to Level III of the approved criteria for dysphagia diets. A sensory evaluation of the fish mousse rated it high in palatability, further demonstrating its suitability for dysphagia diets. It was also mentioned that the quality of Alaska pollack mousse would be improved if new food processing methods were devised using miso paste as seasoning and adding the aspic 'Nikogori' sol.

It was expected that the findings of this study would make a major contribution toward improving the dysphagia diets and quality of life (QOL) of elderly people.

平成 25 年度 学位論文

気泡分散系食品の品質と QOL を高める
嚥下困難者用食品への提案

指導教員 長尾慶子教授

東京家政大学大学院
家政学研究科
人間生活学専攻

宮下朋子

目 次

序 論

1. 高齢社会における嚥下困難者用食品の必要性と 気泡含有食品の可能性	1
2. 嚥下困難者用食品について	2
3. 食品中に存在する気泡のコロイド粒子学的認識	4
4. 食品中の気泡に関する従来の研究成果	6
5. 本研究の概要	9

第 1 章 フレンチメレンゲの品質に及ぼす気泡の影響と 嚥下困難者用食品への利用適性

1. 諸言	12
2. 実験方法	13
2.1 実験材料	13
2.2 試料調製	13
2.3 測定項目及び測定方法	15
1) 生メレンゲ試料の品質特性	15
2) 焼成メレンゲ試料の品質特性	16
3) トロミ混合メレンゲ試料の品質特性	17
4) 統計処理	19
3. 結果及び考察	19
3.1 生メレンゲ試料の測定結果	19
1) 内部観察	19
2) みかけ密度	19

3)	分離液量	21
4)	テクスチャー測定	24
3.2	焼成メレンゲの測定結果	24
1)	外観観察	24
2)	内部観察	27
3)	比容積	29
4)	水分蒸発量	29
5)	みかけの破断応力	29
6)	気泡面積と破断応力との関係	29
3.3	トロミ混合メレンゲの測定結果	34
1)	テクスチャー測定	34
2)	官能評価結果	34
4.	小括	37

第2章 自然薯蒸しパンの品質に及ぼす気泡の影響と

嚥下困難者用食品への利用適性

1.	諸言	38
2.	実験方法	39
2.1	実験材料	39
2.2	試料調製	39
1)	自然薯蒸しパンの調製	39
2)	自然薯蒸しパン粥の調製	40
2.3	測定項目及び測定方法	40
1)	自然薯蒸しパンの加熱前バター試料の基礎特性	40

2)	自然薯蒸しパン試料の品質特性	40
3)	蒸しパン粥試料の品質特性	42
4)	ORAC法による抗酸化能の測定	43
5)	統計処理	45
3.	結果及び考察	45
3.1	生自然薯の抗酸化能の測定結果	45
3.2	自然薯蒸しパン加熱前バター試料の測定	46
1)	みかけ密度	46
3.3	自然薯蒸しパン製品の品質評価	47
1)	断面観察	47
2)	蒸しパン製品内部の検鏡観察	49
3)	比容積	49
4)	圧縮試験による圧縮エネルギーの比較	51
5)	官能評価	54
3.4	自然薯蒸しパン粥の品質評価	54
1)	テクスチャー測定	54
2)	官能評価	57
3.5	自然薯蒸しパン及びパン粥製品の抗酸化能評価	57
4.	小括	60

第3章 自然薯ゼラチンゲル製品の品質に及ぼす気泡の影響 と嚥下困難者用食品への利用適性

1.	諸言	62
2.	実験方法	63
2.1.	実験材料	63

2.2.	試料調製	63
1)	ゼラチンゾルの調製	63
2)	起泡自然薯の調製	63
3)	自然薯混合ゼラチンゾル及びゲルの調製	63
2.3.	測定項目及び測定方法	64
1)	ゼラチンゾル及び起泡自然薯の圧縮試験	64
2)	自然薯ゲルのみかけ密度	65
3)	走査型電子顕微鏡による自然薯ゲルの 内部観察及び混入気泡面積の解析	65
4)	自然薯ゲルの圧縮エネルギー	66
5)	冷却下における自然薯ゲル試料の 内部熱移動速度の算出	66
6)	自然薯ゲルのテクスチャー測定	66
7)	官能評価	67
8)	統計処理	67
3.	結果及び考察	69
1)	品温別ゼラチンゾル及び起泡自然薯試料の最大応力	69
2)	自然薯ゲル製品内部の顕微鏡観察結果	72
3)	自然薯ゲル製品のみかけ密度	74
4)	自然薯ゲル製品の圧縮エネルギー	74
5)	混入気泡面積と圧縮エネルギーとの関係	77
6)	冷却中の内部温度降下曲線と 定数 $[\tau_c(x)]$ の比較	77
7)	自然薯ゲルの嚥下困難者用食品としての評価	81

4. 小括	85
第4章 気泡含有魚肉ムース状製品の創成とQOLを高める 嚥下困難者用食品への利用適性	
1. 諸言	87
2. 実験方法	89
2.1 実験材料及び材料配合	89
1) 魚肉混合ムース製品の材料	89
2.2 試料調製	90
1) 測定試料の調製方法	90
2.3 測定項目及び測定方法	91
1) テクスチャー測定	91
2) 官能評価	91
3) 抗酸化能の測定方法	92
4) 統計処理	93
3. 結果及び考察	93
3.1 テクスチャーの検討	93
3.2 官能評価からの検討	95
3.3 抗酸化能の検討	98
4. 小括	100
総括	102
用語解説	112
引用文献	116
公表論文目録	132
謝辞	133

序 論

1. 高齢社会における嚥下困難者用食品の必要性と気泡含有食品の可能性

現在の我が国では，世界でも例を見ない急速な高齢化が進んでおり，65歳以上の高齢者人口は，平成24年10月1日現在で過去最高の3.079万人となり，実にその数は，日本人口の23.3%に及ぶ¹⁾。このような中で，老化や脳血管障害などの後遺症から嚥下困難に陥る高齢者が多い²⁻³⁾。嚥下障害が起こると様々な問題が起こるが，特に大きな問題は嚥下障害により起こる内科的問題であり，食物と一緒に口腔や咽頭内の細菌を誤嚥することにより起こる誤嚥性肺炎，誤嚥により食物が気管をふさぐ窒息，摂食，嚥下障害が進むことによる栄養不良，脱水などが上げられる⁴⁾。これを避けるために行なわれるのは，鼻からチューブを挿入して流動食を補給する経鼻的経管栄養法，外科的または経皮内視鏡的にチューブを入れ，栄養補給をする胃ろう栄養法，静脈へカテーテルを挿入して栄養補給をする中心静脈栄養法³⁻⁴⁾である。しかし，人にとって，口から食事をする事は生きる喜びにつながり，ひいてはQOL (Quality of Life) にも影響してくる⁴⁻⁷⁾。こうしたことから，誤嚥の危険性がなく，口から安心しておいしく食べられる嚥下困難者用食品の開発が急がれている。

現在，特に施設においては，食事提供における作業効率を重視し，ミキサー食の提供を余儀なくしている所も多い。しかしミキサー食は，嚥下困難者が物理的に食することは可能

でも、嗜好性が低いという問題点がある⁸⁾。こうした現状から、良好な嚥下困難対応食の開発は極めて重要である⁷⁾。

また、人は過去の食経験の中で慣れ親しんできた食物に対して安心感を持つ⁹⁾。高齢者の地元や家庭の味である食物を積極的に食事に取り入れるとともに、食材や調味料など、食品が持つ健康機能性も付加させることで、食事の質が上がり、生きる気力が向上し、たとえ嚥下困難という障害を持ったとしても、QOLを向上させた食事を摂取することが可能であると考えられる。

本研究で取り上げた“気泡”は、気泡が入ることにより食品を柔らかくするとともに、多孔質構造ゆえに水分が加わると容易に吸収し、膨潤しやすい性質を食品に付加させる。

このような”気泡”の性質は、嚥下困難者用食品への展開に大いに貢献してくれるものと考えられる。

2. 嚥下困難者用食品について

嚥下障害は、口腔内に取り込んだ食物や水を、咽頭から食道へと送る機能が低下することにより起こる³⁻⁴⁾。したがって摂取できる食品は、適度に柔らかく、べたつかず、まとまりやすい物性を持っていなければならない¹⁰⁾。現在、消費者庁が定める“嚥下困難者用食品”は、以下の測定条件によって出されたテクスチャー値を、表 I の基準に照らし、判断・区分される¹¹⁾。

表 I 嚥下困難者用食品の規格基準¹¹⁾

規 格 ※1	許 可 基 準 I ※2	許 可 基 準 II ※3	許 可 基 準 III ※4
硬 さ (一定速度で圧縮したときの抵抗) (N/m ²)	2.5 × 10 ³ ~ 1 × 10 ⁴	1 × 10 ³ ~ 1.5 × 10 ⁴	3 × 10 ² ~ 2 × 10 ⁴
付 着 性 (J/m ³)	4 × 10 ² 以下	1 × 10 ³ 以下	1.5 × 10 ³ 以下
凝 集 性	0.2 ~ 0.6	0.2 ~ 0.9	—
※1 常温及び喫食の目安となる温度のいずれかの条件であっても規格基準の範囲以内であること。			
※2 均質なもの(例えば,ゼリー状の食品)			
※3 均質なもの(例えば,ゼリー状又はムース状等の食品)。ただし,許可基準 I を満たすものを除く。			
※4 不均質なものも含む。(例えば,まとまりの良いおかゆ,やわらかいペースト状又はゼリー寄せ等の食品。)ただし,許可基準 I 又は許可基準 II を満たすものを除く)			

2.1 硬さ, 付着性及び凝集性の試験方法

試料を直径 40mm, 高さ 20mm(試料が零れる可能性がない場合は, 高さ 15mm でも可)の容器に高さ 15mm に充填し, 直線運動により物質の圧縮応力を測定することが可能な装置を

用いて、直径 20mm、高さ 8mm 樹脂製のプランジャーを用い、圧縮速度 10mm/sec、クリアランス 5mm で 2 回圧縮測定する。測定は、冷たくして食する又は常温で食する食品は $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、暖かくして食する食品は、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 及び $45\pm 2^{\circ}\text{C}$ で行なう。

3. 食品中に存在する気泡のコロイド粒子学的認識

”気泡”が食品中に入ることによって物性や嗜好性に影響する。しかし、こうした影響は食品に限る事ではない。気泡は、さまざまな物質に含まれ、それを含む物質の性状に影響を及ぼすことから、気泡に関する研究は、物理学、工学¹²⁻¹⁵⁾、医学をはじめ多くの分野でなされている。

食品学に関連する分野においては、食品は非常に多くの成分が不均一に分散した複雑な系をなしているため、コロイド科学の視点から食品を区分することが有効とされ、表 II のように分類される。ここに示すように、“気泡”は、分散媒が液体で分散質が気体である“泡”と、分散媒が固体で分散質が気体である“固体泡”の 2 種類に分類される¹⁶⁾。

前者の“泡”は、調製過程での加熱やゲル化により分散媒が液体から固体へと変化することで“固体泡”に変化し、固定化される¹⁷⁾。したがって、“泡”の安定性は、“固体泡”の量や質にも影響する。“泡”は液体に対する比率が小さい場合は球状であるが、その比率が増加していくと、次第に多面体構造になっていく。ほとんどの場合、“泡”は多くの気泡が集合してこの構造を形成しており、その気体含有率が高いほど密度は小さくなり、また気泡が小さくなるにつれて表

面積が増す¹⁷⁻¹⁸⁾。分散媒に占める気泡の最大容積分率は理

表 II 粒子コロロイドの分類と食品の実例¹⁶⁾

分散媒	分散質	コロロイド名称	食品の実例
液体	液体	液体エアロゾル	調理時の湯気, 天ぷら時の油ハネ
	固体	固体エアロゾル	小麦粉の粉塵, 燻製時の煙
液体	気体	泡	ビールの泡, <u>メレンゲ</u> , マシユマロ
	液体	エマルション	マヨネーズ, ドレッシング 牛乳 生クリーム
	固体	サスペンション	スープ, ココアドリンク バター
	気体	固体泡	ケーキ, スナック, 凍結乾燥食品, <u>パン</u> , <u>ムース</u> , <u>焼成メレンゲ</u>
	液体	固体エマルション	野菜, 果物, 大豆の細胞
固体	固体コロロイド	チョコレート, カレールー	
			ホイップドクリーム バタークリーム ケーキ生地 野菜の葉, ナス

Wo. Oswald(1907)¹⁶⁾を一部改変。下線は本研究で検討した食品を記載。

論的に 0.74 であり¹⁷⁻¹⁸⁾，その表面積は非常に大きくなる。このように広い表面積を持つ気泡に界面活性物質が共存すると，気泡の界面にそれらの物質が吸着し，“泡”は安定化する。この界面活性物質には，合成物質ほか天然物質にも数多く見られ¹⁹⁾，牛乳のカゼインやホエータンパク質，大豆のレシチンやグロブリン，卵のレシチンやオボアルブミンなどがある。これらは気/液界面，すなわち気泡膜を厚くし，安定化させる^{17, 19)}。このほか，セルロースやペクチン，糊化デンプンなども同様に安定に寄与する²⁰⁾。しかし，メレンゲでは，攪拌が過剰になると，界面活性剤であるタンパク質の気泡膜への過剰な表面変性により表面変性が起こって気泡は壊れやすくなる²⁰⁾。また同様に生クリームでは，ホイップ終点を超えると脂肪粒子の凝集が進行するチャーニング現象が起こり²¹⁾，O/W エマルジョンから W/O エマルジョンへの転相により気泡は消滅する。したがって，気泡の安定と維持には適正な攪拌程度や時間を保つ事が必要な要件となる。

4. 食品中の気泡に関連する従来研究成果

前述したように，食品中の気泡は，“泡”と“固体泡”に分類される。まず，“泡”と食品の物性に関連する研究には，卵白及びメレンゲに関するものが多く見られる。

藤岡ら²²⁾は，卵白を攪拌し，得られた卵白泡沫試料（砂糖濃度 33wt%）は，攪拌 3~7 分間の試料が最も安定し，かつ瞬

間弾性率が高くなることを報告している。伊東ら²³⁻²⁴⁾は、攪拌時間の長いメレンゲほど比重が小さく、テクスチャー特性が上昇するとしている。また卵白の安定性には添加物の影響も大きく、加える砂糖が卵白中の水分に対して飽和量である場合、メレンゲは安定性が最も高くなり、膨化率も増すことを報告している。

下藤ら²⁵⁾は、銅製ボールを用いて泡立てた卵白の離水量計測から、銅イオンが卵白タンパク質であるコンアルブミンと結合して表面変性に強い複合体をつくり、メレンゲの安定化に寄与することを報告している。一方、気泡は熱伝導とも関係する。気泡の存在状態と熱移動との関連について、水ら²⁶⁾は、攪拌時間を変えて気泡量を変えたメレンゲ内部における加熱下での熱移動を検討した結果、気泡量が増すほど熱移動速度が緩慢になることを報告しており、気泡に食品内の熱移動を妨げる作用があることを明らかにしている。

固定泡に関する報告では、パンやケーキに関するものが多くみられ、柴田²⁷⁾らは、パンの断面画像から捉えた気泡構造と、気泡面積、瞬間弾性率及び遅延弾性率の間に相関があることを明らかにしている。また、喜多ら²⁸⁾は、スペルト小麦を用いて調製したパン内部の気泡孔面積と破断エネルギーとの間に、 -0.9662 の負の高い相関があることを報告している。

ケーキに関する研究では、Mattil²⁹⁾は、ケーキ生地中の気泡量と焼成後のケーキの体積に相関がある事を報告している。

また、水越³⁰⁻³¹⁾は、ケーキ生地中の気泡含有率、ゾルーゲル変化温度からケーキの体積を予測できる関数を導き出して

おり、焼成前のケーキ生地から焼成後のケーキ体積を予測できるとしている。

こうしたパンをはじめ、スポンジケーキやマシュマロ、カステラなどの柔らかい多孔質食品の必要な品質要件は、密度や比重が小さく、弾性率やかたさが小さい³²⁻³⁵⁾ことである。このような性質を得るために、山崎ら³⁶⁾は、微生物由来のトランスグルタミラーゼ (MTG : Microbial Trans Glutaminase) を段階的に添加したスポンジケーキの性状を検討し、物性測定及び官能評価の結果から、MTGや乳化剤がケーキの柔らかさやしっとり感の向上に寄与することを報告している。楠瀬ら³⁷⁾は、小麦粉及び小麦粉デンプンを加えて調製した各スポンジケーキを物性面、微視的観察から比較検討した結果、スポンジケーキの気泡を取り囲む糊化デンプンが気泡壁を固定化・維持しており、気泡は、その維持や固定に寄与するスタビライザー(安定化剤)となる成分の有無に大きく作用されることを報告している。

このように、食品内に気泡が維持されることで、製品の品質変化とともに嗜好性が向上する事が報告されているが、気泡と物性との関連に関する研究は、対象とする食品の性状を追求する研究の一部として検討されているものが多く、気泡に視点を置いてこれを含む食品の物性や嗜好性との関連については十分に明らかにされていない。そこで本研究では、気泡含有食品のうち、特に“固定泡”に視点を置き、気泡が食品の物性や嗜好性に及ぼす影響の検討を試みた。

5. 本研究の概要

本研究では，気泡含有食品として“泡”を含む生メレンゲ，“固体泡”を含む焼成メレンゲ，蒸しパン，ゼラチンゲル，タラ肉ムースを研究対象として，これらの食品中の気泡の性状及び食品の物性や嗜好性への影響を検討した。ついで，気泡を含むことで物性が変化することを利用して，健康機能面も考慮に入れた QOL を高める嚥下困難者用食品への応用展開を試みた。

本論文は，研究の背景を述べた序論，次いで研究の内容を 1 章から 4 章の 4 部に分けた構成となっている。

第 1 章ではフレンチメレンゲを取り上げた。メレンゲの原料となる卵白は，アミノ酸スコアが 100 以上と高く³⁸⁻³⁹⁾，特に低栄養が懸念される高齢者にとって，タンパク質補給食品として優れている。

まず，攪拌時間を変えて含有する気泡量を変えた焼成前及び焼成後のメレンゲの物理特性について検討した。ついで，焼成メレンゲが多孔質で親水基を多く有することで水を吸収して溶けやすく柔らかくなる性質を利用し，焼成メレンゲにトロミ液を加えて“トロミ液混合メレンゲ”を調製し，物性面から嚥下困難者用食品としての利用適正を明らかにした。

さらに，それらの口どけや喉ごしなどのテクスチャーの好ましさを嗜好型官能評価から分析し，嗜好性の高い高齢者用菓子食品としての応用適性を検討した。

次の第 2 章では，地元福島県産自然薯「里山じねんじょ」を用いて，攪拌して気泡を含ませた自然薯を米粉と混合し，グルテンフリーの自然薯蒸しパンを調製して，その品質と気泡の関連，嗜好性について検討した。

自然薯はヤマノイモの一種で，古くから滋養強壮に良い⁴⁰⁾とされ，乾燥して漢方薬の”山薬”⁴¹⁾として用いたり，民間薬⁴²⁾，薬草⁴³⁾としても広く利用されている。最近の研究では，抗酸化作用⁴⁴⁾，インシュリン感受性の上昇効果⁴⁵⁾，血圧上昇抑制効果⁴⁶⁾，及びアルツハイマー改善効果⁴⁷⁾などが報告されており，健康機能性面からも非常に注目されている食品である。そこで，自然薯蒸しパンから自然薯粥を調製し嚥下困難者用食品としての適正と嗜好性，加えて抗酸化能を測定して健康機能面からの検討も試みた。

第 3 章では，副菜の位置づけとして，攪拌した自然薯をゼラチンゾル中に分散させて調製した自然薯ゼラチンゲルについて検討した。ヤマノイモ類の調理法としては，摺って“とろろいも”にしたり，刻んで和え物の具材にするほか，ヤマノイモの滑らかさやまとまりの良さを利用して嚥下困難者の料理に用いられている⁵⁻⁷⁾。しかし，これらの調理方法は簡便なためよく用いられるものの，ヤマノイモの利用方法そのものは限られているのが現状である。そこで新たな調理方法として，起泡自然薯を加えて調製しテクスチャーを向上させたゼラチンゲルを調製し，その物性，嗜好性を検討した。

最後の第 4 章では，1 章から 3 章で検討した“卵白メレンゲ”及び“気泡自然薯”と魚肉残渣部から抽出した煮汁（冷

めると煮こごりになる) を魚肉に加え、調製した柔らかい魚肉ムース状製品の物性、嗜好性及び抗酸化性から、嚥下困難者用食としての応用適性を検討評価した。

すなわち、1章から3章の研究から嚥下困難者用食として適正とみなされた気泡含有食品である“卵白メレンゲ”⁴⁸⁾及び“起泡自然薯”⁴⁹⁾に魚肉落とし身を混合し、さらに魚肉残渣部から抽出した煮汁(冷却で”煮こごり”となる)を水の代替として既報⁵⁰⁻⁵¹⁾で述べられている分量より多く加えて、通常の“はんぺん製品”より軟らかいムース状の食品(以降、“ムース製品”と称す)を調製した。

なお、魚肉やそれを原料とする”煮こごり”と、調味料として加える味噌及び薬味・風味づけに加える生姜はともに抗酸化成分が含有されている⁵²⁻⁵⁸⁾。本実験で試料とした“ムース製品”は、上記食材の配合量を嚥下困難者用に試行錯誤しながら工夫した創成品であり、その物性、嗜好性、及び抗酸化性から、嚥下困難者用食としての応用適性を総合的に検討評価した。

最後に、これまで得られた研究成果と将来の展望について総括としてまとめた。

第 1 章 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用食品への利用適性

1. 緒言

ムラング（仏 meringue）、俗称メレンゲは、卵白に砂糖やシロップを加えて形が保たれるように泡立てたもの⁵⁹⁾で、洋菓子の材料としてよく用いられている。メレンゲの種類にはフレンチメレンゲ、イタリアンメレンゲ、スイスメレンゲ、その他⁶⁰⁾があり、このうち、常温で攪拌して調製するフレンチメレンゲは、ケーキ生地やクッキー生地、菓子のフィリング（詰め物）などに混ぜ込んだり、そのままの形で泡のトッピングや、クリーミーなアイシング（糖衣）、低温で焼成するメレンゲ菓子などに利用するなど、調製しやすく、汎用性が高い食品である。

メレンゲの原料となる卵白は、アミノ酸スコアが 100 以上と高く³⁸⁻³⁹⁾、特に低栄養が懸念される高齢者にとって、タンパク質補給食品として優れているといえる。同時に、農水省においても、低需要部分である卵白の利用方法を模索している⁶¹⁻⁶²⁾ことから、高齢者や嚥下困難者用食品としてメレンゲ製品を活用することは、この現状に多少なりと貢献できるのではないかと考えられる。

これまでに我が国におけるフレンチメレンゲに関する研究は多く見られ^{26, 63-72)}、砂糖量や調製方法、攪拌時間を変え

た場合の比重や物理特性，添加物の影響について検討されているが，攪拌によって混入する気泡の量や状態に視点を置き，メレンゲ製品の性状におよぼす影響について多面的に検討した研究は少ない。

本研究では，まずメレンゲそのもののテクスチャーや物性などの基礎的特性を知るために，攪拌時間を変えた，焼成前の生フレンチメレンゲ(以下，生メレンゲと称す)を調製し，含有する気泡量及び気泡の状態とフレンチメレンゲの物性（主としてテクスチャーとの関連）を明らかにした。

ついで，これら生メレンゲを焼成して焼成フレンチメレンゲ(以下，焼成メレンゲと称す)を調製し，生メレンゲ同様に気泡の状態と物性との関連性を明らかにするとともに，多孔質で親水基を多く有する焼成メレンゲが，水を吸収して溶けやすく柔らかくなる性質を利用して，食塊性に優れ，誤嚥を防いで飲み込みやすい性質を有するトロミ液⁷³⁾を加えた”トロミ液混合メレンゲ”を調製した。そして，口どけや喉ごしなどの好ましさを嗜好型官能評価から分析し，嗜好性の高い高齢者用菓子食品としての応用適性を検討した。

2. 実験方法

2.1. 実験材料

卵は，千葉産の市販卵で，産卵後 2～3 日以内，賞味期限より 10～12 日以前の新鮮卵（pH8.1～8.5）を用いた。砂糖は，日新製糖（株）製グラニュー糖を用いた。

2.2. 試料調製

1) フレンチメレンゲの調製

割卵後の卵白 30.0 g を，裏漉し器を通して均質化後，グラニュー糖 30.0g を加え，家庭用ハンドミキサー（(株)テスコム製，THM-26）を用いて，攪拌速度 700rpm で 2，3，5，7 及び 9 分間定速攪拌し，加熱前のメレンゲ試料（以降，生メレンゲ試料と称する）を得た。

2) 焼成メレンゲの調製

1) の生メレンゲ試料を搾り出し袋に入れ，薬包紙に 3.0 g ずつ直径 50mm の円状に搾り出し，90℃で 60 分間焼成した。次に，この焼成メレンゲ 5 個に対し，シリカゲル 8g をジッパー付きビニール袋に入れて密閉し，24 時間常温に保管後，測定用試料とした。なお，焼成及び乾燥条件は，予備実験により，フレンチメレンゲが色づかず，かつ乾燥できる条件として決定した。

3) トロミ液混合焼成メレンゲの調製

トロミ液は，食塊性に優れ，飲み込みやすい特徴を持つキサンタンガム系トロミ調製剤⁷³⁾（ヘルシーフード（株）製，トロミクリア）2.0g と蒸留水 98.0g を，1 分間スターラー（AZONE（株）製，CT-5H）を用いて 1000rpm で混合後，3 分間放置し，2wt%トロミ液とした。ついで，密度の低かった攪拌時間 5 分，7 分，及び 9 分の焼成メレンゲ 3 試料各 10g を 3～5mm 角（切片大きさの範囲 0.4～5.2mm 角）の小片に切り，それらに上記トロミ液 40.0 g を加え，焼成メレンゲ添加濃度を 20wt%試料とした。これを，薬さじを用いて 1 回/s で 10 秒間混合後 1 分間放置し，トロミ液混合焼成メレンゲ（以

降，“トロミ混合メレンゲ”と称す）試料を得た。

なお，トロミ液と焼成メレンゲ混合後の放置時間は，予備実験を実施し，トロミ液がメレンゲに絡まり，かつ水分が浸透してメレンゲがくまなく柔らかくなる時間として設定した。

2.3. 測定項目及び測定方法

1) 生メレンゲ試料の品質特性

i) みかけ密度： 生メレンゲ各試料を容量既知(11.4cm^3)の高15mm，内径32mmのシャーレに充填して質量を測定し，その値を容量で除して，各試料のみかけ密度とした。測定試料数は1試料につき21～28個とした。

ii) 分離液量： 上記生メレンゲ試料の時間安定性を知るため，各メレンゲ試料50.0gを目皿ロートにそれぞれ採取し，水分の蒸発を防ぐために上部をラップで覆ってから，冷蔵庫内(5°C)で60分まで放置し，10分ごとの分離液量(wt%)を測定した。さらに 5°C で24時間放置後の分離液量(wt%)を比較した。測定回数はそれぞれ4回とした。

iii) テクスチャー測定： 攪拌時間を変えて調製した含有気泡量の異なる生メレンゲ試料の，嚥下困難者用食品としての利用適性を知るため，攪拌時間2分から9分までの生メレンゲ試料について，クリープメータ((株)山電製，RE2-33005B)を用いて，消費者庁が定める嚥下困難者用食品の測定方法¹¹⁾に準じてテクスチャー測定を行い，硬さ(応力)，付着性，及び凝集性を算出した。測定試料数は1試料につき15～20個とした。

iv) 光学顕微鏡による気泡観察： 各生メレンゲ試料を，ス

ライドガラス上に気泡を壊さないように配慮して軽く塗布し、カバーガラスをせずに検鏡した。すなわち、試料の気泡分散状況を光学顕微鏡(OLYMPUS 製:BX50)及び CCD カメラ(ソニー製 XC-50)を用いて撮影し、パソコンに取り込んで検鏡画像を得た。

2) 焼成メレンゲ試料の品質特性

i) 走査型電子顕微鏡による内部観察： 観察用試料は、試料外部の温度や湿度などの外的影響を受けにくく、気泡が最も平均的に維持されていると考えられる試料中心部とした。すなわち、各焼成メレンゲ試料の中心部を垂直方向にカッターでほぼ縦 10mm×横 10mm×高さ 10mm の角柱に切断し、走査型電子顕微鏡((株)日立ハイテクノロジーズ製 S-3500N)を用いて横からの切断面を撮影し、パソコンに取り込んだ画像から内部観察用画像を得た。なお、メレンゲのような起泡卵白は、先行研究¹⁸⁾からも多面体構造をなすことが報告されているが、今回の検鏡画像の撮影精度で観察された球状を円とみなし、そのみかけの気泡面積の合計を気泡の総面積として算出した。測定回数はそれぞれ 5 回とした。

ii) 比容積： 比容積は製品の膨化度の指標^{28), 74)}となる。焼成メレンゲの比容積は、以下の式により算出した。

$$\text{比容積 [mL/g]} = [\text{焼成メレンゲ製品の容積 (mL)} / \text{焼成メレンゲ製品の重量 (g)}] \dots\dots\dots(1)$$

容積の測定には菜種置換法⁷⁴⁾を用いた。測定試料数は 1 試

料につき 15～29 個とした。

iii) 水分蒸発量： 焼成メレンゲ試料の重量 (A) を測定し、焼成前の生メレンゲ重量 (B) との比 $[(B-A)/B]$ から水分蒸発量 (%) を求めた。測定試料数は 1 試料につき 17～24 個とした。

iv) みかけの破断応力： 測定用試料には、24 時間乾燥後のメレンゲ試料 (直径約 50mm, 高さ 7～16mm) を用いた。測定機器は、実験方法 2.3. 1) と同様とし、破断試験を実施した。測定条件は、既報⁷⁵⁾ に準じて、プランジャー直径：3mm, 測定ひずみ率：80%, 試料台速度：1mm/s とした。測定試料数は 1 試料につき 12～17 個とした。

3) トロミ混合メレンゲ試料の品質特性

i) テクスチャー測定： 含有気泡量の異なる焼成メレンゲ試料に、トロミ液を加えた“トロミ混合メレンゲ”の、嚥下困難者用食品としての利用適性を検討した。すなわち、生メレンゲ同様にテクスチャー測定を行い、試料の硬さ、付着性、及び凝集性を算出した。測定試料数は 1 試料につき 10 個とした。

ii) 官能評価：

“トロミ混合メレンゲ”の嗜好性を検討するため、機器測定から品質面で良好とみなされる焼成メレンゲに、トロミ液を混合した試料を対象とした。

なお、本研究で実施する嗜好型官能評価は、開発した商品の品質、特に嚥下困難者用食品としての“おいしさ”の評価を尋ねるものであるため、評価する食品に対する経験と官能

評価に対する理解を持つ協力的なパネルを選定する必要があった。こうしたパネルの選定は，一般企業における商品開発段階での嗜好型官能評価⁷⁶⁾でも実施されており，これにより評価結果の統計的信頼性が高くなる。

パネルは，本学調理科学研究室員 12 名（年齢 22~54 歳，女性 9 名及び男性 3 名）とし，「硬さ」，「口どけ」，「のどごし」，「食感」，「味」，「総合評価」の 6 項目について，各自が抱く製品として許容できる評価基準を 0 として，Fig.1-1 に示す

トロミメレンゲの官能評価

性別（男・女） 年齢（ ）才

1. フレンチメレンゲを使った嚥下困難者用食品を食べて評価を
してください。

3種類のトロミメレンゲ（S・T・U）があります。

各項目の評価の欄に該当する数字を入れてください。

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

--	--	--	--	--	--	--

項 目	評価		
	S	T	U
硬さ（嫌い：-3 ～ 好き：+3）			
口どけ（嫌い：-3 ～ 好き：+3）			
喉ごし（嫌い：-3 ～ 好き：+3）			
食感（嫌い：-3 ～ 好き：+3）			
味（嫌い：-3 ～ 好き：+3）			
総合評価（嫌い：-3 ～ 好き：+3）			

Fig.1-1 Sensory evaluation sheet

評価用紙を用いて、7段階評点法（-3～+3）により評価してもらった。

4) 統計処理

各測定データの平均値と標準偏差を求め、Student及びWelchのt検定を用いて、試料間の有意差検定を実施した。統計処理には、統計解析ソフトエクセル統計((株)社会情報サ

ービス製)を用いた。

3. 結果及び考察

3.1 生メレンゲ試料の測定結果

1) 内部観察

攪拌時間の異なる生メレンゲ試料の気泡の混入状態を観察した検鏡写真を Fig.1-2 に示す。その結果、攪拌 2 分の試料は気泡量が少なく、気泡径の大きさにばらつきが見られたが、攪拌 5 分、7 分と攪拌時間に伴い、気泡数も増加するとともに気泡径も均一化し、緻密になっていく様子が観察された。このことは、攪拌により、卵白タンパク質が界面活性物質として働き、表面張力が低下し、取り込まれた空気が攪拌によって徐々に泡沫化したため^{25, 77-78)}と考えられる。しかし検鏡像からは、攪拌 9 分のメレンゲは 7 分に較べて有意な相違は観察されなかった。

2) みかけ密度

生メレンゲ試料のみかけ密度を Fig.1-3 に示す。みかけ密度は、攪拌時間の増加に伴い、各試料間で有意に ($p<0.05$) 低下した。中でも攪拌時間 3 分と 5 分の密度の差は大であ

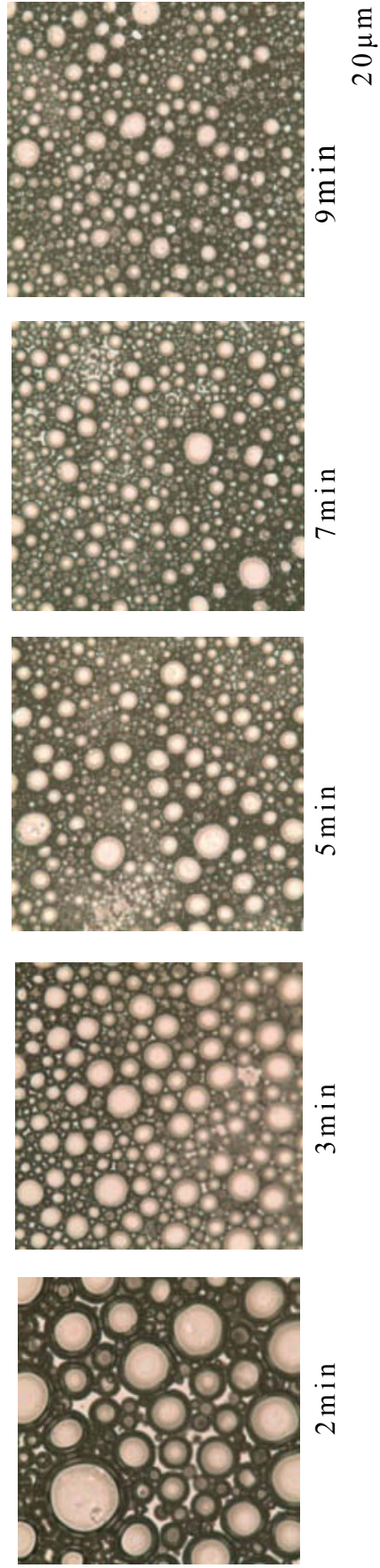


Fig.1-2 Optical micrographs of air bubbles in various prebaked French meringue. ($\times 200$)

り，攪拌 5 分以降，メレンゲ内部に急激に気泡が取り込まれる状況が推測された。

3) 分離液量

生メレンゲの安定性を知るため，各生メレンゲ試料の分離液量を放置時間 10 分から 60 分後まで，10 分ごとに測定した結果を Fig.1-4 に示した。その結果，分離液量 (%) は，攪拌 2 分の試料が顕著に大となり，60 分後には試料重量の 33.0% が分離する結果となった。攪拌 3 分の試料の分離液量は，上記 2 分の試料に比べて少なく，攪拌 5 及び 7 分の試料の分離液量 (%) は，測定開始 40 分以降から観察されたが，その量は

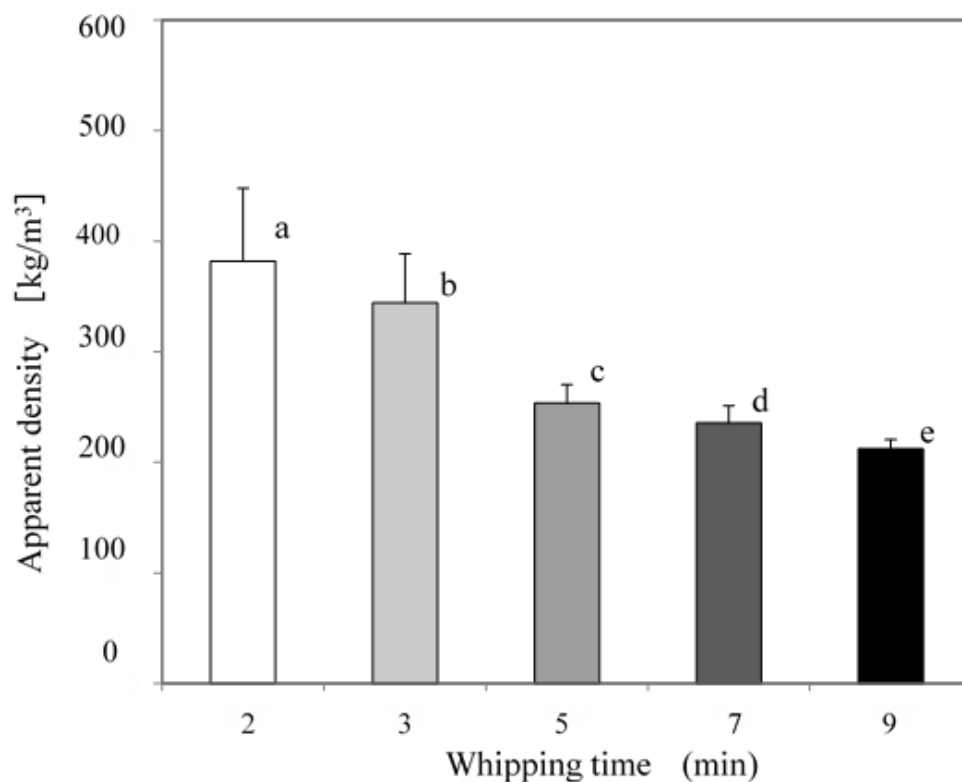


Fig.1-3 Change in apparent density of various prebaked French meringue .

Values shown with the different letters are significantly different.

$p < 0.05$ $n = 21 \sim 28$

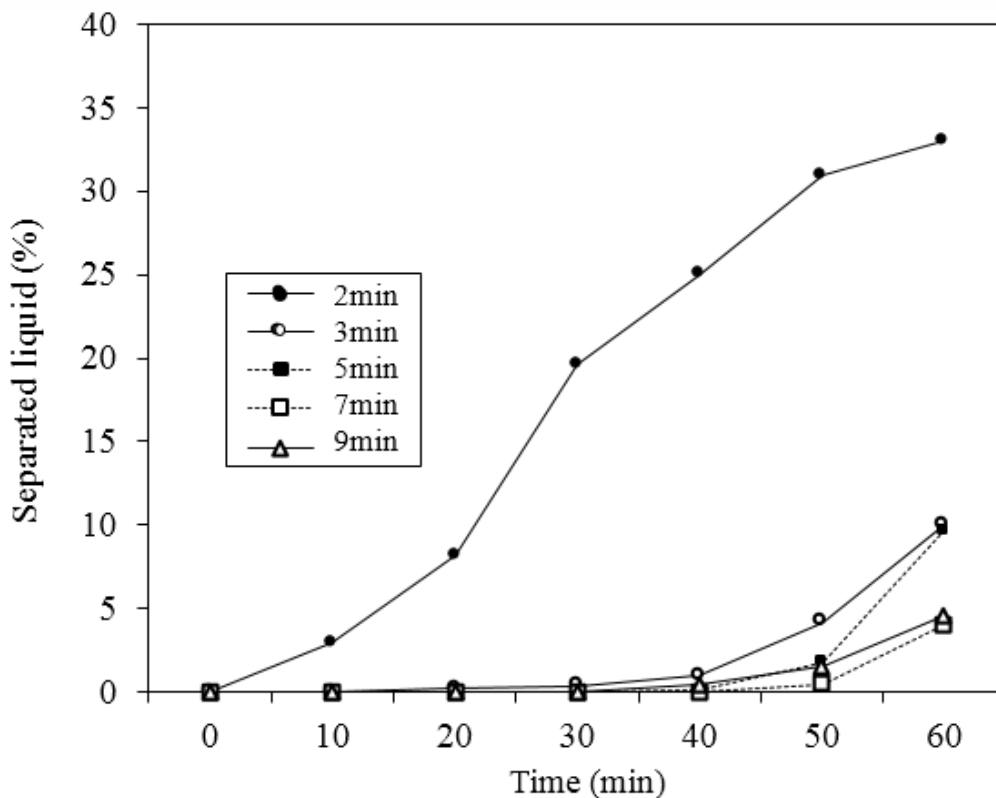


Fig.1-4 Quantity of separated liquid of various prebaked French meringue in aging time. n = 4

60分においても、上記3分試料よりもさらに減少した。

このことは、攪拌により、気泡の気/液界面に卵白タンパク質が付着して表面変性が進行^{25, 78-82)}し、気泡が安定化したためと考えられる。しかし、攪拌9分の試料の分離液量は、60

分後において、7分の試料より増加した。これは、過度の攪拌により卵白タンパク質の表面変性が進み、タンパク質のネットワークが崩れることで、タンパク質間の水が搾り出され^{25, 78)}、分離液量が増加したと考えられた。

次に、長時間放置した場合の分離液量(%)として、24時間後に測定した結果をFig.1-5に示した。分離液量は2分か

ら 7 分まで有意に低下し，その後上昇傾向にあった。24 時間後試料は，上記 60 分までの結果と同様のその傾向がより顕著に観察され，いずれの試料も 32~46%と大であったことから，本実験の条件で調製したフレンチメレンゲの場合，調製後の品質の安定性が維持される 30 分以内での使用が適切と考えられた。

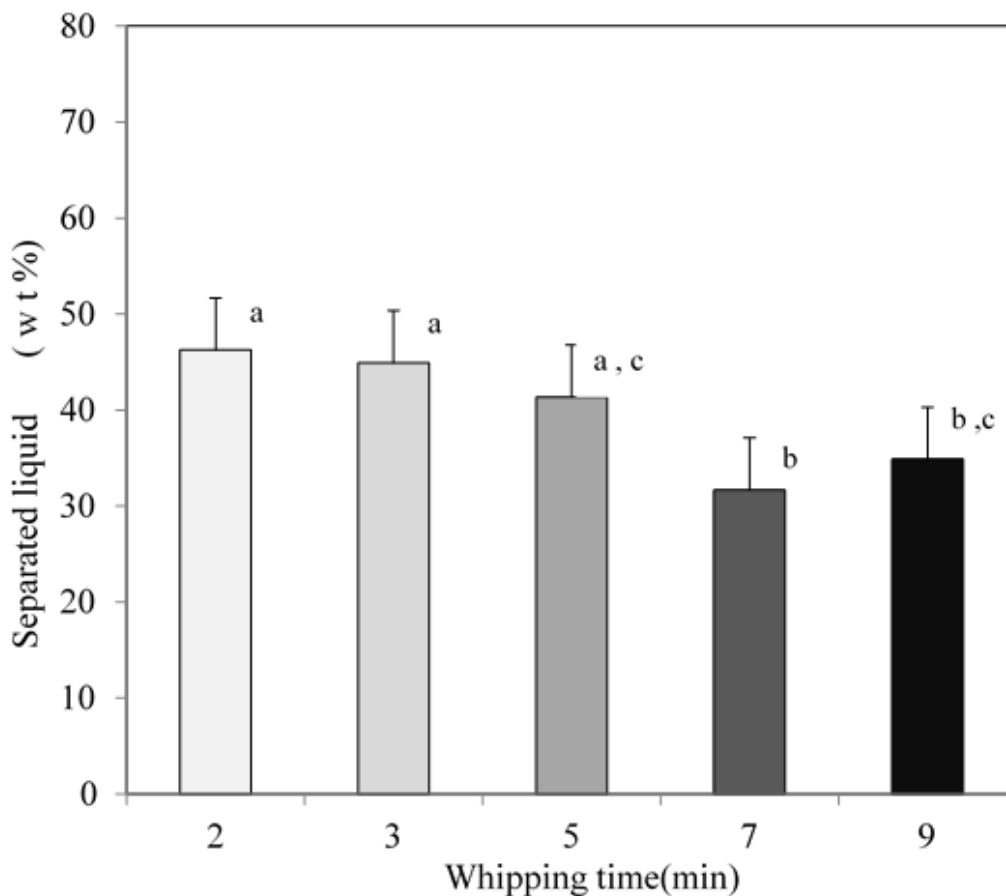


Fig.1-5 Quantity of separated liquid of various prebaked French meringue after 24hours. $p < 0.05$ $n = 12 \sim 17$

Values shown with the different letters are significantly different.

4) テクスチャー測定

生メレンゲの嚥下困難者用食品としての適合性を検討するため、各試料を嚥下困難者用食品の測定方法¹¹⁾に準じてテクスチャーを測定した結果を Table.1-1 に示した。各試料の硬さ(応力)は、340~2720[Pa=N/m²]、付着性は102~1287[J/m³]、凝集性は0.7の範囲にあった。いずれの値も攪拌時間に伴って高くなった。メレンゲは、攪拌によって液体膜の硬さが上昇する²²⁾とともに、粘度も増す⁷³⁾ことがわかっている。上記のうなテクスチャー値の増大は、卵白の液体膜表面へのタンパク質吸着量の増加や泡沫系内部に取り込まれる空気量の増大に基づいて現れた結果^{25, 79-82)}と推察される。これらの結果を、嚥下困難者用食品の許可規準¹¹⁾に照らしてみると、攪拌時間2, 3, 及び9分は許可規準Ⅲに該当し、5, 7分は許可規準Ⅱに該当していた。すなわち、本実験条件で調製した生メレンゲのテクスチャーは、許可規準Ⅱのゼリー状またはムース状等の食品や、許可規準Ⅲの不均質なものを含む、まとまりの良い粥や柔らかいペースト状またはゼリー寄せ等の食品に相当した。

3.2 焼成メレンゲ試料の測定結果

1) 外観観察

攪拌時間の違いが焼成メレンゲの外観に及ぼす影響を知るため、各生メレンゲを焼成・乾燥し、その外観を撮影し Fig.1-6 に示した。その結果、攪拌2, 3分の試料は膨化が充分でなく、表面にもざらつきが観察された。また、攪拌9分の試料

は、膨化しているものの、表面のきめが粗い状態であった。

Table 1-1 Change in textures of French meringue by different whipping time.

Texture	Whipping time (min)							Authorization	Criteria
	2	3	5	7	9	18)			
Hardness $\times 10^3$ (Pa=N/m ²)	0.34±0.07 ^a	0.62±0.19 ^b	1.58±0.18 ^c	1.79±0.09 ^d	2.72±0.16 ^e		1~15	0.3~20	
Adhesiveness $\times 10^2$ (J/m ³)	1.02±0.25 ^a	1.81±0.36 ^b	6.79±0.56 ^c	8.82±0.65 ^d	12.87±0.41 ^e		10 or less	15 or less	
Cohesiveness	0.70±0.02 ^a	0.69±0.02 ^a	0.65±0.02 ^b	0.65±0.02 ^b	0.65±0.01 ^b		0.2~0.9	non restriction	

Values shown with the different letters are significantly different. $p < 0.05$ $n = 20$

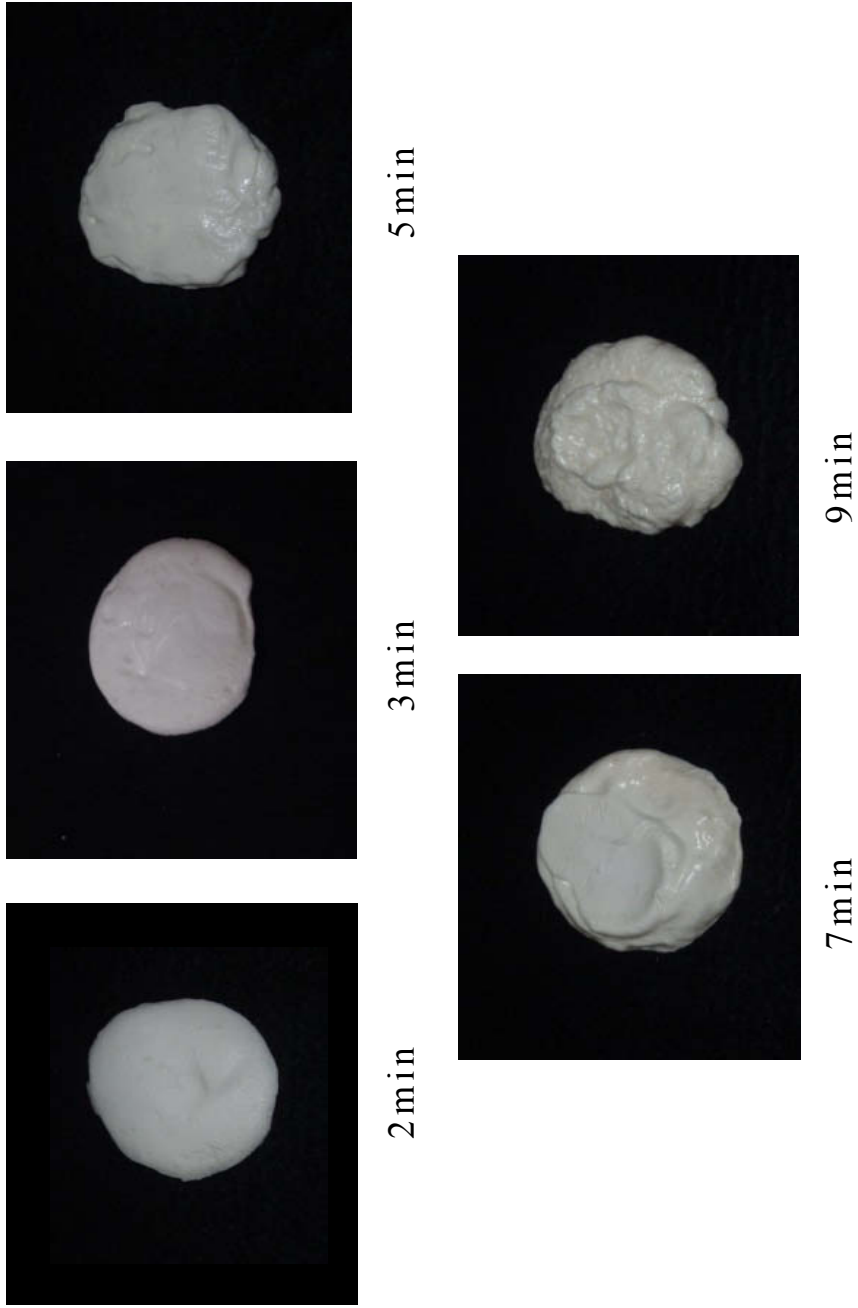


Fig. 1-6 Appearance of baked French meringue on different whipping time.

このことは、攪拌 9 分の生メレンゲ調製時に、気泡の気/液界面に吸着された卵白タンパク質の表面変性^{22, 25, 78, 80)}が過剰

に進みすぎたためと考えられた。これに対して攪拌 5 及び 7 分の試料は、よく膨らみ、他の試料に比べて外観もきめが整っていた。これらは、焼成前の生メレンゲ試料において、適度な攪拌により気泡表面へのタンパク質表面変性がなされ^{22, 25, 78, 80)}、みかけ密度が比較的 low かつ安定性も高かったことから、焼成したメレンゲの膨らみの良さや外観のきめの細やかさに反映されたと考えられた。

以上の結果から外観上は、攪拌時間 5 及び 7 分の試料が焼成した場合の製品として適していると判定された。

2) 内部観察

次に、攪拌時間の異なる焼成メレンゲ製品の、内部の構造と硬さとの関連を組織学的に考察するため、走査型電子顕微鏡を用いて観察し、Fig.1-7 に示した。

図に示すとおり、攪拌 2 分では気泡の大きさにばらつきが見られたが、攪拌時間とともに均一化し、攪拌 7 分のメレンゲの場合が最も気泡のきめが整っていた。しかし、攪拌 9 分の試料は 7 分に較べ、気泡の大きさにばらつきが見られた。このことは、1) の外観観察の結果と同様、攪拌 9 分の試料は、過剰に進んだタンパク質の表面変性^{24, 27, 29, 32)}によって気泡の合一が進行したためと考えられた。

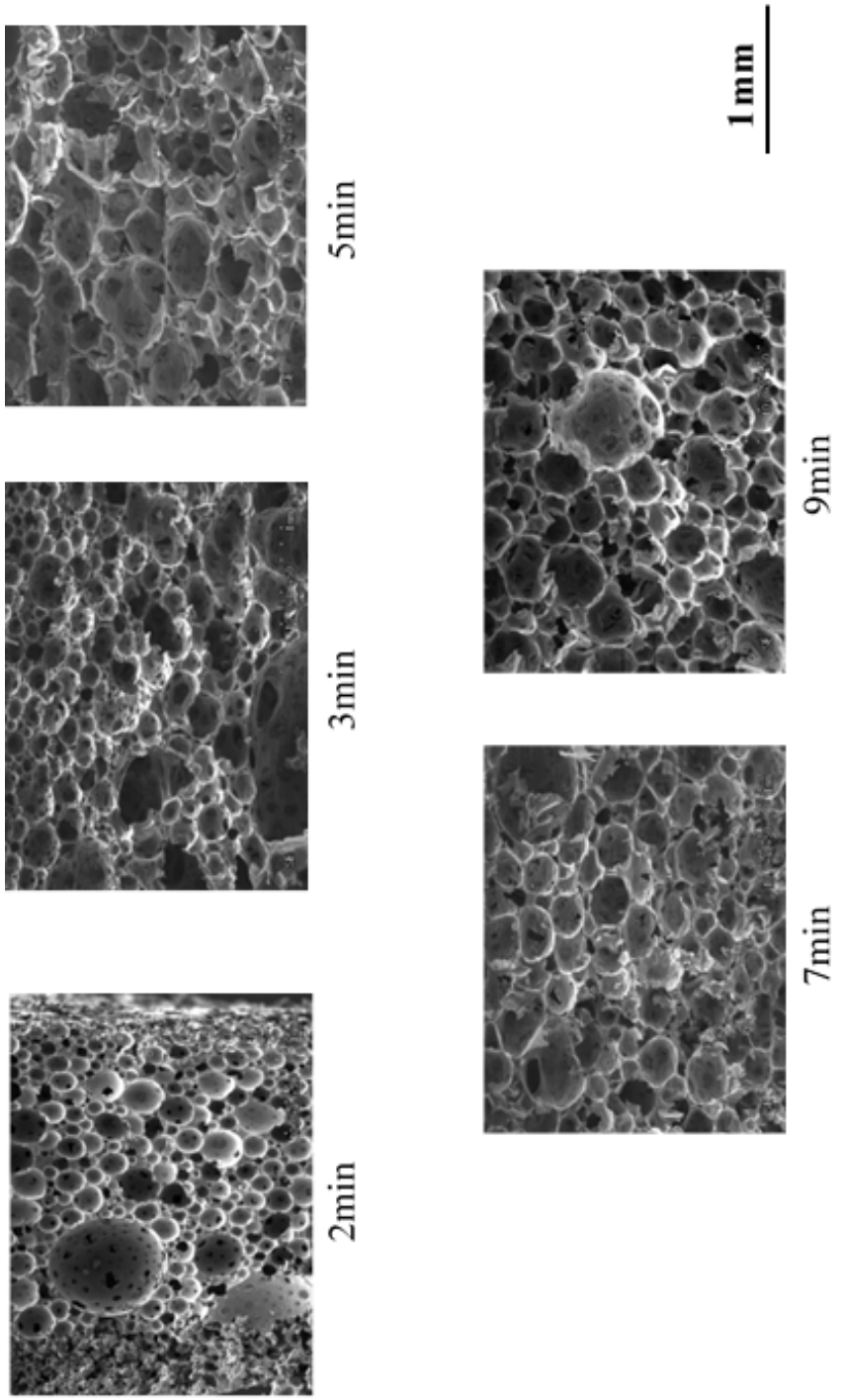


Fig. 1-7 Scanning electron micrographs of baked French meringue. (× 40)

3) 比容積

焼成メレンゲの比容積の結果を Table.1-2 に示した。その結果、メレンゲ調製時の攪拌時間に伴って気泡の混入量も多くなることから、焼成したメレンゲの比容積もそれに対応して増加しており、攪拌 3 分、5 分及び 7 分の間において有意な差が認められた。すなわち、先の外観観察でよく膨化していると判断された攪拌 5 分の焼成メレンゲ試料の比容積は、7 分のそれよりも有意に低く ($p<0.05$)、膨化が小であることが明らかとなった。

4) 水分蒸発量

焼成によるメレンゲの水分蒸発量を Table.1-2 に併記した。

水分蒸発量は、攪拌時間の経過に伴って低下する傾向を示し、攪拌 7 分試料は 2 分と 3 分との間において有意差が認められた。

5) みかけの破断応力

焼成メレンゲ各試料の破断強度測定の結果を Fig.1-8 に示した。図から明らかのように、破断応力は、攪拌 7 分まで有意に低下 ($p<0.05$) していき、攪拌 9 分から再び上昇した先の水分蒸発量の結果と合わせて考えてみると、攪拌時間の経過に伴って水分蒸発量が少なくなることで、気泡の安定性が保たれ⁷⁰⁾、製品が膨化し、結果として破断応力が低下したと考えられた。

6) 気泡面積と破断応力との関係

そこで、気泡の状態と焼成メレンゲの物性との関連を知るた

Table 1-2 Physical properties of baked French meringue by different whipping time.

Measurement	Whipping time (min)									
	2	3	5	7	9					
Specific volume [m^3/kg] ⁱ⁾	5.71±0.68	6.63±1.07	8.17±1.47	9.80±1.66	10.16±1.19	a	a	b	c	c
Quantity of water evaporation ⁱⁱ⁾ (wt %)	42.4±0.7	41.9±0.7	41.1±0.6	40.8±0.5	40.1±0.9	a	b	c	cd	d

Values shown with the different letters are significantly different. $p < 0.01$ ⁱ⁾ $n = 15 \sim 29$ ⁱⁱ⁾ $n = 17 \sim 24$

め、各攪拌時間における焼成メレンゲ試料の気泡面積と破断応力との相関を Fig.1-9 に示した。図から明らかなように、気泡面積とみかけの破断応力との間には、 $r = -0.96$ と高い負の相関関係にあり、攪拌操作により含有気泡量が増加するほど、破断応力は低くなることが明らかになった。このことから、焼成メレンゲ試料の硬さは内部に混入される気泡量に大きく影響されることが確認された。

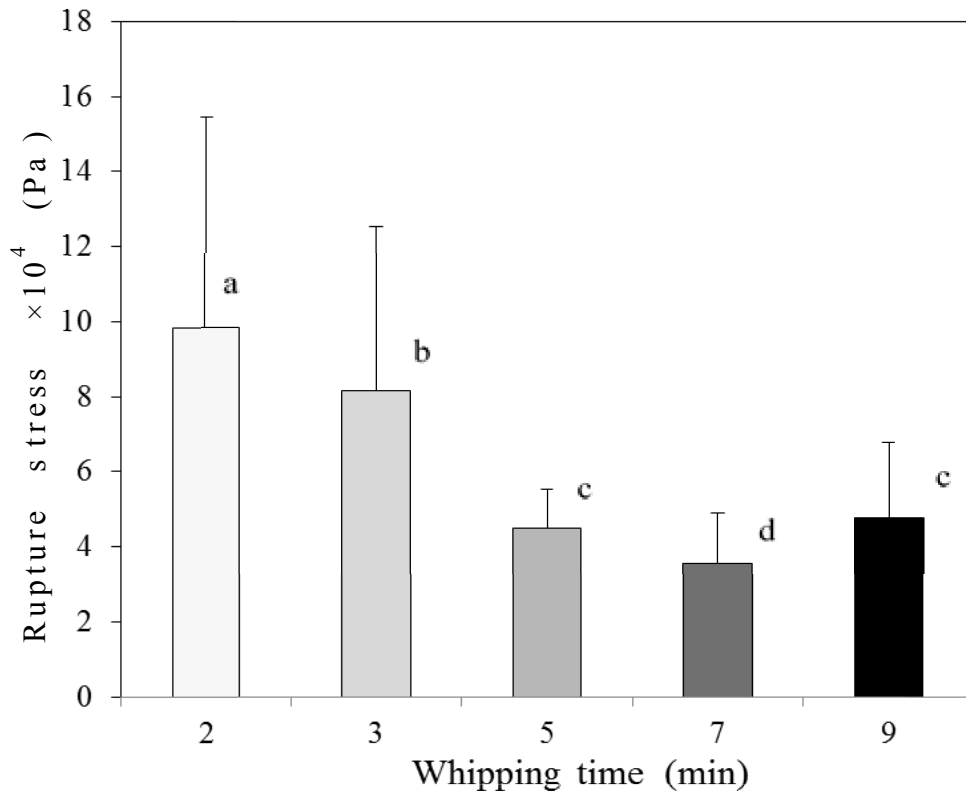


Fig. 1-8 Change in apparent rupture stress of various baked French meringue.

Values shown with the different letters are significantly different.

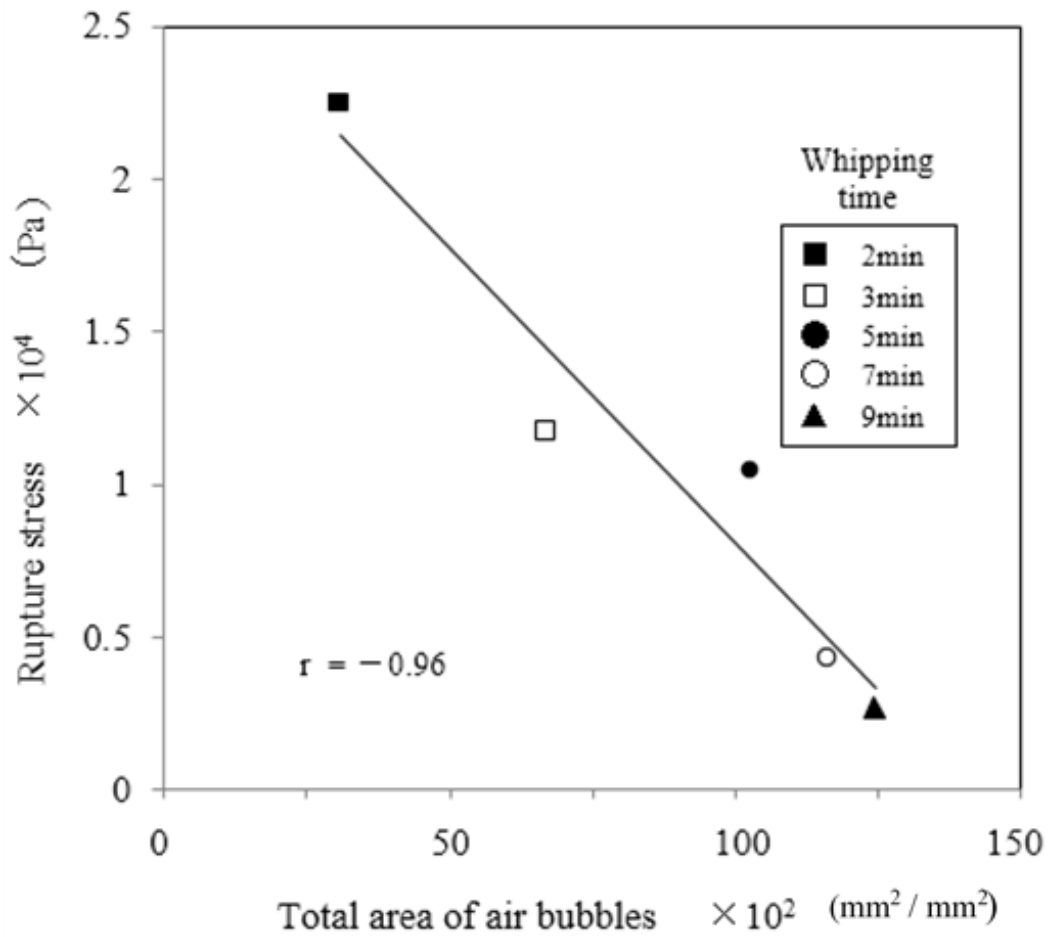


Fig.1-9 Relationship between Rupture stress and total area of air bubbles of baked French meringue.

Table 1-3 Comparison with the texture of baked meringue was added to the solution thickeners and criteria for an authorization in disphagia diet.

Texture	Whipping time (7min)	Authoriza Criteria III
Hardness $\times 10^3$ (Pa=N/m ²)	0.32±0.03	0.3 ~ 20
Adhesiveness $\times 10^2$ (J/m ³)	1.44±0.20	15 or less
Cohesiveness	0.8±1.40	non restriction

n = 10

3.3 トロミ混合メレンゲの測定結果

1) テクスチャー測定

本実験条件で調製した焼成メレンゲは，攪拌時間 7 分調製試料が外観，膨化，及び硬さの点から最も良質な製品であることが認められたので，嚥下困難者用食品への応用・利用適性を検討した。すなわち，上記攪拌時間 7 分で調製した焼成メレンゲを小片にし，トロミ液を加えた“トロミ混合メレンゲ”についてテクスチャー測定を実施し，結果を Table.1-3 に示した。

“トロミ混合メレンゲ”は，上記実験条件で設定した 1 分間放置により均一に水分を吸収して柔らかで口触りの良いマッシュマロ状となり，硬さ（応力）が平均 320 [$\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$]，付着性が同 144 [J/m^3]，凝集性が同 0.8 と，上述の生メレンゲと同程度のテクスチャー値を示した。これらの結果を嚥下困難者用食品の許可基準¹¹⁾に照らしてみると，本実験で調製した”トロミ混合メレンゲ”は，嚥下困難者用食品の許可規準Ⅲに該当することが認められた。

これまでの機器測定の結果から判断して，焼成メレンゲにトロミ剤を加えることで，嚥下困難者であっても焼成メレンゲの風味を楽しむことが可能であると示唆された。

2) 官能評価結果

以上のように，焼成メレンゲより調製した”トロミ混合メレンゲ”が，物性面で嚥下困難者用食品として展開可能なことが示唆されたことから，さらに嗜好面での適性を明らかにするため，焼成メレンゲとして比容積が大きく，外観から最良と

みなされた攪拌 7 分の製品と，7 分に次いで品質面で良好とみなされた攪拌 5 分，及び 9 分の製品の計 3 試料に対して行った官能評価結果（Fig.1-10）から検討した。その結果，図からも明らかなように，いずれの”トロミ混合メレンゲ”の評価項目においてもマイナス評価はみられず，検査員各自の評価基準（0）よりも高い評価を得ていた。また，「硬さ」，「喉ごし」，「味」においては，攪拌 7 分の製品が攪拌 5 分の製品より有意に高い評価を得ていた。今回は限られた人数での専門パネルによる官能評価であったが，製品の嗜好性向上のためには，味や香りを付与する副材料やトロミ剤濃度の検討とともに，今後一般パネルによる官能評価が必要と考えている。

以上，一連の測定結果から総合して考えると，メレンゲ調製時において，含有する気泡量を攪拌時間でコントロールすることで，基準にあった嚥下困難者用食品として調製可能である事が認められた。

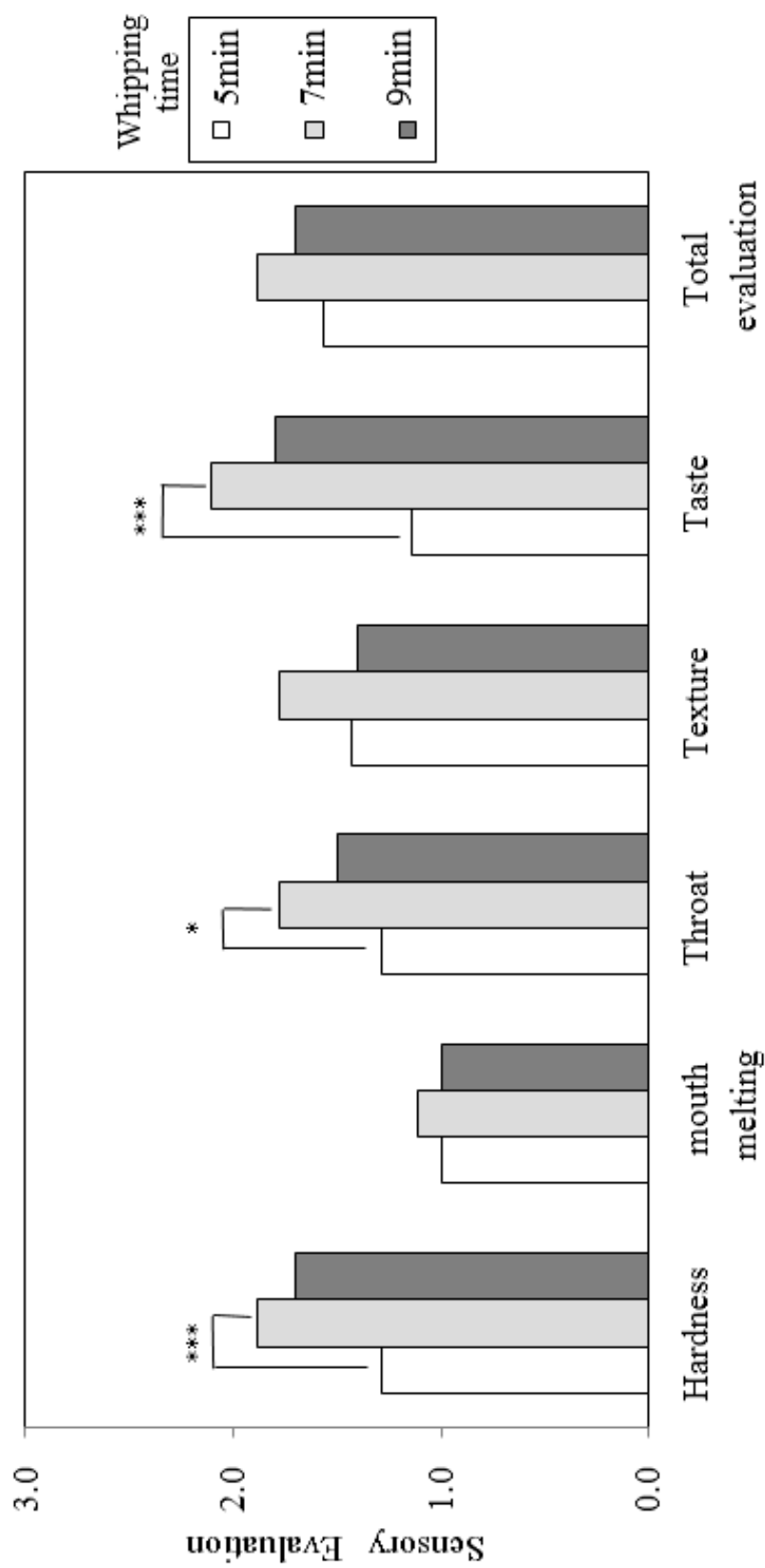


Fig. 1-10 Change in sensory evaluation of various baked French meringue.
 Items $*** p < 0.001$ * $p < 0.05$ $n = 12$

4. 小 括

攪拌時間の異なる生メレンゲ試料を調製し，その物理的基礎特性を明らかにし含有気泡との関連を検討するとともに，焼成メレンゲについて嚥下困難者用食品としての利用適性についても検討した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 生メレンゲのみかけ密度は，攪拌時間に伴って低下した。
- 2) 生メレンゲの分離液量は，攪拌 7 分の試料が最も少なく製品として良好であった。
- 3) 生メレンゲのテクスチャーは，嚥下困難者用食品の許規準（消費者庁）のⅡまたはⅢに該当した。
- 4) 焼成メレンゲの比容積は，攪拌 3 分，5 分及び 7 分と攪拌時間に伴って上昇し，それぞれに有意差が認められた。
- 5) 焼成メレンゲのみかけの破断応力は，攪拌 7 分の試料が最も低く，砕けやすいと判断された。
- 6) 上記攪拌 7 分の焼成メレンゲにトロミ液を混合した”トロミ混合メレンゲ”は，嚥下困難者用食品の許可規準Ⅲに該当した。
- 7) “トロミ混合メレンゲ”は，官能評価の結果からも，攪拌 7 分で調製した製品が好まれた。
- 8) 生及び焼成メレンゲは，含有する気泡量をコントロールすることで，基準にあった嚥下困難者用食品として調製可能である事が示唆された。

第2章 自然薯蒸しパンの品質に及ぼす気泡の影響 と嚥下困難者用食品への利用適性

1. 諸言

ヤマノイモはヤマノイモ科の多年生植物で、特有の粘質物を含む⁸⁴⁾。この粘質物は、グロブリン様のタンパク質にマンナンが結合した糖タンパク質のムチン⁸⁵⁾であり、これがヤマノイモ独特の口当たりや喉ごしの良さとなる。ヤマノイモは、攪拌すると、含まれるムチンの強い粘りにより気泡を抱え込みやすい性質がある⁸⁶⁾。この性質を利用して、本章では、この自然薯の滑らかさや機能性を生かし、かつ小麦アレルギー対応食として近年利用が拡大している米粉製品の品質改善のために、攪拌自然薯を混合した米粉蒸しパンへの利用展開を試みた。

これまでグルテンフリーの米粉パンに関する研究には、絹フィブロイン及びキサントガム添加による米粉パンの物性や食味への影響に関する検討⁸⁷⁾や調製方法に関する検討⁸⁸⁾、酵母発酵で作るフィリピンの米粉蒸しパン“puto”⁸⁹⁾や、イヌリン添加による米粉パンの品質向上に関する研究⁹⁰⁾などがみられる。しかし、攪拌して粘りと起泡性を高めた自然薯を、米粉に加えて調製した蒸しパンのテクスチャー特性に言及した研究は見当たらない。

そこで本章では、ヤマノイモの一種で、特に粘りの強い自然薯（福島県産「里山じねんじょ」）を用いて、攪拌時間を変えて含有する気泡量の異なる自然薯を米粉に加えた蒸しパン

製品（以降は自然薯蒸しパンと略記）を調製し，製品中に分散する気泡の状態が製品の性状に及ぼす影響について検討した。さらに，この自然薯蒸しパンを用いた，嚥下困難者用食品への抗酸化性の付与も含めた応用展開についても検討することとした。

2. 実験方法

2.1 実験材料

試料としたヤマノイモ（以下，“自然薯”と記述）は，平成23年度福島県産「里山じねんじょ」を業者に依頼して凍結乾燥粉末処理した試料（以下粉末試料，70メッシュ）を用いた。上白糖は，日新製糖（株）製上白糖，米粉は，微細米粉（株式会社クオカプランニング製リ・ファリーヌ・グランクリュ，270メッシュ）を用いた。

2.2 試料調製

1)自然薯蒸しパンの調製

上記自然薯の粉末試料 50g に蒸留水 150g を加え，業務用ミキサー（（株）エフ・エム・アイ製，商品名：キッチンエイド KSM5E）を用いて，200rpm で 2，4，6，8，10，12，14，16 分の 8 水準の条件で攪拌し，攪拌自然薯試料とした。この試料 100g に蒸留水 75g と上白糖 70g を加え，200rpm で 1.5 分攪拌後，微細米粉 100g を加えて，平面ビータを装着した上記業務用ミキサーを用いて 120 rpm で 30 秒間混捏した。ついで，ゴムベラを用いて 1 回/秒で 20 秒間混合し，自然薯蒸しパンの加熱前バター試料とした。この試料 150g を

750×120×45mm に裁断したパラフィン紙を敷いた流し箱に入れ、98℃で25分間蒸し加熱し、測定用自然薯蒸しパン試料を得た。

2) 自然薯蒸しパン粥の調製

1)で得られた自然薯蒸しパンから嚥下困難者用食品への利用を考えて、粥食品を調製することを試みた。すなわち、1)の自然薯蒸しパン試料150gを約40×40×5mmの小片に切り分け、蒸留水450gを加え、98℃で10分間加熱し、水分を蒸発させて最終重量を450gに調整し、測定用自然薯蒸しパン粥（以降はパン粥と略称）試料とした。

2.3 測定項目及び測定方法

1) 自然薯蒸しパンの加熱前バター試料の基礎特性

i) みかけ密度： 測定方法は第1章 実験方法 2.3.1)と同様に測定した。測定試料数は1試料につき15個とし、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

2) 自然薯蒸しパン試料の品質特性

i) 比容積： 既報^{28, 74)}に準じ、測定方法は、第1章 実験方法 2.3.2)と同様とした。蒸しパン製品の膨化度の指標として、以下の式により比容積を算出した。

$$\text{比容積 [mL/g]} = [\text{蒸しパン製品の容積 (mL)} / \text{蒸しパン製品の重量 (g)}] \dots\dots\dots (1)$$

容積の測定には菜種置換法⁷⁴⁾を用いた。測定試料数は1試料につき13~15個とし、得られた値の平均値と標準偏差を求

めた。

ii) 圧縮エネルギー： 測定機器は，第 1 章実験方法 2)と同様とし，圧縮試験を実施した。測定用試料には，蒸しパン製品をほぼ 3cm 角に 8 分割した試料を用いた。加熱した試料の物性値の測定には品温の影響が大であると予測された。測定誤差を少なく抑えるには測定時間の短縮が必須である。そこで蒸し上がり 5 分以内の試料を用いて 10 分以内の測定をめざした。

測定条件は，樹脂性プランジャー直径：5mm，測定ひずみ率：60%，試料台速度：1mm/s とした。測定試料数は 1 試料につき 15 個とし，得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

iii) 光学顕微鏡による内部組織観察： 観察用試料は，川本法⁹¹⁾に準じて作製した。すなわち，気泡が気温などの影響を受けにくく，最も平均的な気泡状態が維持されていると思われる各蒸しパン試料の縦，横，高さにおける中心部を，縦方向にほぼ 1cm 角 3 個ずつを切り取り，包埋用容器に入れた後に包埋剤 (SCEM) を加え，液体窒素で冷却したヘキサノン中に容器ごと入れて凍結した。この凍結試料に粘着フィルムを貼り，ミクロトームを用いて試料側面方向から 50 μ m の切片にし，フィルムごとスライドガラス上で完全乾燥させて封印後，検鏡用試料とした。

iv) 官能評価： 自然薯蒸しパン製品の嗜好性を検討するため，試料にはきめが細かく外観上優れていると判断された攪拌時間 8 分と，みかけ密度の低かった攪拌時間 10, 12, 14 及び 16 分の合計 5 個の蒸しパン試料を用いた。パネルは東京家

自然薯蒸しパンの官能評価

性別 (男・女) 年齢 () 才

1. 自然薯を使った蒸しパンを食べて評価をしてください。
5種類の自然薯蒸しパン (S・R・T・U・P)があります。
各項目の評価の欄に該当する数字を入れてください。

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

項 目	評 価				
	S	R	T	U	P
色 (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
香り (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
硬さ (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
弾力 (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
粘り (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
食感 (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
味 (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					
総合評価 (嫌い：-3 ~ 好き：+3)					

Fig.2-1 Sensory evaluation sheet

政大学調理科学研究室員 13名の食の専門パネルとし、「色」,
「香り」,「硬さ」,「弾力」,「粘り」,「食感」,「味」,「総合評
価」の8項目について, Fig.2-1に示す評価用紙を用いて,各
パネリスト(検査員)が抱く評価基準を0として,+3から-
3までの7段階評点法により評価してもらった。なお,官能
評価には蒸し上がり製品を8等分し,1試料ほぼ30mm×30mm
にして用いた。

3) 蒸しパン粥試料の品質特性

i) テクスチャー: 自然薯蒸しパンから調製したパン粥の,

嚥下困難者用食品としての利用適性を判定した。試料は、官能評価の項で用いた攪拌時間 8 分から 16 分までの 5 種類の自然薯蒸しパンで調製した粥試料とした。測定機器及び測定方法は、第 1 章 実験方法 2.3.1)と同様とした。測定試料数は 1 試料につき 12~13 個とし、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

ii)官能評価： 自然薯蒸しパン粥の嗜好性を検討するため、上記テクスチャー測定に用いたのと同じ 5 種類の蒸しパン粥試料に対して官能評価を実施した。パネルは蒸しパンの場合と同じ東京家政大学調理科学研究室員 13 名とし、「色」、「香り」、「硬さ」、「粘り」、「喉ごし」、「食感」、「味」、「総合評価」の 8 項目について、蒸しパン試料の官能評価と同様の方法で、各パネリスト（検査員）が抱く製品として許される評価基準を 0 として、+3 から -3 までの 7 段階評点法により評価してもらった。

4) ORAC 法による抗酸化能の測定

i) ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) 測定用 試料の調製

抗酸化能の評価の指標として、ORAC 値を用いた。

ORAC (活性酸素吸収能力) 法は、米国の Cao ら⁹¹⁾によって創案され、Prior ら⁹³⁾によって発展したイン・ビトロ系での抗酸化能測定法である。原理は、蛍光物質であるフルオレセインを蛍光プローブとして使用し、AAPH 試薬から発生するペルオキシラジカルによって分解されるフルオレセインの蛍光強度を経時的に測定し、その変化を指標として数値化する

方法である。すなわち、この測定系に抗酸化物質が共存するとフルオレセインの蛍光強度の減少速度が遅延するため、標準物質であるトロロックス存在下のフルオレセインの減少速度の遅延度合いと比較して、標準物質に換算した試料の抗酸化能を算出する方法である。

本章の測定試料は、以下のように調製した。

福島県産自然薯の「里山じねんじょ」（皮付き、皮なし）の生試料、その凍結乾燥粉末試料を用いた。更に、粉末試料を用いて調製した自然薯蒸しパン及びパン粥の各試料を、 -50°C の冷凍庫で予備凍結したのもも試料とした。これら各試料を約 2 g 精秤し、リン酸緩衝液 20mL で抽出し、得られた液を ORAC 測定用試料とした。ORAC 値の単位は、生試料（湿重量）100g 当たりの μmol トロロックス当量 (Trolox equivalent; TE) / 100g で表した。

ii) 測定方法： i) で調製した ORAC 測定用の各試料液を用いての抗酸化能の測定は、先行研究⁹⁴⁻⁹⁵⁾に準じて以下のように行った。すなわち、2, 2' - アゾビス 2 塩酸塩（通称 AAPH）試薬（40mM AAPH/0.1M リン酸緩衝液，pH7.0）試薬から発生させた活性酸素ペルオキシラジカルによって分解されるフルオレセイン（蛍光試薬）の蛍光強度をマイクロプレートリーダー（ベルトールド社製ミトラス LB940）で経時的に測定し、水溶性ビタミン E 誘導体である抗酸化物質トロロックス（Trolox）に対する相対値（トロロックス当量，すなわち TE）の算出を行い、主に活性酸素のペルオキシラジカル消去活性を算出している。

測定回数は 3 回の独立した実験を行い，得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

5) 統計処理

統計処理には，第 1 章実験方法 2.3. 4)と同様の解析ソフトを用いた。

得られたデータは，一元配置分散分析を行い，その後，Tukey の HSD 検定による多重比較により群間の差の検定を行った。

3. 結果及び考察

3.1 生自然薯の抗酸化能の測定結果

本実験で用いる自然薯は，皮の有無により抗酸化能に違いがあることが予測されたため，いずれを用いるかを決定する必要があった。そこで，生自然薯の皮付き試料，皮無し試料のそれぞれについて ORAC 法を用いて，抗酸化能を測定比較した (Fig.2-2)。ORAC 値は数値が大きいほど抗酸化能が大きいことを示すものであるが，皮付き試料の ORAC 値は，361 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ ，皮なし試料は 230 となり，皮付き試料が有意に ($p<0.01$) 高い結果となった。このことは，自然薯の皮にポリフェノール類であるカテキン⁹⁶⁾が多いためと考えられた。これらの結果から，以降の実験では，抗酸化能の高い皮付き自然薯を凍結乾燥粉末にして製品をつくり，実験試料として用いた。

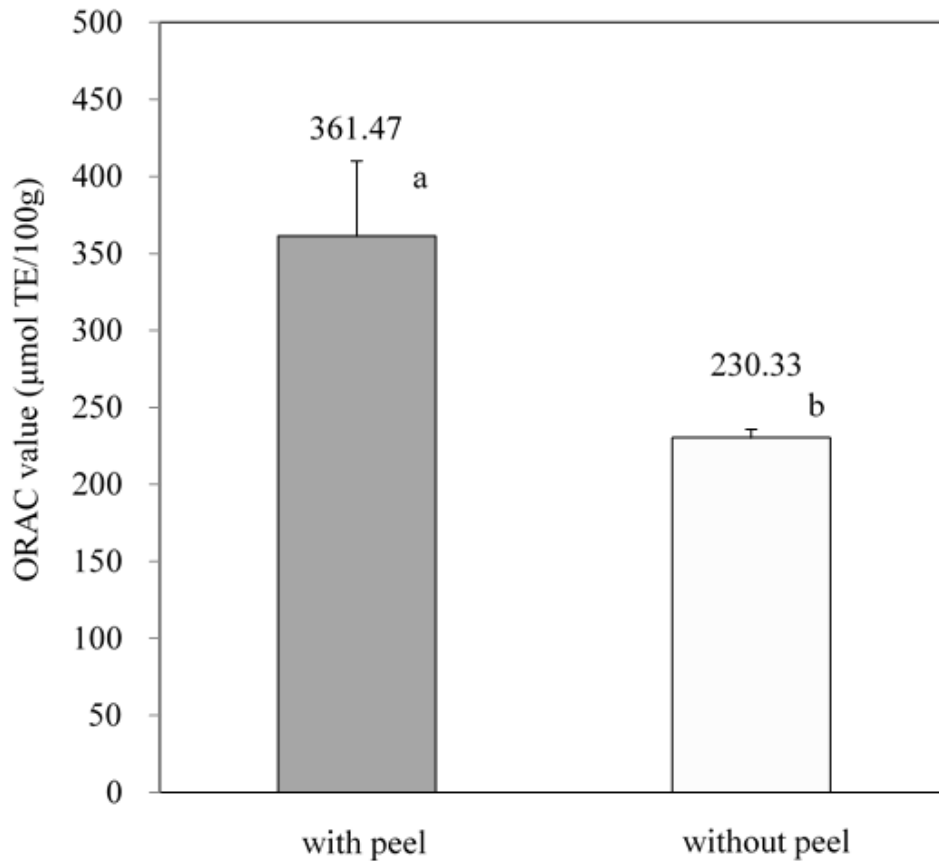


Fig. 2-2. The ORAC values of Japanese yam with or without peel.

Significant differences between different alphabets $p < 0.01$ $n = 3$

3.2 自然薯蒸しパン加熱前バター試料の品質特性

1) みかけ密度

自然薯蒸しパン加熱前バター試料のみかけ密度の測定結果を Fig.2-3 に示した。みかけ密度は、攪拌時間の経過に伴って徐々に低下した。即ち、攪拌時間に伴い気泡含有量が増していることが判断された。しかし、攪拌時間 10 分以上は平衡状態となったことから、蒸しパンを調製する場合、10 分以上の長時間の攪拌は製品の膨化に効果的でないことが判断された。

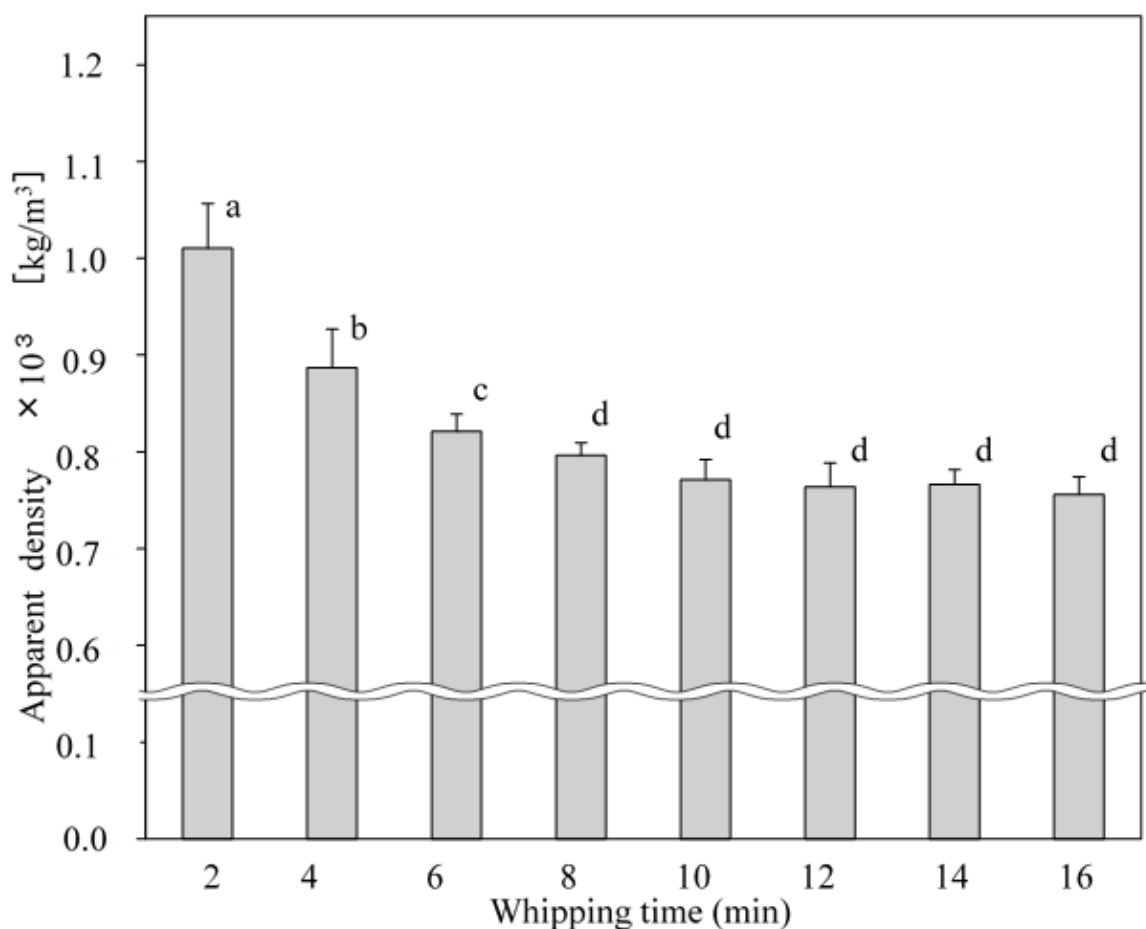


Fig. 2-3. Change in apparent density of dough on steamed bread made from Japanese yam.

Significant differences between different alphabets

$p < 0.05$ $n = 12 \sim 16$

3.3 自然薯蒸しパン製品の品質評価

1) 断面観察

攪拌時間が蒸しパン製品の膨化に及ぼす影響を知るため、各自然薯蒸しパン製品の断面を撮影した結果を Fig.2-4 に示した。その結果、自然薯の攪拌時間の短い2分から6分の蒸しパン試料においては、製品の上部表面に凹凸が見られて膨化の状態にむらがあり、断面には大きな気泡が観察された。こ

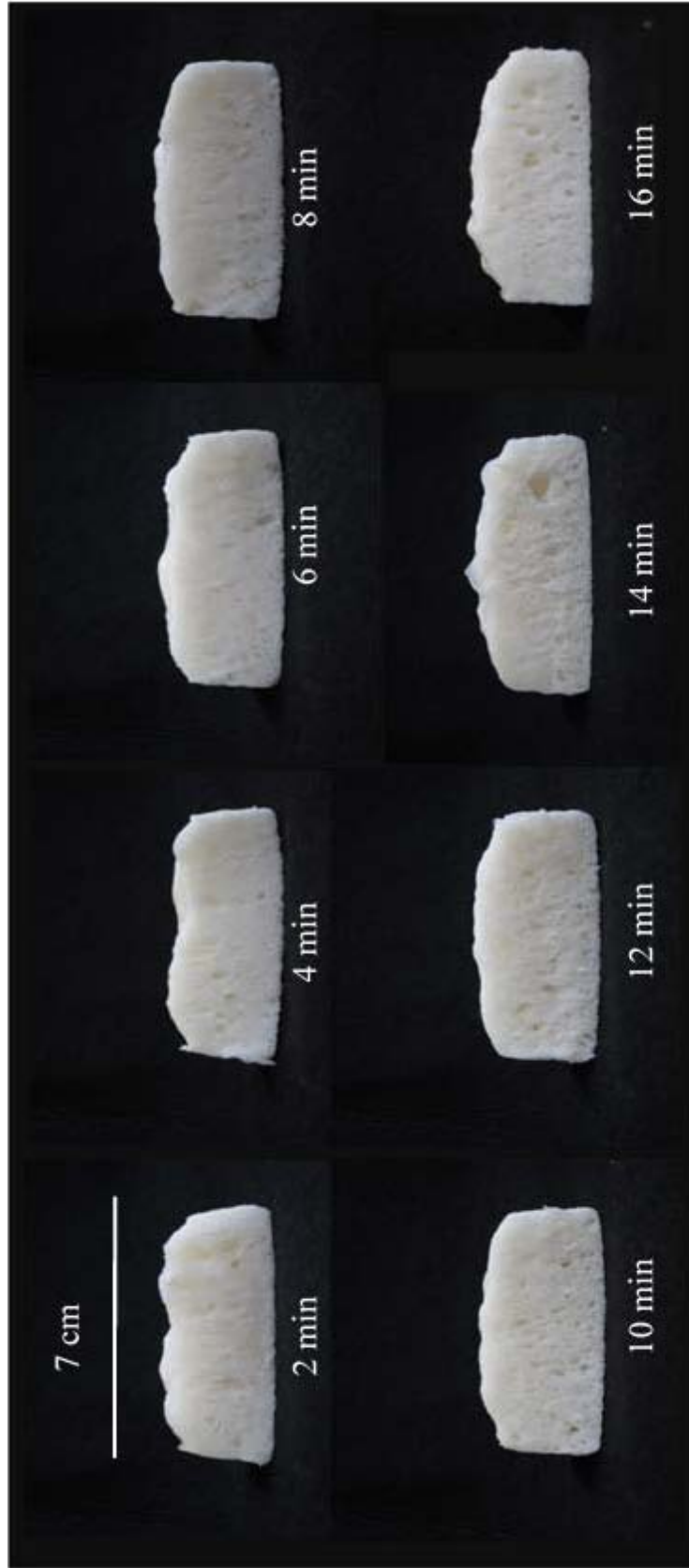


Fig.2-4. The cross section photographs of steamed breads made from Japanese yam by different whipping time.

れに対し、攪拌時間 8 分及び 10 分の試料では、表面の凹凸は少なくなり、断面のきめも細かく均一化されて気泡の大きさも揃っている状態が観察された。しかし、攪拌時間 14 分及び 16 分の試料では、再び蒸しパンの上部表面に凹凸が観察され、断面のきめも粗くなっていた。以上、製品の外観及び断面からは、攪拌時間 8 分から 10 分の自然薯を用いて調製する方法が適すると考えられた。この結果は、加熱前試料のみかけ密度の測定値からも裏付けられるものとなった。

2) 蒸しパン製品内部の検鏡観察

蒸しパン製品内部の構造と製品の柔らかさとの関連を組織学的に考察するため、川本法⁹¹⁾に準じて作成した観察用試料を検鏡し、その結果を Fig.2-5 に示した。

製品内の気泡数は、攪拌時間に伴って増加傾向にあるものの、12 分以降は気泡の合一が観察され、組織が荒くなることが認められ、1) の断面観察の結果と同様であった。このことは、小麦粉から作られる食品の場合では、グルテンによるネットワークに気泡が包含されるのに対し、米粉の場合では、こうしたスタビライザーとなる成分がほとんどない⁹⁷⁾ため、攪拌 12 分以降において、過剰に入り込んだ気泡はそのままの形状を維持しにくく、続く混捏操作によって合一したものと考えられた。

3) 比容積

自然薯の攪拌時間の異なるそれぞれの蒸しパン製品試料の比容積を Fig.2-6 に示した。各製品の比容積は、自然薯の攪拌時間 10 分までは有意に ($p < 0.05$) 上昇した。このことは、10

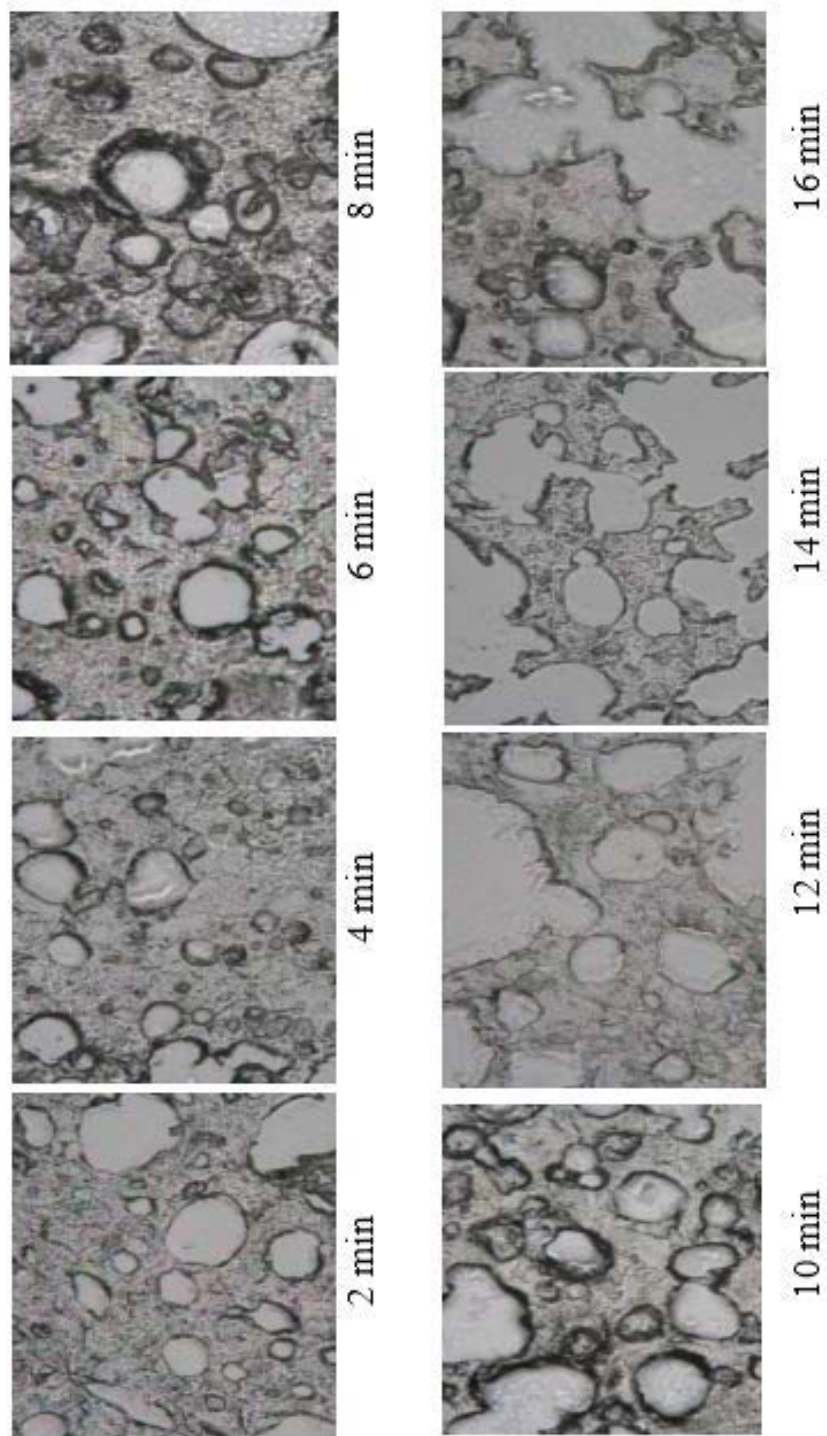


Fig. 2-5. Optical micrographs of steamed breads made from Japanese yam by different whipping time using Kawamoto method ($\times 200$)

分までは製品が有意に膨化していることを示している。しかし、10分以降はほぼ平衡状態となり、大きな変化は見られなかった。この結果を Fig.2-4 の表面・断面観察や、Fig.2-5 の内部の検鏡結果とあわせて考察すると、蒸しパン内部に入り込んだ気泡は、製品内部に保持されるものの、攪拌10分以上になると混捏によって合一するほか、製品表面に凹凸が観察されたように、製品内部に留まらず、製品外部へ移動したことにより、比容積が平衡状態となったと考えられる。

4) 圧縮試験による圧縮エネルギーの比較

測定は第1章実験方法 2.3. 2)と同様の方法で、圧縮エネルギーを求めた。なお、圧縮エネルギーは、測定の際に観察された波形の大部分が緩やかに上昇しており、ひずみ率を上げても変わらないと予測できた事と、いずれの試料においても破断点の観察されないひずみ率 60%までが気泡の影響を良く反映していると考えられるため、ひずみ率 60%における圧縮エネルギーの値を求めることとした。圧縮エネルギーは、Fig. 2-7 に示すように、自然薯の攪拌時間に伴い徐々に低下した。圧縮エネルギーは製品の軟らかさの指標ともなることから、蒸しパン製品は気泡が入ることで容易にひずみやすく⁹⁷⁾ 柔らかくなる傾向にあった。しかし、攪拌時間10分以降の試料は有意差が見られず、平衡状態となった。これらの結果を、Fig.2-5 及び Fig.2-6 に示した内部観察及び比容積の結果とあわせて考えると、攪拌時間10分以上の自然薯を加えた場合は、その後の混捏により、気泡の合一がなされて組織は荒くなるとともに、気泡が製品外部へ移動したため、圧縮

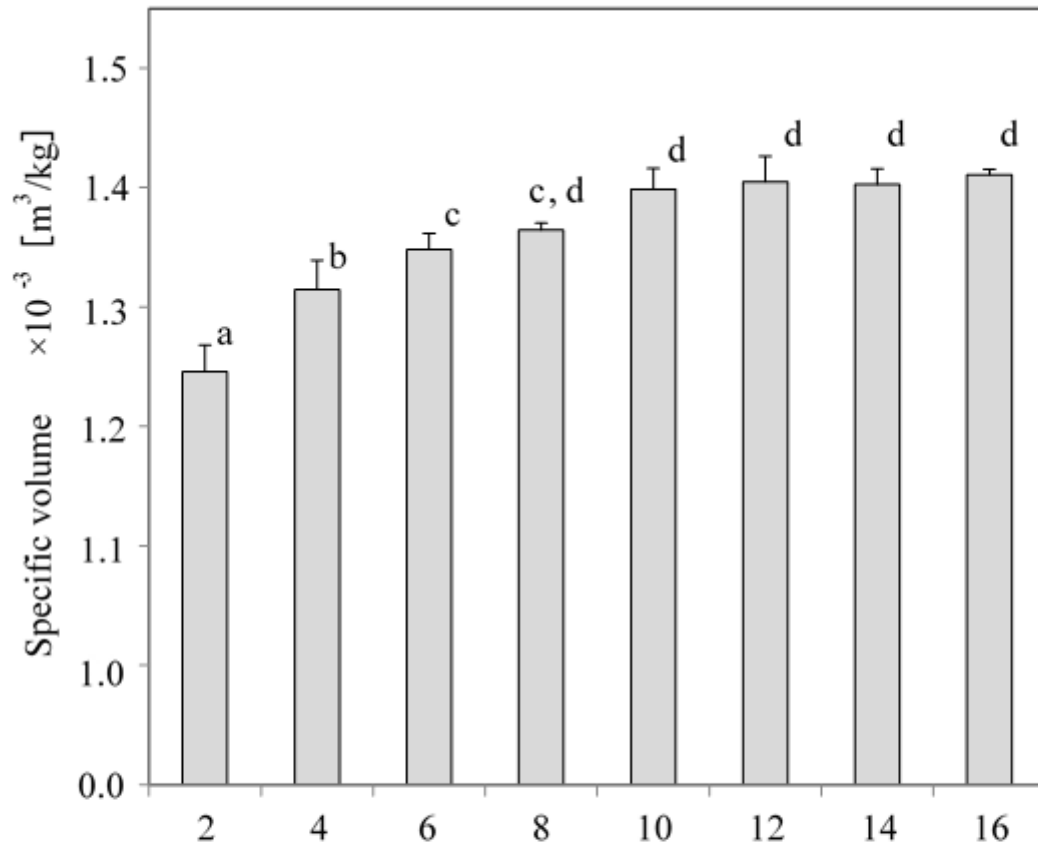


Fig. 2-6. Change in specific volume of various steamed breads made from Japanese yam by different whipping time.

Values shown with the different letters are significantly different.
 $P < 0.05$ $n = 13 \sim 15$

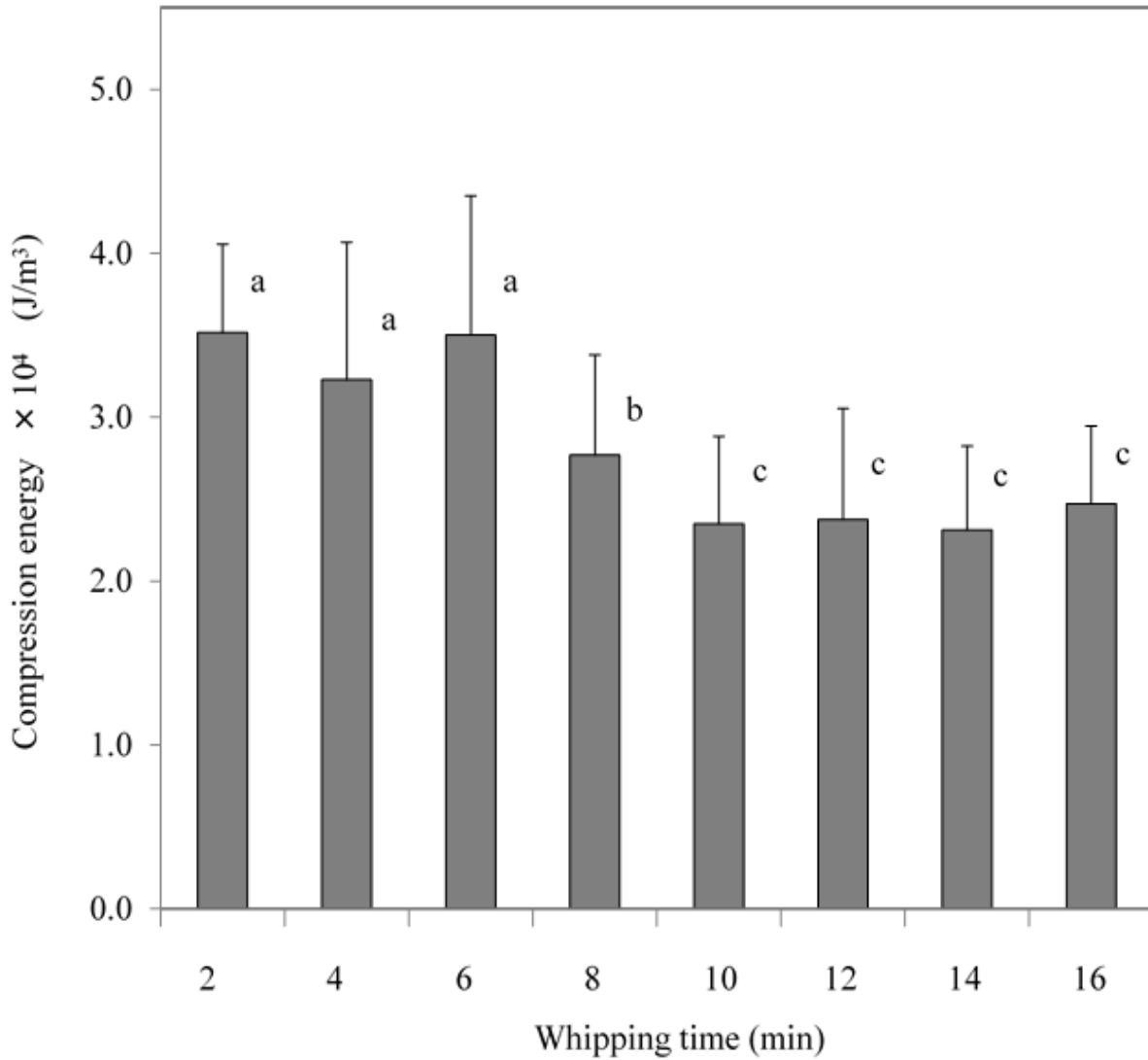


Fig. 2-7 Change in compression energy of steamed reads made from Japanese yam by different whipping time.

Values shown with the different letters are significantly different.
 $p < 0.05$ $n = 13 \sim 18$

エネルギーも低く容易にひずみやすくなったものと考えられた。

5) 官能評価

7段階評点法による官能評価結果を Fig.2-8 に示した。この結果から判断すると、「色」、「香り」、「硬さ」、「弾力」、「粘り」、「食感」、「味」、「総合評価」の8項目について、各パネリスト（検査員）は今回の実験試料である自然薯蒸しパン製品に対しても、自らが持つ製品評価基準より高い評価をしていた。また、「硬さ」においては攪拌12分の蒸しパン製品が攪拌16分の製品より有意に($p < 0.01$)高かった。このことは、Fig.2-5の内部観察画像に見られるように、12分及び16分はともに気泡の合一が見られるものの、16分の製品においては小さな気泡も観察され、気泡の分散状態に偏りが見られた。このことが製品の硬さのムラとなり、16分の製品の嗜好性を下げたと推察される。また、攪拌10分の試料は、有意差はないものの、総合評価において他の試料よりも好まれる傾向にあった。

3.4 自然薯蒸しパン粥の品質評価

1) テクスチャー測定

自然薯蒸しパンから調製したパン粥のテクスチャーの結果を Table 2-1. に示した。

各試料の硬さは、2.87～4.02 [kPa]の範囲にあり、付着性は0.82～1.07 [kJ/m³]、凝集性は0.09～0.11の範囲に位置していた。これらの結果は、厚生労働省が定めた、嚥下困難者用食品の許可規準Ⅲ¹¹⁾、すなわち不均質なものを含むまとまり

の

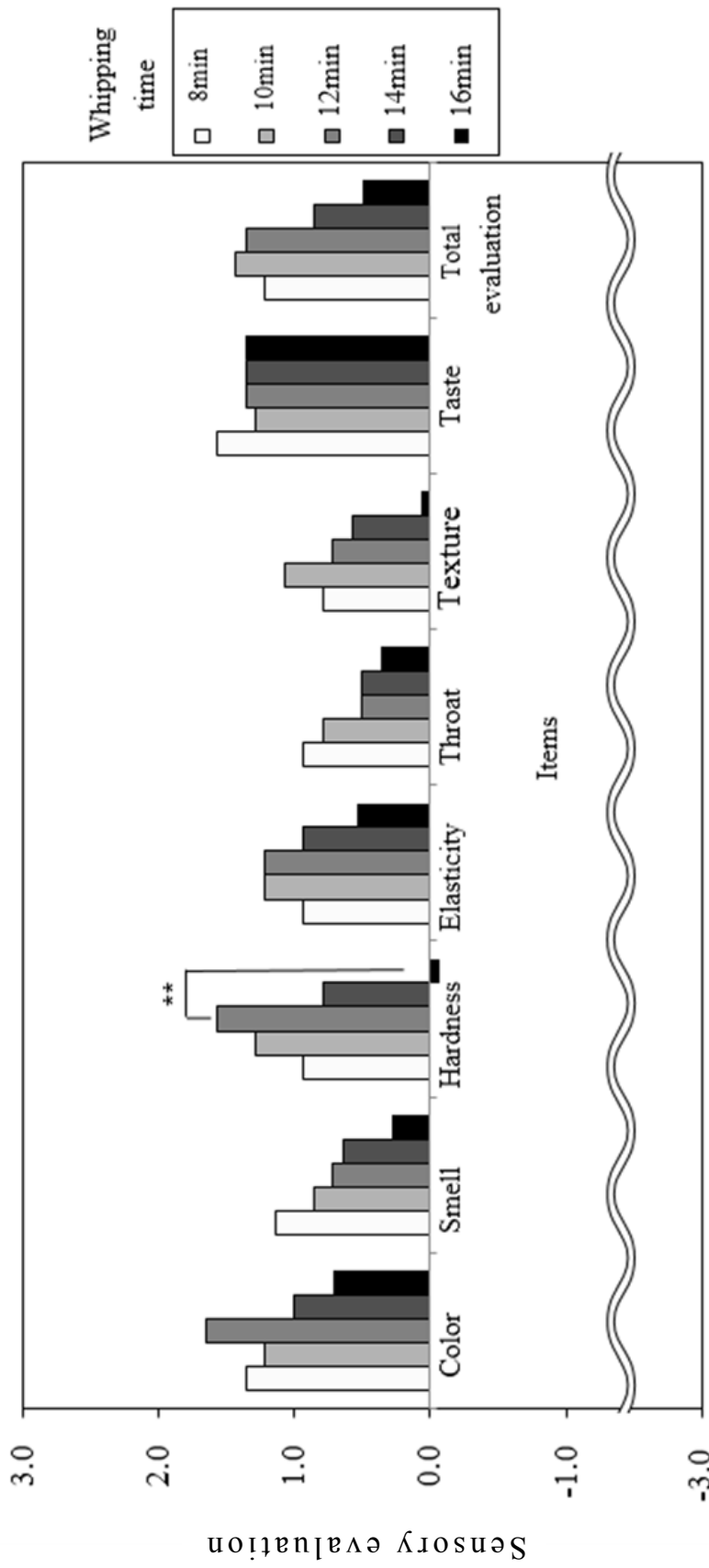


Fig.2-8. Change in sensory evaluation of steamed breads made from Japanese yam by different whipping time. $** p < 0.01$ n = 13

Table 2-1 Change in textures of steamed bread gruel made from Japanese yam by different whipping time.

Texture	8	10	12	14	16	Permission standard 3
Compressive stress (kPa)	3.04 ± 0.22	3.86 ± 0.28	2.87 ± 0.53	3.48 ± 0.18	4.02 ± 0.50	0.3~20
Adhesiveness (kJ/m ³)	0.91 ± 0.06	1.06 ± 0.06	0.82 ± 0.04	0.93 ± 0.06	1.07 ± 0.13	1.5 or less
Cohesiveness	0.09 ± 0.02	0.10 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.02	0.10 ± 0.03	non restriction

Values shown with the different letters are significantly difference. $p < 0.05$ n = 12~13

良いお粥や、柔らかいペースト状またはゼリー寄せ等の食品に該当していた。よって本研究で得られたパン粥は、嚥下困難者用食品として十分に対応できることが確認できた。そこで官能評価結果から考察することにした。

2) 官能評価

パン粥試料を用いての7段階評点法による官能評価結果をFig.2-9.に示した。評価項目は、「色」、「香り」、「硬さ」、「粘り」、「総合評価」の8項目とした。本実験のパネルはこのパン粥製品についても、それぞれが抱く評価基準(0)よりも高い評価をしていた。しかし、「香り」は14分の蒸しパン粥以外はマイナス評価であり、「喉ごし」、「食感」、「味」においては、10分のパン粥がマイナス評価となっていた。また、「喉ごし」においては、8分の蒸しパン粥は、10分及び、14分の試料より有意に($p < 0.05$)高く、「味」においては、8分の試料は、10分及び12分の各蒸しパン粥よりも有意に($p < 0.05$)高い評価をていた。以上より攪拌8分の蒸しパンで調製したパン粥は、物性(テクスチャー)評価・官能評価ともに、香り以外において(+1.6~0.4)と、基準の0よりも良い評価を得ていることがわかった。しかし、香りの項目について-0.4と低いこと、先述の蒸しパン製品の官能評価(+1.7~-0.1)に比べると全体的に評点が低めになっていることから、副材料の添加等で嗜好性を高める工夫が今後の検討事項といえよう。

3.5 自然薯蒸しパン及びパン粥製品の抗酸化能評価

自然薯蒸しパン及び蒸しパン粥の抗酸化能を検討するため、官能試験の総合評価で値の高かった各製品を測定対象として

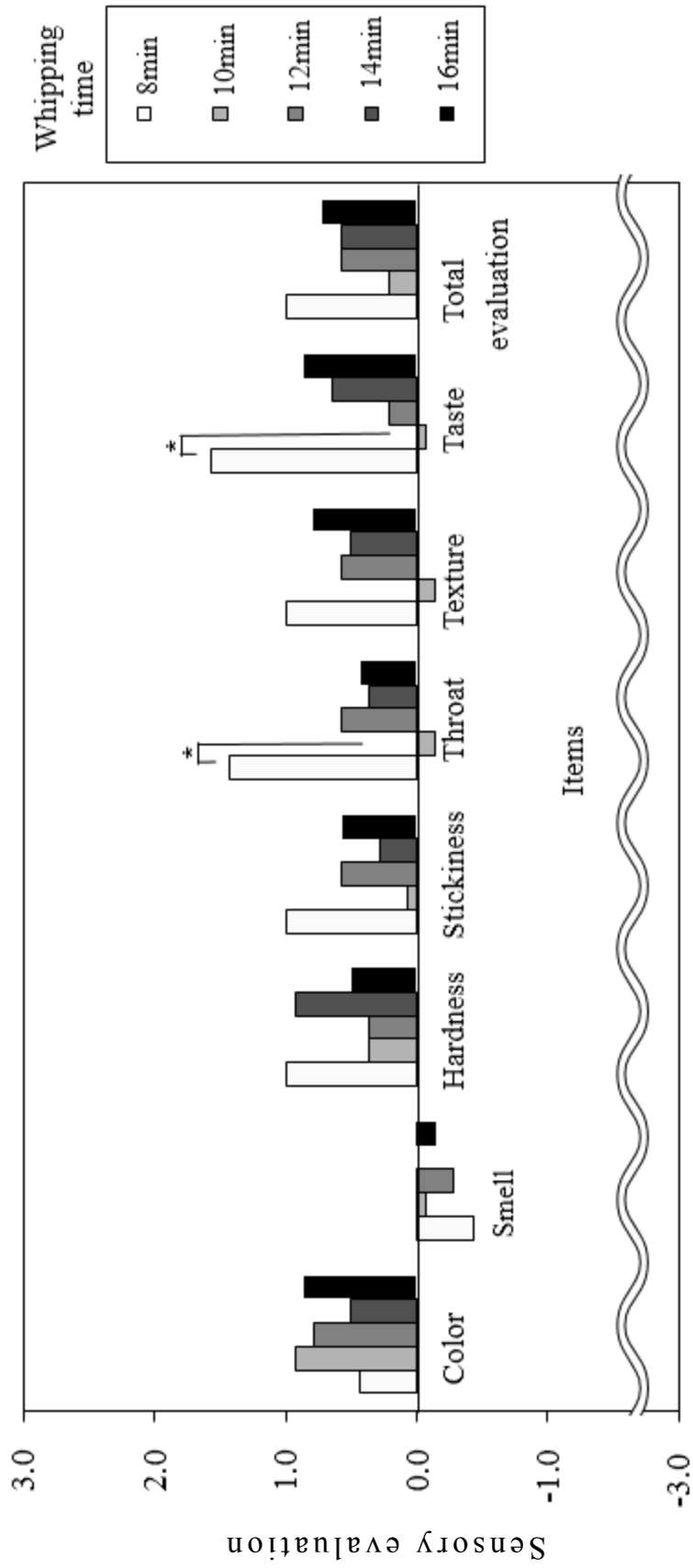


Fig. 2-9. Change in sensory evaluation of steamed bread gruel made from Japanese yam by different whipping time. $*p < 0.05$ n = 13

ORAC 値を測定し，その結果を Fig.2-10 に示した。

ORAC 値は，生試料 100g 当たりの値で示している。すなわち，皮付き自然薯の生試料の ORAC 値が 361 [$\mu\text{molTE}/100\text{g}$]であるのに対し，自然薯蒸しパンの生試料が同 76 [$\mu\text{molTE}/100\text{g}$]，蒸しパン粥の生試料が同 25 [$\mu\text{molTE}/100\text{g}$]であった。製品に含まれる生自然薯量は，蒸しパンが 34.2g，パン粥が 11.4g であることから，それぞれの ORAC 値は，使用量を用いての計算

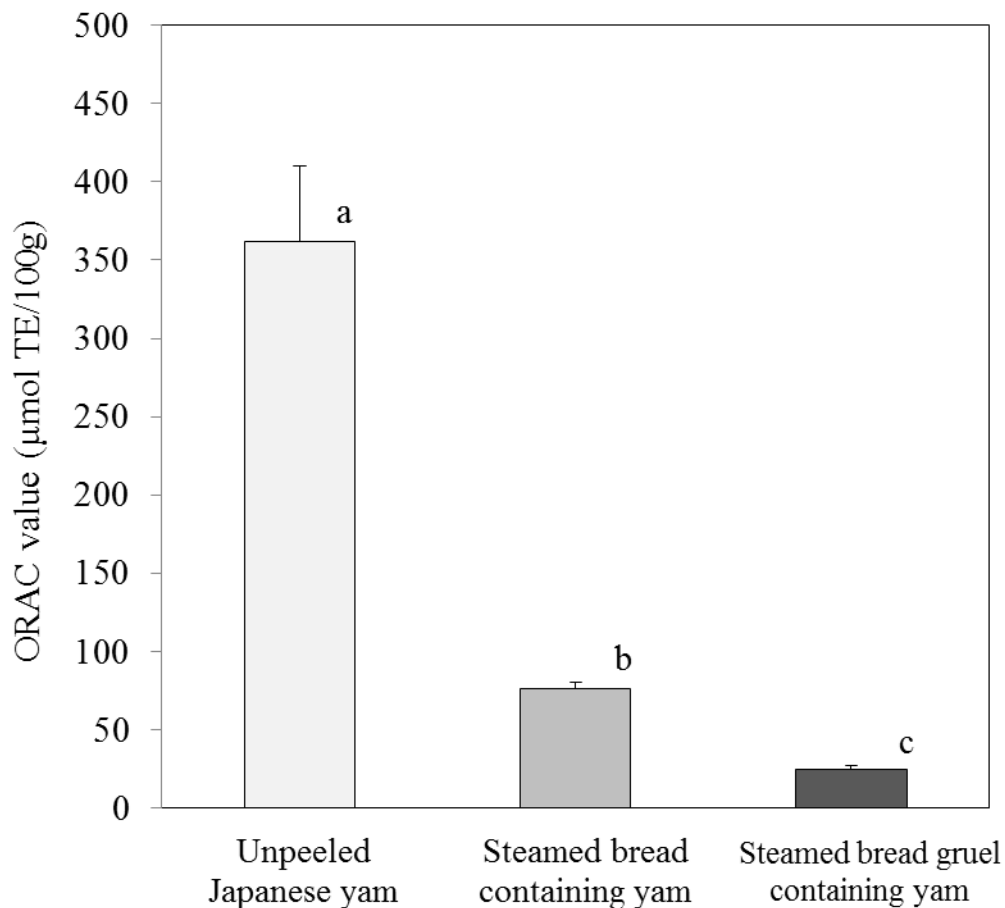


Fig. 2-10. The ORAC values of unpeeled raw Japanese yam and yam products.

Values shown with the different letters are significantly different.

$p < 0.01$ $n = 3$

値よりも，自然薯蒸しパンが 8.3%，パン粥が 11.2% 低下したことになる。この理由として，凍結乾燥処理過程でのふりい処置によってポリフェノール類が多く含まれる皮部分が一部除去されたことと，蒸し加熱過程においてポリフェノール類（カテキン）の酸化がなされた⁹⁸⁻⁹⁹⁾ ためと考えられた。

こうした結果から，今後は抗酸化能の高いクルミ¹⁰⁰⁾ やナッツ類などの種実類，ベリー¹⁰¹⁾ などを嚥下困難者用食品として，微細粉等の形状を考慮した状態で副材料に加えることで，嗜好性と共により抗酸化性を高める製品として期待できる。

4. 小 括

著者の地元である福島県の特産品の自然薯（福島県産「里山じねんじょ」）を用いて，攪拌時間を変え含有する気泡量を変えた自然薯を米粉に加えた蒸しパン製品を調製し，製品中に分散する気泡の状態が製品の品質に及ぼす影響について検討した。得られた結果をもとに，自然薯蒸しパンから粥を調製し，嚥下困難者用食品としての利用適性も検討した。

- 1) 里山自然薯の抗酸化能の指標となる ORAC 値は，皮つき自然薯試料の方が高い値を示した。
- 2) 自然薯蒸しパン加熱前試料のみかけ密度は，攪拌時間 10 分まで低下し，含有気泡量が増加していることがわかったが，10 分以降は平衡状態となった。
- 3) 膨化の指標となる自然薯蒸しパン製品の比容積は，攪拌時間 10 分まで上昇し，その後は平衡状態となった。
- 4) 自然薯蒸しパン製品の圧縮試験では，攪拌時間に伴い，

ひずみ率一定の圧縮エネルギーは低下したが、12分以降の試料は気泡の合一により内部組織は荒くなるとともに、気泡が製品外部へ移動したため、圧縮エネルギーが平衡状態になったものと推察された。

- 5) 自然薯蒸しパンの官能評価では、攪拌時間10分の製品が総合評価において最も高い評価となり、好まれる傾向にあった。
- 6) 自然薯蒸しパンから調製した粥試料の官能評価では、攪拌時間8分の製品が、味において最も好まれ、総合評価でも好まれる傾向にあった。
- 7) 抗酸化能の評価指標となるORAC値は、生自然薯で361[$\mu\text{mol TE}/100\text{g}$]であるのに対し、自然薯蒸しパン製品になると同76、蒸しパン粥が同25であった。今後は抗酸化性の高いクルミやナッツなどの種実類、ベリー類などを、微細状もしくは摩砕するなどの嚥下しやすい形状にし、副材料として添加することで、嗜好性ととともに抗酸化性を高める嚥下困難者用食品としての利用が期待できると考えられた。

第3章 自然薯ゼラチンゲル製品の品質に及ぼす気泡の影響と嚥下困難者用食品への利用適性

1. 緒言

ヤマノイモはヤマノイモ科の多年生植物で、古くから滋養強壮に良い⁴⁰⁾とされ、乾燥して漢方薬の“山薬”として用いたり⁴¹⁾、薬草⁴²⁻⁴³⁾としても広く用いられている。最近の研究では、抗酸化作用⁴⁴⁾、インシュリン感受性の上昇効果⁴⁵⁾、血圧上昇抑制効果⁴⁶⁾、及びアルツハイマー改善効果⁴⁷⁾などが報告されており、健康機能性面からも注目されている食品である。

ヤマノイモの調理法としては、摺って“とろろいも”にしたり、刻んで和え物の具材にするほか、ヤマノイモの滑らかさや纏まりの良さを利用して嚥下困難者の料理に用いられている⁵⁻⁷⁾。しかし、これらは簡便な半面、利用方法が限られているのが現状である。

本章では、地元福島の特産であるヤマノイモの一種“自然薯”を用いて、その強い粘りや喉ごし及び起泡性を生かしつつ、高齢者に好まれる調理食品として、“よせ豆腐”や“煮こごり”などのような“嚥下困難者向け惣菜料理”への利用を検討した。すなわち、ヤマノイモの含有成分ムチンの粘性により気泡を抱え込む特性⁸⁶⁾を利用し、気泡含有自然薯をゼラチンゾルと混合させたゼリー食品への展開を試みた。さらに、嚥下困難者用食品としての利用適性についても検討した。

2. 実験方法

2.1. 実験材料

試料としたヤマノイモ（以下，“自然薯”と記述）は，平成23年度福島県産「里山じねんじょ」を業者に依頼して凍結乾燥粉末処理した試料（以下粉末試料，70メッシュ）とした。ゼラチンは，牛骨から抽出したアルカリ処理低温60℃抽出ゼラチン（新田ゼラチン(株)，JIS規格表示；pH5.6，粘度4.5Pa・s，ゼリー強度268g）を用いた。食塩は，精製塩（(財)塩事業センター製）を用いた。

2.2. 試料調製

1) ゼラチンゾルの調製

上記アルカリ処理ゼラチン6gに蒸留水110gを加えて20分間膨潤後，50℃の湯浴中にて10分間ゾル化させた。これに精製塩1.8g（最終の自然薯ゲル製品300gに対して0.6wt%）を加えて溶解後，蒸留水を加え120gに調整した。

2) 起泡自然薯の調製

自然薯の凍結乾燥粉末試料45gに蒸留水135g（自然薯粉末の3倍重量）を加え，第2章実験方法2.2.1)と同様の業務用ミキサーを用いて，200rpmで2，4，6，8，10，12，14分の7水準の条件で攪拌し，攪拌時間の異なる自然薯（以下，起泡自然薯とする）とした。

3) 自然薯混合ゼラチンゾル及びゲルの調製

2) の各起泡自然薯試料の攪拌終了30秒前に1)のゼラチンゾル（混合時の品温 $32\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）を混合し，業務用ミキサーで

30 秒間攪拌した（品温 $27\pm 2^{\circ}\text{C}$ ）。攪拌終了後，直ちに 5°C の冷水中でゾル品温が 19°C になるまでゴムベラを用いて 1 回/秒の速度で約 1 分間混合・冷却（品温 $19\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ）し，内部温度測定用自然薯混合ゼラチンゾル（自然薯ゾルと称する）試料を得た。この試料を平均内径 40mm，高さ 15mm のステンレス製シャーレに充填後， 5°C の冷水中で 2 時間冷却し，テクスチャー測定用ゲル（以下，自然薯ゲルと称する）試料とした。また，同ゾル試料をガラス製シャーレ（平均内径 32mm，平均高さ 15mm，平均容量 12.4cm^3 ）に充填し，上記と同様恒温水槽中で冷却し，内部検鏡観察ならびに混入気泡面積，みかけ密度，及び圧縮エネルギー測定用ゲル試料とした。

2.3.測定項目及び測定方法

1) ゼラチンゾル及び起泡自然薯の圧縮試験

本実験では，既報¹⁰²⁾に準じて，試料調製 1) の品温別ゼラチンゾル及び起泡自然薯の「かたさ」をそれぞれ測定した。ここで示す「かたさ」とは，プランジャーの容器内試料への貫入抵抗を示しており，試料の粘性とプランジャーとの外部摩擦抵抗を現わしている¹⁰²⁾。しかし，この方法で測定される「かたさ」は，ゼラチンの温度降下にもなうゲル化の挙動や，自然薯の攪拌にもなう粘度変化を簡便に捉えることが出来ると考えた。筆者は，ババロアの調製において，起泡生クリームのような比重の軽い気泡含有食品をゼラチンゾルへ混合する場合，両者の最大応力が同程度の時に混合すると起泡生クリームがゼラチンゾルに均一に分散することを明ら

かにしている¹⁰²⁾。本実験においても、ゼラチンゾルと起泡自然薯を混合するための最適混合条件を知るため、品温別ゼラチンゾル及び攪拌時間別自然薯試料それぞれの圧縮試験時の最大応力を測定した。測定は、品温別ゼラチンゾル及び攪拌時間別自然薯試料それぞれの圧縮試験時の最大応力を測定した。

測定機器には、第1章実験方法2.3.1)と同様のものを用いた。既報¹⁰²⁾に準じた測定条件で、試料容器：内径40mm、高さ15mmのステンレス製シャーレ、樹脂製プランジャー：直径20mm、試料台速度：10mm/s、測定歪率：66.7%とした。測定用ゼラチンゾルは、あらかじめゾル品温と同温度に保持した上記シャーレに入れ、可及的速やかに測定した。測定試料数は7~13個とし、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

2) 自然薯ゲルのみかけ密度

測定方法は、第1章実験方法2.3.1)と同様とした。測定試料数は1試料につき25~40個とし、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

3) 走査型電子顕微鏡による自然薯ゲルの内部観察及び

混入気泡面積の解析

観察用試料は、気泡が外気温などの影響を受けにくく、最も平均値的な気泡状態が維持されていると思われる各自然薯ゲル試料の中心部を、垂直方向にカッターで縦3mm×横3mm×高さ10mmの角柱に切り取り、液体窒素で凍結後、第1章実験方法2)と同様の走査型電子顕微鏡を用いて、試料横方向の切断面像を撮影した。解析方法は、第1章実験方法2.3.2)と

同様とした。測定回数はそれぞれ 3~4 回とした。

4) 自然薯ゲルの圧縮エネルギー

上記試料調製 3) に示すシャーレに充填後，冷却した自然薯ゲルの圧縮試験を行い，圧縮エネルギーを測定した。

測定機器は，第 1 章実験方法 2.3. 1) と同様のものを用いた。

測定には，直径 5mm×高さ 22mm の樹脂性プランジャーを用いて，試料台速度を 1mm/s，歪率 90% の条件で，圧縮試験を行った。測定試料数は 1 試料につき 19~22 個とし，得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

5) 冷却下における自然薯ゲル試料の内部熱移動速度の算出

気泡混入量の異なる自然薯ゾルからゲルへ冷却する過程の，各試料の温度降下速度を比較した。既報¹⁰³⁻¹⁰⁵⁾ に準じて，モデル冷却装置¹⁰⁶⁻¹⁰⁹⁾ (新東科学(株) 製作) を用いた。すなわち，金属製試料容器底面(底面積 125mm²) の冷却温度を 5℃ 一定としたときの，容器底面から自然薯ゾル - ゲル試料の内部垂直 1 次元方向 ($x=0, 1, 3, 5, 7$ 及び 10mm) 各位置における温度変化を，各位置に設けた熱電対温度計(安立器製 type K, 直径 1mm) で測定し，これをデータコレクタ(安立製 AM-7002 型) で経時的に記録させて，得られた温度降下曲線から時間定数 $\tau_c(x)$ を算出した。その解析方法は，既報¹⁰³⁻¹⁰⁹⁾ に準じて行なった。

6) 自然薯ゲルのテクスチャー測定

攪拌時間を変えて調製した自然薯ゲル試料の嚙下困難者用食品としての利用適性を検討するため，テクスチャー測定を行なった。測定機器及び測定方法は，第 1 章実験方法 2.3. 2)

と同様とした。測定試料数は 1 試料につき 22～39 個とし、得られた値の平均値と標準偏差を求めた。

7) 官能評価

上記テクスチャー測定用試料から数種の自然薯ゲルを試料として抽出し、それらの嗜好性を検討した。パネルは東京家政大学調理科学研究室員 14 名とし、「口どけ」、「香り」、「硬さ」、「弾力」、「喉ごし」、「食感-主に歯触り」、「味」、「総合評価」の 8 項目について、Fig.3-1 に示す評価用紙を用いて、各パネリスト（検査員）が抱く“自然薯を用いた嚥下困難者向けの惣菜料理”として許容できる評価基準を 0 として、+3 から -3 までの 7 段階評点法で嗜好面から評価してもらった。

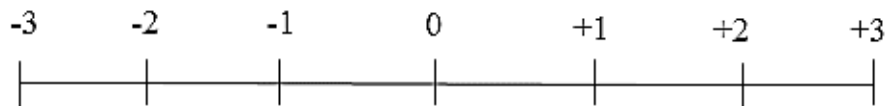
8) 統計処理

統計処理には、第 1 章実験方法 2.3.4)と同様のものを使用した。得られたデータは、一元配置分散分析を行い、その後、Turkey の HSD 検定による多重比較により、群間の差の検定を行った。

自然薯ゼリーの官能評価

性別(男・女) 年齢()才

1. 自然薯を使ったゼラチンゼリーを食べて評価をしてください。
 4種類の自然薯ゼリーがあります。
 各項目の評価の欄に該当する数字を入れてください。



項 目	評 価			
	H	J	I	K
口どけ (嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
香り (嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
硬さ (嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
弾力 (嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
喉ごし (嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
食感- 主に歯ざわり(嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
味(嫌い:-3 ~ 好き:+3)				
総合評価 (嫌い:-3 ~ 好き:+3)				

Fig.3-1 Sensory evaluation sheet

3. 結果及び考察

1) 品温別ゼラチンゾル及び起泡自然薯試料の最大応力

品温別ゼラチンゾルと攪拌時間別の起泡自然薯各試料の「かたさ」を比較するため、圧縮試験で最大応力を測定し、Fig.3-2 に示した。

ゼラチンゾルの最大応力は、品温 40℃～20℃までにおいて平均 113～127Pa とほぼ平衡状態にあり、19℃以降、ゲル化の進行に伴い最大応力は平均 199 (19℃)～55 (17℃) Pa と急激に変化し、20℃に比べて有意に上昇した。

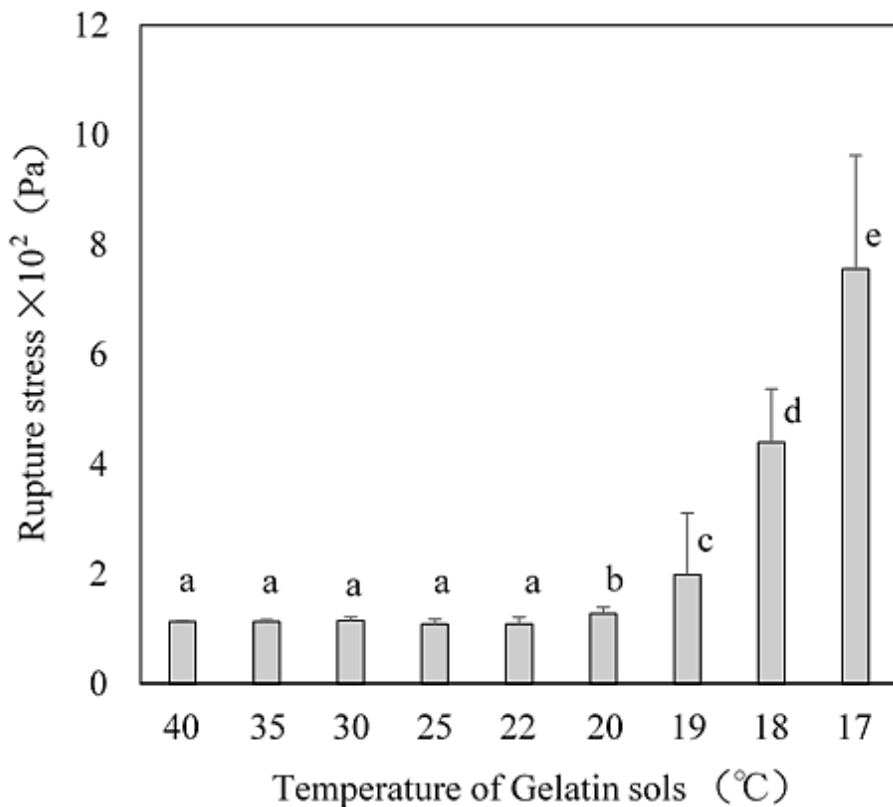


Fig.3-2 Rupture stress of gelatin sols various temperature.

Values shown with the different letters are not significantly different
 $p < 0.05$ $n = 8-13$

ゼラチンのゾルからゲルへの転移は，ゲル化点において急速に進行¹¹⁰⁻¹¹¹⁾することから，このようなゼラチンゾルの最大応力の急激な上昇は，本実験条件におけるゼラチンのゲル化開始温度が19℃近辺であると推察された。したがって試料調製においては，各自然薯ゾル試料を品温19℃になるまで5℃の冷水中で冷却することとした。

ついで，Fig.3-3に起泡自然薯試料の最大応力の結果を示す。起泡自然薯の最大応力は，平均12.8（攪拌2分）～29.3（攪拌14分）kPaとなり，自然薯の攪拌時間に伴って有意に増加し，攪拌10分以降平衡状態となった。これは卵白を攪拌して調製するメレンゲの場合にも見られた現象¹¹²⁾である。卵白の場合，攪拌により気泡を取り囲む液体膜の硬が上昇する²²⁾と共に粘度も増した。粘質物の主体がムチンである自然薯の場合も，卵白と同様の理由から最大応力が値大したと考えられた。すなわち，最大応力値の増大は，自然薯内部へ取り込まれた気泡の液体膜表面へのタンパク質吸着量の増加と泡沫系内部に取り込まれた空気量の増大によって現れた結果^{22, 83)}と推察された。

以上より，起泡自然薯試料の最大応力は，ゲル化開始温度19℃におけるゼラチンゾル試料の37～113倍であり，両者の最大応力には大きな差が見られた。既報¹⁰²⁾のババロアのように，ゼラチンゾルと気泡含有生クリームを混合する場合には，両者の「かたさ」がほぼ等しい16～18℃のゼラチンゾルと6分立て生クリームを混合すると，気泡が均一に分散す

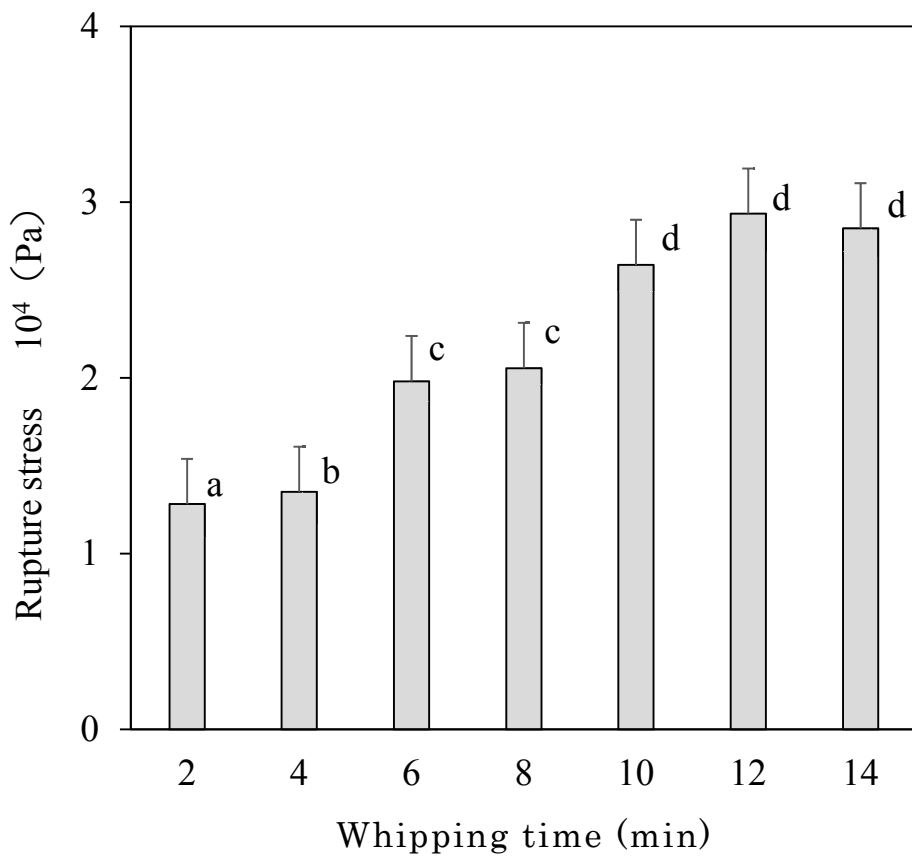


Fig.3-3 Rupture stress of whipped Japanese yam .

Values shown with the different letters are not significantly different
 $p < 0.05$ $n = 8 \sim 13$

る¹⁰²⁾。しかし，本実験におけるゼラチンゾルと攪拌自然薯のように「かたさ」に大きな差がある場合は，ババロアと同シである自然薯の場合も，卵白と同様の理由から最大応力値が増大したと考えられた。すなわち，最大応力値の増大は，自然薯内部へ取り込まれた気泡の液体まく表面へのタンパク質吸着量の増加と泡沫様の混合方法は適さないと考えられた。したがって，本実験では，各試料の攪拌時間終了 30 秒前にゼラチンゾルを加えて攪拌混合することとした。(試料調製方法 3)を参照)

2) 自然薯ゲル製品内部の検鏡観察結果

各自然薯ゲル製品内部の気泡の分散状態と製品の性状との関連を組織学的に検討するため，攪拌時間 2，6，8，10，及び 12 分の自然薯各試料で調製した自然薯ゲル試料を顕微鏡観察し，その結果を Fig.3-4 に示した。

これらの画像より，製品内部の気泡は，自然薯の攪拌時間 2 分で調製した試料では混入気泡量も少なく，気泡の大きさにもばらつきが見られたが，攪拌時間につれて次第に気泡数は増加し，気泡の大きさも均一化していき，攪拌 10 分において気泡の大きさは最もよく揃っていた。ついで 12 分では，やや大きな気泡が存在するものの，8 分と比較して大きな違いは観察されなかった。

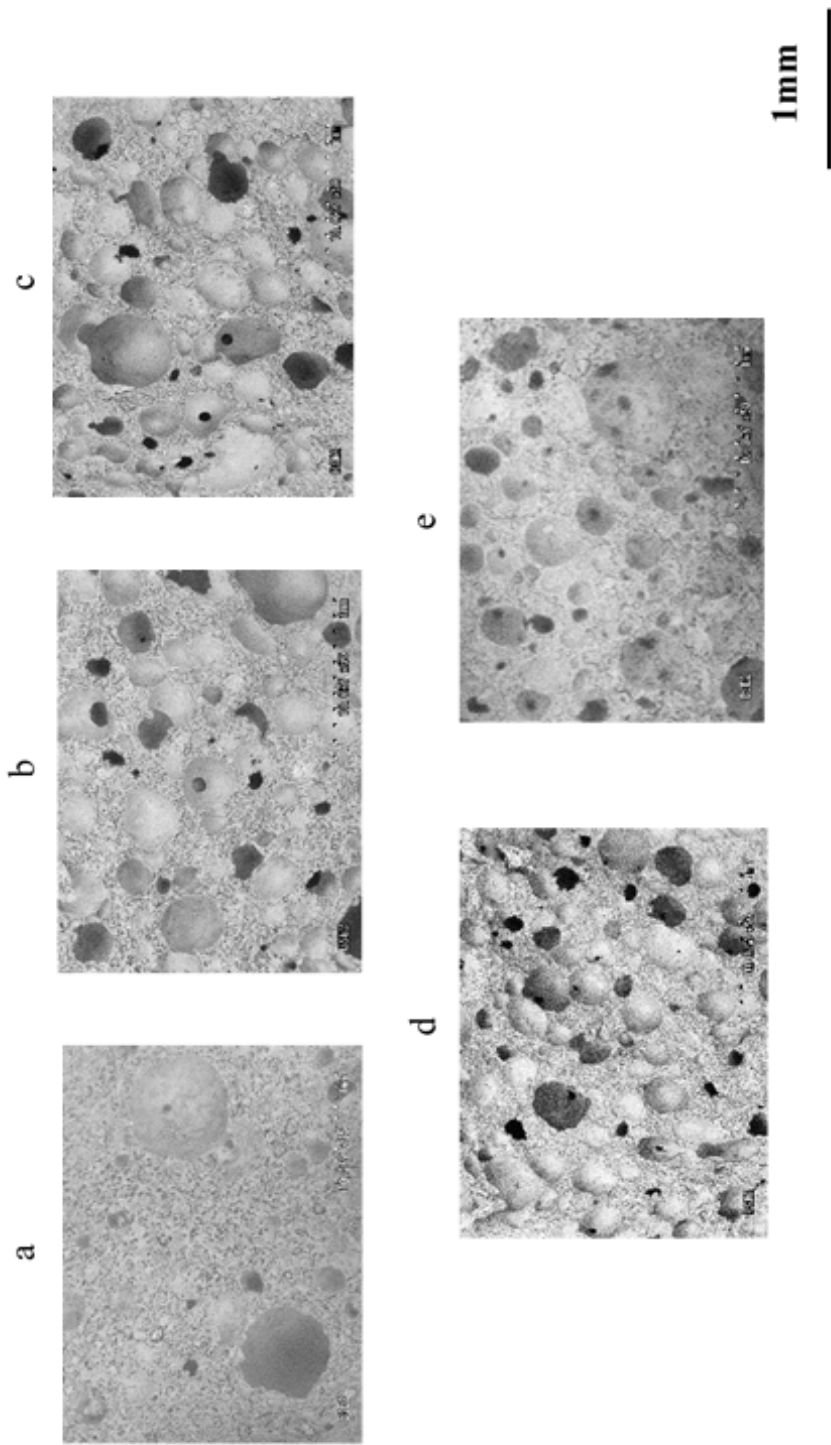


Fig.3-4 Scanning electron microscopes of gelatin gels with Japanese yam at various different whipping times . ($\times 50$)
whipping time: a: 2min b: 6min c: 8min d: 10min e: 14min

3) 自然薯ゲル製品のみかけ密度

自然薯ゲル製品に混入する気泡量に及ぼす自然薯攪拌時間の影響を知るため、各自然薯ゲル試料のみかけ密度を測定し、その結果を Fig.3-5 に示した。

みかけ密度は、値が小なほど気泡が多く混入している指標となるが、自然薯ゲルのみかけ密度は自然薯の攪拌時間に伴って 10 分まで低下し、その後平衡状態となった。攪拌 10 分以降は過剰に入り込んだ気泡は、その後の混合過程で合一したり、ゾル外部へ移動した⁴⁹⁾ため、みかけ密度は平衡状態になったものと考えられた。このことから、攪拌により自然薯内部に入り込んだ気泡が、これらを混合して調製した自然薯ゲル製品の物性に影響を及ぼしたものと考えられた。

このことから、攪拌により自然薯内部に入り込んだ気泡が、これらを混合して調製した自然薯ゲル製品の物性に影響を及ぼしたものと考えられた。

4) 自然薯ゲル製品の圧縮エネルギー

ついで、これら試料の圧縮エネルギーを測定したが、いずれの試料も圧縮試験における波形に明らかな破断点が観察されなかった。そこで、一定の歪率、すなわち歪率 90%時点における圧縮エネルギーで比較することとし、結果を Table3-1 に示した。

圧縮エネルギーは、攪拌時間 2 分で 4.751J/m^2 と最も高くついで 8 分まで 3.749J/m^2 と有意に低下して、その後平衡状態となった。

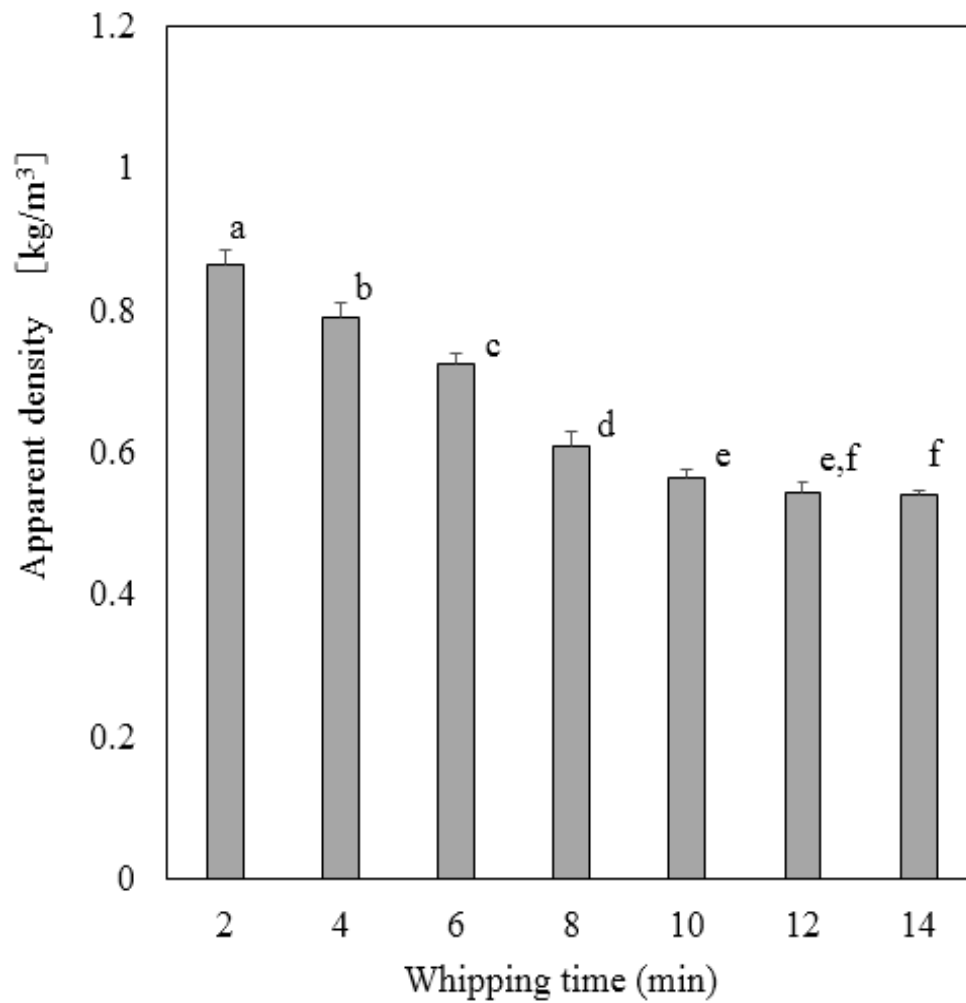


Fig.3-5 Apparent density of gelatin sols at various whipping time.

Values shown with the different letter are significantly different.

$$p < 0.05 \quad n = 20\sim 38$$

Table 3-1 Compression energy of gelatin sols at various whipping time.

Whipping time (min)	2	4	6	8	10	12	14
Compression energy $\times 10^3$ (J/m ²)	4.751 ± 0.22	4.487 ± 0.23	4.014 ± 0.35	3.749 ± 0.22	3.766 ± 0.17	3.711 ± 0.13	3.385 ± 0.27

Values stated with the different letters are not significantly different ($p < 0.05$).

以上，みかけ密度の結果とも合わせて考察すると，ゲル内に効果的に気泡を混入させるには，自然薯の攪拌を8～10分で調製するのが良いといえる。

5) 混入気泡面積と圧縮エネルギーとの関係

そこで，上記顕微鏡観察での気泡の状態と自然薯ゲルの物性との関連をさらに知るため，各攪拌自然薯ゲルの気泡面積と圧縮エネルギーとの相関を検討した。Fig.3-6に示すように，気泡面積と圧縮エネルギーの間には $r = -0.95$ の高い負の相関関係があり，攪拌により含有気泡量が増加するほど圧縮エネルギーが低下することが明らかになった。このことは，自然薯ゲル試料の硬さは内部に混入した気泡量に大きく影響されることを示唆するものである。これらの現象は先の起泡メレンゲ⁴⁸⁾の結果と同様であった。

6) 冷却中の内部温度降下曲線と時間定数 $\tau_c(x)$ の比較

これまでの加熱実験から，食品内の気泡の存在が食品内部への熱移動速度に影響しており，気泡入りメレンゲの熱移動については，取り込まれる気泡量が増えるほど緩慢になる²⁶⁾ことが報告されている。本研究で取り上げた自然薯ゲルのように，嚥下困難者用の料理を提供するために，加熱とは真逆の操作である冷却時にどのような熱挙動を示すのかを確認することとした。各自然薯ゾルの一定冷却下(5℃)における試料内部各位置での温度の経時変化を追跡したが，本報では，そのうちの冷却面から5mm内部での温度の経時変化を冷却時温度降下曲線として Fig3-7に示した。縦軸を無次元温度 $\phi(t)$ とし，横軸は冷却時間である。

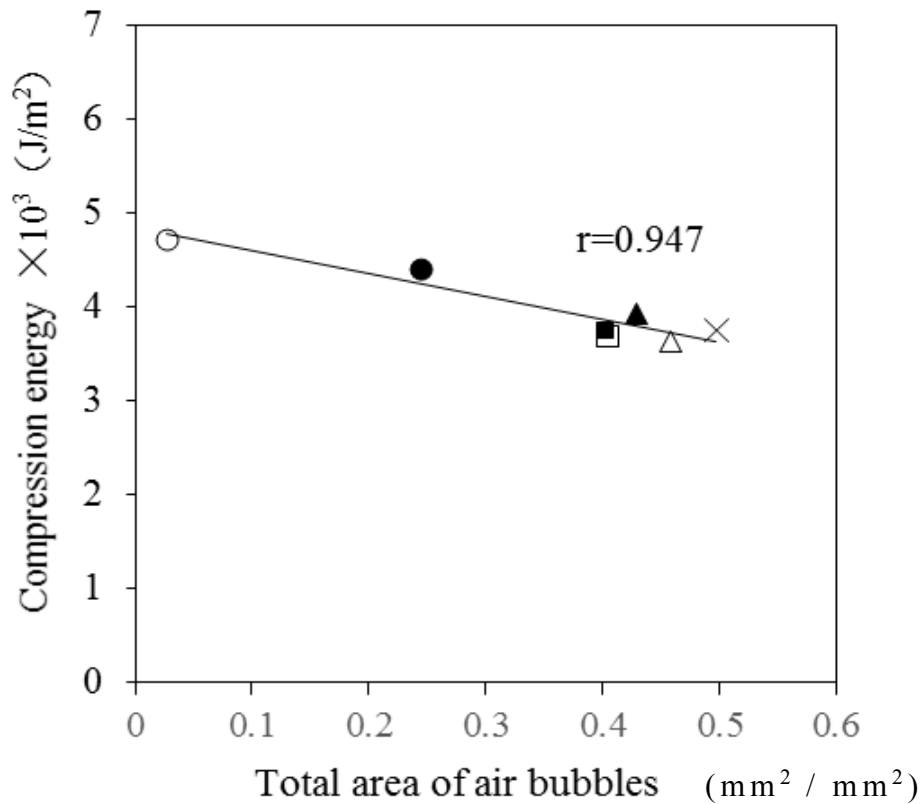


Fig.3-6 Relationship between compression energy and total area of air bubbles of gelatin gel with Japanese yam at various different whipping times .

Whipping time:

- 2min ● 4min □ 6min × 8min △ 10min
- 12min ▲ 14min

なお，温度降下曲線は，これまでに測定対象とした種々の状態の食材^{107, 109)}と同様，次式に従って記述される。

$$\varphi(t) = (1 - \exp) [t/\tau(x)] \quad (1)$$

ただし， $\varphi(t)$ は次の(2)式で表される無次元温度として

Fig.3-7 の縦軸に示している。すなわち、

$$\varphi(t)=(T_t-T_0)/(T_\infty-T_0) \quad (2)$$

ここで示す $\varphi(t)$ は、冷却時間 t における自然薯ゲル試料内部 x 位置での無次元温度であり、冷却開始時、冷却中及び一定温度に収束した冷却終了時の試料内部温度をそれぞれ T_0 (ここでは 19°C)、 T_t 、 T_∞ (ここでは 10°C) として (2) 式から計算できる^{107, 109)}。また $\tau_c(x)$ は、冷却速度を律する時間定数、すなわち緩和時間に相当する^{107, 109)} ものであり、 x は冷却面からの内部距離を示す (Fig.3-7 では $x=5\text{mm}$)。すなわち、温度降下曲線と、縦軸の無次元温度 $0.37 (= 1/e)$ との交点が緩和時間として求められる。この温度測定データから算出される時間定数 (緩和時間) を Table 3-2 に示した。その結果、伝導伝熱による試料内部の温度降下速度は、内部に入り込んだ気泡量が多い試料ほど、熱の移動が遅れ緩慢になる傾向にあった。自然薯ゾルを一定条件で冷却した時の試料内部の温度降下速度の指標となる緩和時間は、自然薯の攪拌時間に伴ってゾル内部に混入する気泡量が多くなるほど大となり、熱移動が緩慢になることが認められた。この状況は、加熱時で観察されている結果²⁶⁾と同様であり、混入された気泡の存在が断熱材的役割をして、熱の伝導を遅らせていることが示唆された。そこで今回のようなゲル状食品の冷却操作においても、気泡を多量混入させて柔らかく保形性のある製品を得るためには、試料調製時に常法よりも長めの冷却時間をとる必要があると考えられた。

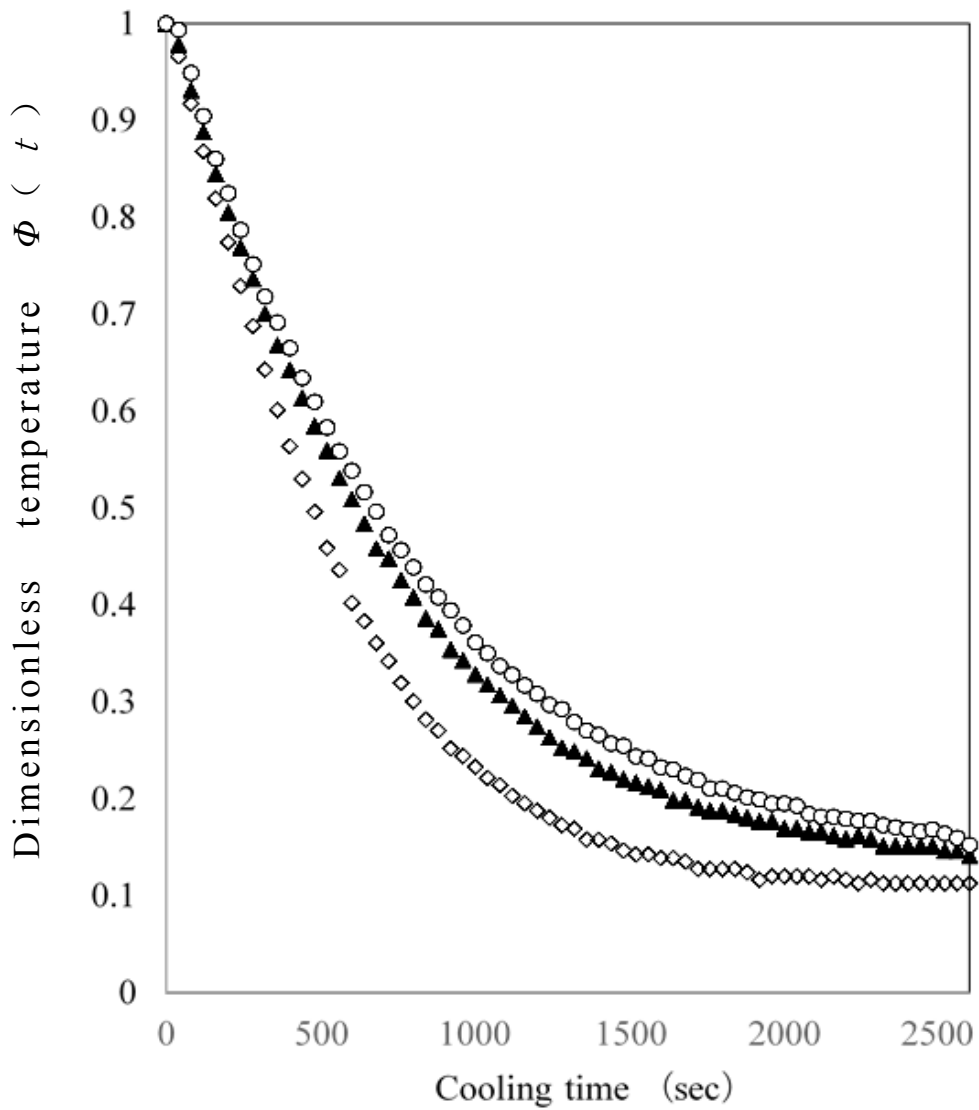


Fig.3-7 comparison of the curves of decreasing temperature detected at the place 5mm apart from the cooling plane in Japanese yam.

Whipping time : \diamond 2min \blacktriangle 6min \circ 8min

Table 3-2 Effects of whipping time of Japanese yam in gelatin gel on the relaxation time τ_c (x) estimated by cooling temperature from 19 °C to about 10°C

Whipping time(min)	Relaxation time at the place 5mm apart from the cooling surface in the sample
2	770.0 ± 112.7
6	907.8 ± 49.4
8	967.6 ± 59.4
10	930.1 ± 103.9
12	891.7 ± 74.2

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ n = 3~7

7) 自然薯ゲルの嚥下困難者用食品としての評価

以上の結果から，自然薯ゲルの気泡の混入状態と物性との関連が明らかとなったので，これら製品の嚥下困難者用食品への利用適性を機器測定及び官能評価の両面から検討した。

i) テクスチャー測定

Table 3-3 にテクスチャー測定の結果を示した。

自然薯ゲルの硬さは，平均 12, 86~16, 62kPa となり，自然薯の攪拌 4 分試料まで低下した後，平衡状態となった。つ

Table 3-3 Changes in textures of gelatin gel with Japanese yam by various Different whipping times.

Texture	2	4	6	8	10	12	14	Permission standard II
Hardness × 10 ³ (Pa)	a 16.62 ± 4.00	b 13.96 ± 1.87	b 13.12 ± 1.53	b 13.34 ± 1.68	b 12.92 ± 1.01	b 13.19 ± 1.10	b 12.86 ± 1.27	1~15
Adhesiveness × 10 ² (J/m ²)	a 2.93 ± 0.98	a,b 3.66 ± 0.62	a,b 3.17 ± 0.98	b,c 3.71 ± 1.21	b,c 3.72 ± 0.74	c 4.06 ± 0.94	c 4.53 ± 0.94	10 or less
Cohesiveness	a 0.61 ± 0.07	a,c 0.58 ± 0.05	b,c 0.57 ± 0.04	b,c 0.55 ± 0.04	a,c 0.58 ± 0.04	b,c 0.58 ± 0.03	b 0.52 ± 0.03	0.2~0.9

Values shown with the different letters are not significantly different ($p < 0.05$). n = 22~39

いで付着性は平均 $293 \sim 453 \text{J/m}^3$ となり，攪拌時間が長くなるほど高くなる傾向にあった。また凝集性は平均 $0.52 \sim 0.61$ と各試料間に大きな違いは見られなかった。これらの結果を，嚥下困難者用食品の許可基準¹¹⁾に照らして評価してみると，攪拌2分の試料は許可基準Ⅲ，そのほかの試料は許可基準Ⅱに該当することが確認できた。すなわち，本実験条件で調製した自然薯ゲルのテクスチャーは，許可基準Ⅱのゼリー状またはムース状の食品や，許可基準Ⅲの不均質なものを含む，纏まりの良い粥や柔らかいペースト状，またはゼリー寄せ等の食品に相当することが示唆された。

ii) 官能評価結果

以上のテクスチャー測定結果から，自然薯ゲルが嚥下困難者用食品として展開可能なことが認められたので，嗜好面での品質適性を検討した。前もって行なった予備実験では，攪拌8分と10分の試料では感覚的な差が見られなかったため，今回の官能評価対象試料としては，上記テクスチャー測定値に明らかな差が見られ，且つ比較的短時間で調製可能な，攪拌2，4，6，8（分）の4試料を抽出した。結果を Fig.3-8 に示した。

図からも明らかなように，味以外の評価項目でプラス評価となり，検査員各自の評価基準（0）よりも高い評価を得ていた。また，攪拌8分の試料は，「総合評価」において2分と4分の製品よりも有意に（ $p < 0.05$ ）高い評価を得ていた。今回の実験では，自然薯ゲルの基礎的特性を明らかにする目的から，試料には塩味のみを添加している。しかし，味においてマイ

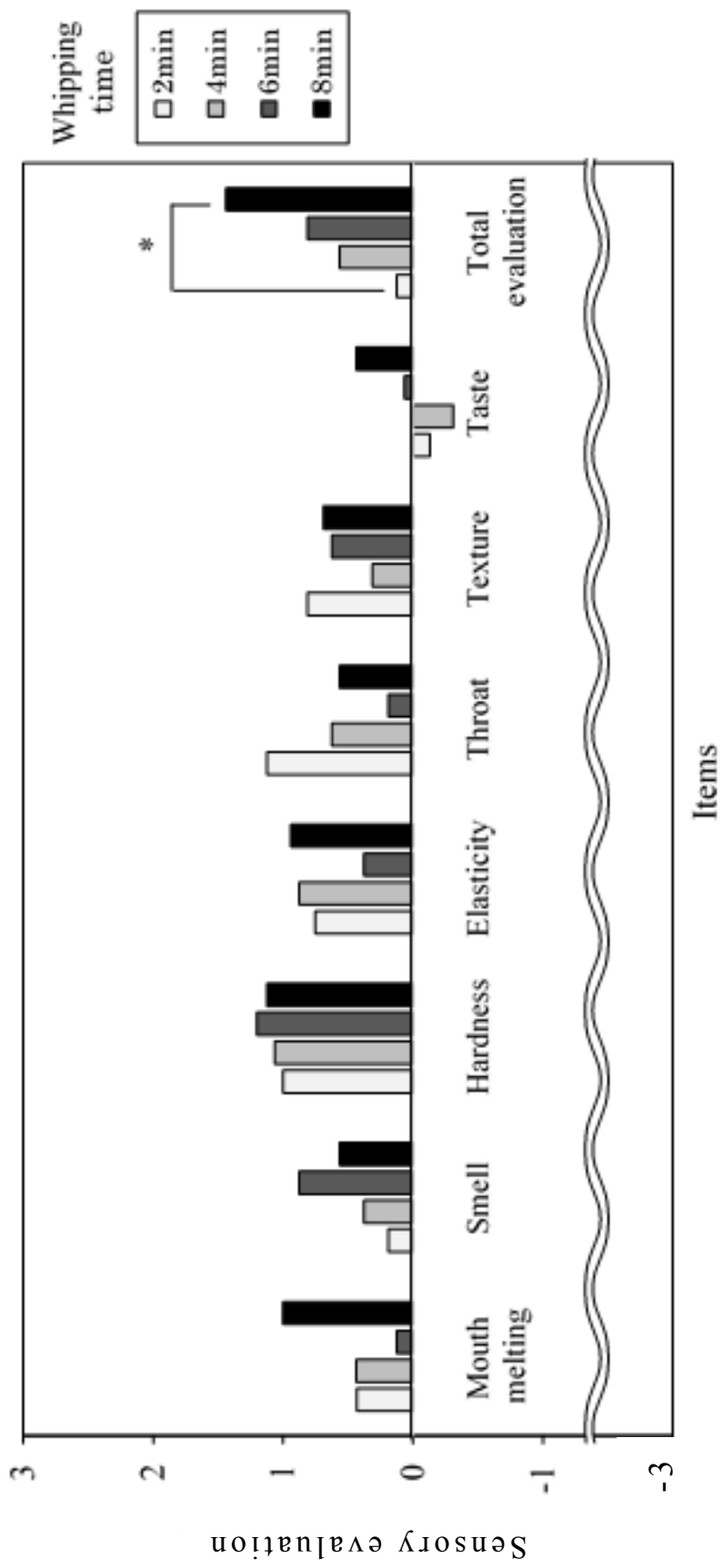


Fig.3-8 Changes in sensory evaluation of various gelatin gels to which Japanese yam was added ($p < 0.05$, $n = 14$)

ナス評価が見られたこと，全体に評価が低い傾向にあったことから，今後，旨味¹¹³⁻¹¹⁵⁾や副材料を加えるなどの工夫で製品の嗜好性の向上が期待できる。さらに惣菜用として，だし汁添加自然薯ゲル製品の検討をするとともに一般の高齢者パネルによる嗜好評価も必要と考えている。

以上，一連の測定結果から総合的に判断して，本研究で調製した自然薯ゲル試料は，いずれも嚥下困難者用食品として適用可能であるとともに，調製時の攪拌時間を変え含有する気泡量を変えることで，許可基準の範囲をコントロールできることが示唆された。

4. 小 括

攪拌時間の異なる自然薯をくわえたゼラチンゲルを調製し，その物性を明らかにし，含有気泡との関連を検討するとともに，嚥下困難者用食品としての利用適性について検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) 自然薯ゲル内の気泡は，内部観察の結果，自然薯の攪拌に伴って増加し，気泡の大きさも均一化していた。
- 2) 自然薯ゲルのみかけ密度は，自然薯の攪拌 10 分まで暫時低下し，その後は平衡状態であった。攪拌によって自然薯内部に混入する気泡は増加するが，攪拌 10 分以降は過剰に入り込んだ気泡は，その後の混合過程で合一したり，ゾル外部へ移動した⁴⁹⁾ため，みかけ密度は平衡状態になったものと考えられた。
- 3) 自然薯ゲルの圧縮エネルギーは，攪拌 8 分まで低下し，

その後は平衡状態となった。

- 4) 自然薯ゾルを一定条件で冷却した時の試料内部の温度下降速度は，内部に取り込まれる気泡量が多くなるほど緩慢になることが認められた。
- 5) 各自然薯ゲルのテクスチャーを嚥下困難者用食品の許可基準¹¹⁾に照らしてみると，攪拌2分の試料は許可基準Ⅲ，それ以外の試料は許可基準Ⅱに該当することが認められ，本実験条件で調製した自然薯ゲルのテクスチャーは，許可基準Ⅱのゼリー状またはムース状等の食品や，許可基準Ⅲの不均質なものを含む，纏まりの良い粥や柔らかいペースト状またはゼリー寄せ等の食品に相当した。
- 6) 自然薯ゲル製品の官能評価の結果，”味”以外の評価項目でプラス評価となり，検査員各自の評価基準（0）より高い評価を得ていた。また，テクスチャー試験より攪拌8分の試料は，10分試料と同程度であり，官能評価の「総合評価」において攪拌2分と4分の製品より有意に高い評価を得た。今後はだし汁添加の自然薯ゲル料理としての検討をするとともに，一般パネルによる官能評価も必要と考える。
- 7) 本研究において調製した自然薯ゲルはいずれも嚥下困難者用食品として適用可能であるとともに，製品調製時に於いて，攪拌時間を変え含有気泡量を変えることで，許可基準範囲をコントロールできることが示唆された。

第4章 魚肉混合ムース製品の創成と QOL を高める 嚥下困難者用食品への応用適性

1. 緒言

食品に気泡が混入されることで、製品の物性の変化とともに、テクスチャーや嗜好性の向上が期待できる。

本研究では、1章から3章において、食品中に包含された気泡の状態に視点をおき、卵白メレンゲ⁴⁸⁾や、起泡自然薯入りの蒸しパン⁴⁹⁾及びゲル製品¹¹⁵⁾の物性を検討するとともに、嗜好性を向上させ QOL(Quality of Life)を高めるような嚥下困難者用食品の利用適性を報告してきた^{48, 49, 115)}。その結果、食品中に気泡が分散されることで、製品の密度は低下し咀嚼が容易になり、嗜好性も高まることが示唆された。

そこで、本章では、これらの気泡含有食品に魚肉を混合した嚥下困難者用食品の創成を試みた。

魚肉を利用した気泡含有練り製品として最も一般的なのは、“はんぺん”である。“はんぺん”の製造に関わる研究としては、製造過程での加熱方法¹¹⁶⁾、ホタテ肉を用いた製造方法¹¹⁷⁾、表面に潤いがなく崩れにくくする製造方法¹¹⁸⁾、気泡剤を用いてスフレ状にした製造方法¹¹⁹⁾等の報告が見られる。また、Imaiら¹²⁰⁾による、市販の“はんぺん”を用いて口腔内における粒子の認識と食品物性の関係を調べた研究、辰口ら¹²¹⁾による、市販の“はんぺん”を材料に使って炭火での焙焼の優位性を、熱流計による熱流束の測定から放射伝熱量として算出した研究、さらには塚と中村¹²²⁾による、市販の

“はんぺん”が脂質過酸化する過程での、脂質過酸化指標の中でも有害とされる4-ヒドロキシヘキセナールやマロンアルデヒド含量を測定した研究など、“はんぺん”に関わる報告は多岐にわたっている。

しかしながら、“はんぺん”のテクスチャーは嚥下困難者用としては硬過ぎ、その基準の範疇には入らない¹²³⁾ことから、これまでも“はんぺん”様製品の嚥下困難者用食品としての可能性を探った研究は見当たらない。

そこで本章では、これまでの我々の研究から嚥下困難者用食として適正とみなされた気泡含有食品の“卵白メレンゲ”⁴⁸⁾，“起泡自然薯”⁴⁹⁾，及び気泡含有自然薯ゲルに¹¹⁵⁾，魚の骨や頭部及び皮などの残渣部から抽出した煮汁（冷却で“煮こごり”となる）を水の代替として加え，軟らかい魚肉混合ムース状製品（以降，“ムース製品”と称す）を調製した。なお，加える煮汁は，予備実験において検討し，通常の“はんぺん”に加える水分量^{124, 125)}より多くして，製品の物性を嚥下困難者用食品の規格に適合できる¹²⁶⁾ようにした。さらに，“煮こごり”は，コラーゲン分解物のジペプチドやアミノ酸のヒスチジンなどの抗酸化成分が多い食材であり^{53, 54)}，調味料として加える味噌ならびに風味づけに加える生姜も，メラノジン，イソフラボン，ビタミンB群及びビタミンCなどの抗酸化成分が含有されている^{57-59, 127, 128)}ことから，本研究で調製する“ムース製品”の抗酸化能の向上を期待して上記調味料及び食材を選択した。

このように，本実験で試料とした“ムース製品”は，上述の

ように食材の配合量が嚥下困難者用食品として適正になるよう試行錯誤しながら工夫した創成品であり，その物性，嗜好性，及び抗酸化面から，嚥下困難者用食としての応用適性を総合的に検討評価した。得られた知見を以下に報告する。

2. 実験方法

2.1. 実験材料及び材料配合

1)魚肉混合ムース製品の材料

魚の材料には，“はんぺん”の原料として一般的なスケトウダラと，地元会津地方でよく食され馴染みのあるネズミザメを用いた。なお，ネズミザメは，鮮魚店で購入できる，骨と身に処理されたもの(通称:ムキサメ)を使用した。

青森県産の“スケトウダラ”及び宮城県産の“ネズミザメ”を会津若松市内の鮮魚店で購入し直ちに実験用に供した。自然薯凍結乾燥粉末は，第2章 実験方法 2.1 1)と同様のものを使用した。卵白は福島県産の市販卵で，賞味期限より10～12日以前の新鮮卵(pH8.1～8.5)を用いた。味噌は米味噌(会津天寶醸造(株)製，商品名：無添加生みそ，塩分濃度11.0%)，砂糖は上白糖(日新製糖(株)製)，酒は清酒(白鶴酒造(株)製 商品名：まる)，生姜は高知県産の根生姜を使用した。

ii)市販“はんぺん”の原料

実験試料の対照として用いた市販“はんぺん”2種の原料は以下のとおりである。

市販はんぺん A：スケトウダラなどの白身魚，でん粉，卵白，砂糖，食塩，植物油，発酵調味液，ヤマイモその他

市販はんぺん B：魚肉（魚種不明），明太マヨ（植物油，醸造酢，辛子明太子加工品，その他），卵白，でん粉，発酵調味料，植物油，砂糖，食塩，ヤマイモその他

2.2. 試料調製

1) 測定試料の調製方法

i) スケトウダラ及びネズミザメの煮汁：既報⁵³⁾を参考に，スケトウダラ1匹を解体して，得られた残渣部（頭，皮，骨）を約1cm角に細断し，各部位が均一になるように混合した後，300gを1Lのビーカーに入れ，試料が浸る水量（試料重量の60wt%）の蒸留水180gを加えて600Wの電熱器で加熱沸騰後，火力を98℃に調整して，蒸発水分を補いながら20分間加熱した。加熱終了後，試料をろ過し，煮汁を180gに調整し，スケトウダラの煮汁試料とした。また，ネズミザメの残渣部（骨）も同様に調製し，ネズミザメの煮汁試料とした。

ii) 調味料添加スケトウダラ及びネズミザメの落とし身：スケトウダラ30gにi)の煮汁60g，味噌14g，砂糖6g，酒15g及び生姜3gを合わせて，フードプロセッサ（パナソニック製MK-K48）で1分間摩砕し，調味料添加スケトウダラ落とし身試料とした。（以降，調味料添加タラ落とし身と称す。）なお，調味料添加タラ落とし身はプロセッサ内に付着してロスする分を考慮し，全体量を所定重量110gより多くして調製した。

また、i) の煮汁と味噌を加えることによる抗酸化能の効果を知るため、対照試料として、上記調味料添加タラ落とし身の材料のうち、煮汁の代わりに蒸留水、味噌の代わりに塩を使用した塩のみ添加タラ落とし身試料を調製した。

ネズミザメの調味料添加落とし身試料、上記と同様に調製した。

iii) 魚肉混合ムース試料の調製：各ムース試料は、自然薯凍結乾燥粉末 40g に卵白 15g と i) の各煮汁をそれぞれ 110g 加え、第 2 章 実験方法 2.2 1) と同様の業務用ミキサーを用いて、予備実験より適正な攪拌条件と決定した 200rpm、10 分間の攪拌で、気泡を混入・分散させた。攪拌終了 1 分前に ii) の調味料添加タラ落とし身 120g を混合し、さらに 1 分間攪拌した。これを、パラフィン紙を敷いた流し箱 (750×120×45mm) 2 個に等分に流し入れた後、98℃で 8 分間蒸し加熱し、スケトウダラムース製品(以後、“タラムース製品”と称す)を得た。また同様の方法で、ネズミザメムース製品(以後、“サメムース製品”と称す)を得た。

2.3 測定項目及び測定方法

1) テクスチャー測定

第 1 章 実験方法 2.3 3) と同様に行なった。測定数は 1 試料につき 22～39 個とした。

2) 官能評価

第 1 章及び第 3 章と同様に実施した。すなわち、“魚肉混合ムース製品”に対する嗜好性を知るため、「5 段階評点法」による官能評価を実施した。パネルは会津大学短期大学

部食物栄養学科に所属する学生及び教員 42 名(年齢 19～54 歳)とし、評価項目として、「硬さ」, 「弾力」, 「喉ごし」, 「食感」, 「味」, 「匂い」, 「総合評価」の項目ごとに、これまでと同様^{48, 49, 115)}に、検査員(パネリスト)が抱く適正な製品として許容できる下限点を 0 として、-2 から 2 までの 5 段階の評点により評価してもらった。さらに、「嗜好意欲尺度法」による官能評価も実施した。評価尺度は、最高評価の「9. 最も好きな食品に入る」から、「8. いつも食べたい」, 「7. 機会があればいつも食べたい」, 「6. 好きだから時々食べたい」, 「5. 時に好きだと思ふときもある」, 「4. たまたま手に入れば食べる」, 「3. ほかに何も無いときは食べる」, 「2. もし強制されれば食べる」, 「1. おそらく食べる気にはならない」の 9 段階とした。

パネリストには自分が一番適すると考える評価尺度点を選択してもらい、評価されたそれぞれの尺度点により、9, 8, 7 点を高評価グループ, 6, 5, 4 点を中評価グループ, 3, 2, 1 点を低評価グループとして分類^{28, 129)}した。

3) 抗酸化能の測定方法

抗酸化能は、第 2 章 実験方法 2.3 4)と同様に ORAC 値を指標として算出評価した。

なお、本章では、“タラムース製品”の対照として調味料の味噌を塩に、煮汁を蒸留水に置き替えた試料、材料の異なる 2 種類の市販“はんぺん”と、ならびにスケトウダラを魚種の異なるネズミザメに替えた“サメムース製品”の 4 種の

製品の抗酸化能も測定評価した。測定数は、いずれも n=3 とした。

4) 統計処理

第 1~3 章 実験方法で用いた同様の解析ソフトを用いて、得られたデータの平均値と標準偏差を算出した。官能評価の 2 試料間の比較には、Student 又は welch の *t* 検定を行った。抗酸化値の比較には、一元配置分散分析を行った後、Tukey の HSD 検定による多重比較により、群間の差の検定を行った。

3. 結果及び考察

以上の実験により得られた結果を下記の項目ごとに示し考察した。

3.1 テクスチャーの検討

“タラ ムース製品”の嚥下困難者用食品としての品質適性

を明らかにするため、テクスチャー試験を実施し、得られた結果を Table 4-1 に示した。

本章において創成した“タラ ムース製品”の「硬さ」は平均 18.59kPa, 「付着性」は平均 1.35kJ/m³, 「凝集性」は平均 0.60 となり、嚥下困難者用食品の許可基準Ⅲ, すなわち、不均一なものも含む、まとまりの良い粥や柔らかいペースト状又はゼリー寄せ等の食品にほぼ該当する¹¹⁾ことがわかった。これらの値を、第 1 章の焼成メレンゲにトロミ剤を添加した“トロミ焼成メレンゲ”, 第 2 章の“蒸しパン粥”, 第 3 章の“起泡自然薯ゲル”各製品の測定値と比較すると、「硬さ」と

「付着性」においてやや高い結果となった。この原因として、製品に含まれるタラ肉のタンパク質であるミオシン及びミオゲンが、加熱により凝固・収縮^{130, 131)}したためや、加えて、卵白・煮こごり・自然薯の影響も考えられた。したがって、嚥下困難者用食品の許可基準 I ないし II のように、さらに制限された範囲の基準に合致する製品を調製する場合には、水分量を多くし、柔らかくするとともに、魚肉タンパク質を低分子化させるための、植物や微生物由来のプロテアーゼを含む調味料¹³²⁾、香味野菜や果汁¹³³⁾を加えるなどの前処理の工夫も必要であると考えられた。

Table 4-1 Changes in the texture of the fish mousse with the Japanese yam and egg white.

n = 22~39		
Texture	Fish mousse	Permission standard III
Hardness (kPa)	18.59 ± 2.21	0.3 ~ 20
Adhesiveness (kJ/m ³)	1.35 ± 0.53	1.5 or less
Cohesiveness	0.60 ± 0.09	non restriction

3.2 官能評価からの検討

“タラムース製品”の「5段階評点法」及び「嗜好意欲尺度法」による官能評価結果を Table4-2 及び Fig.4-1 に示した。

本実験におけるパネリストは、タラムース製品に対して「5段階評点法」の「弾力」と「匂い」以外の評価項目において、それぞれのパネリストが抱く評価基準(0)よりも高い評価をしており、特に「味」が平均 0.95, 「総合評価」が同 1.05 と、他の項目より高くなった。これらの結果から判断して、“タラムース製品”が嗜好面においてさらに高い評価を得るためには、製品の「弾力」及び「匂い」における品質面での工夫と改良が必要であると考えられた。また、「嗜好意欲尺度法」での結果 (Fig.4-1) では、9段階中 9~7 の高評価グループが全体の約 9.7%, 6~4 までの中評価グループが全体の 87.1%を占め、パネルのほとんどが“タラムース製品”に対して一定以上の評価を持っていることが明らかとなった。

また、Fig.4-2 には、同様に実施した“サメムース製品”の「5段階評点法」による官能評価結果も合わせて示したが、“サメムース製品”は「味」と「総合評価」で“タラムース製品”より有意に低い評価となった。また、「匂い」においては、有意差は認められないものの、“タラムース製品”より低い結果となった。これには食文化面での地域性や嗜好性ととともに、サメの鮮度保持の状態が影響しているかもしれないと推定された。

Table 4-2 Sensory evaluation of fish mousse

Items	Average score
Hardness	0.83 ± 0.76
Elasticity	0.57 ± 0.70
Throat	0.83 ± 0.85
Texture	0.81 ± 0.74
Taste	0.95 ± 0.96
Smell	0.71 ± 0.83
Total evaluation	1.05 ± 0.58

n = 31

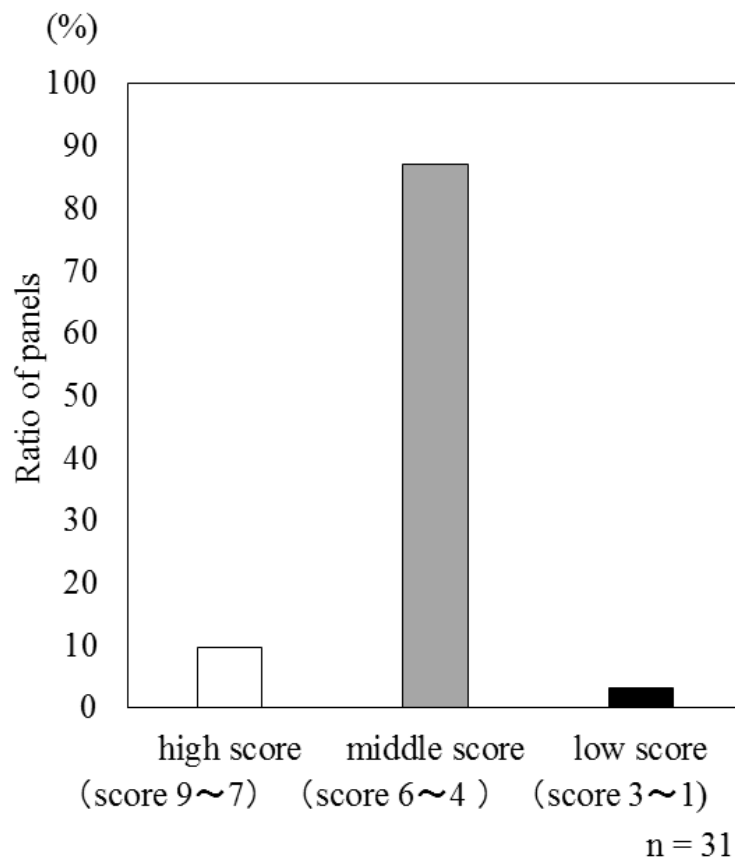


Fig.4-1 The preference of Alaska pollack mousse

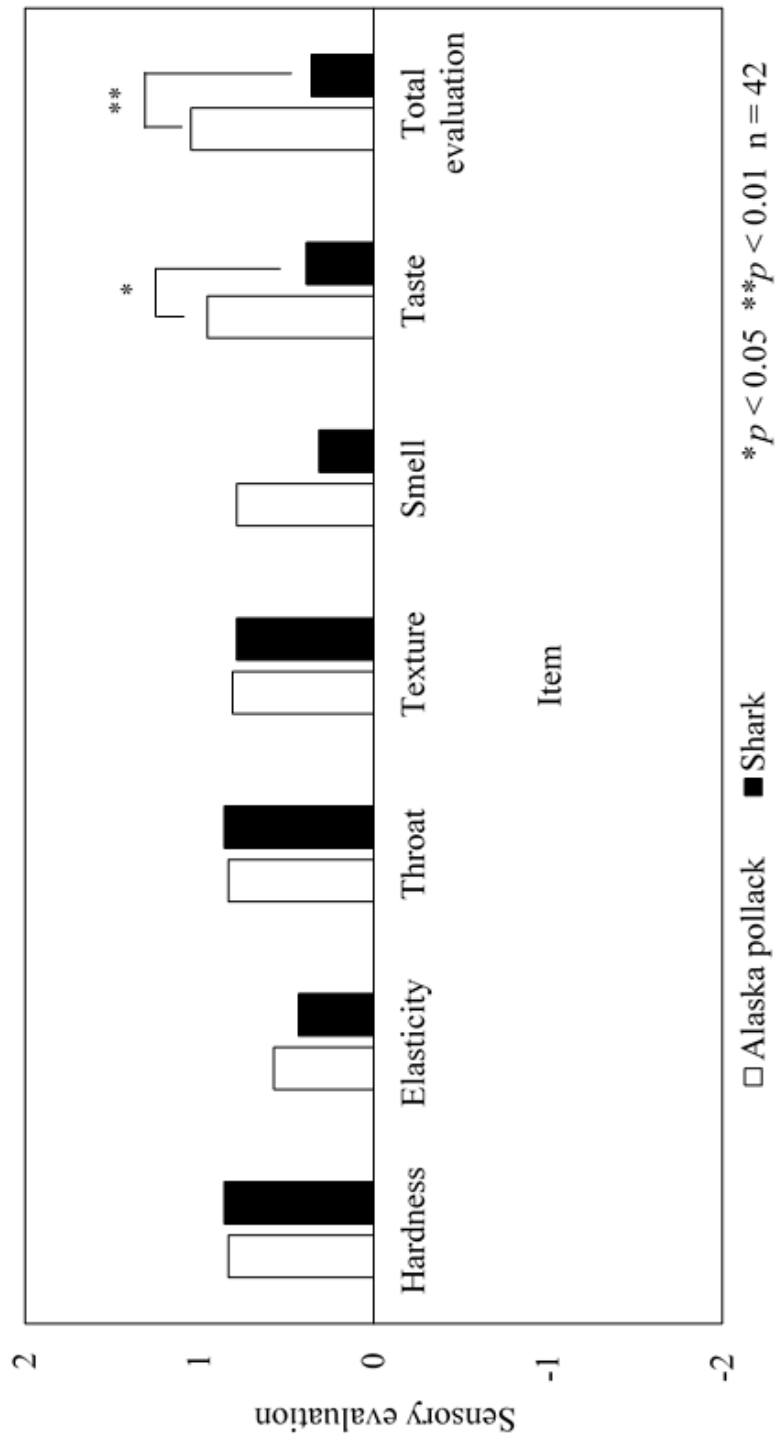


Fig.4-3 Difference of sensory evaluation between Alaska pollack and salmon shark mousse.

3.3 抗酸化能の検討

“タラムース製品”が、嚥下困難者用食品としての品質適性に合い、一定以上の嗜好性を有することが明らかとされたので、さらに製品の健康機能性を検討するため、抗酸化能の指標となる ORAC 値の測定結果 (Fig.4-3) をもとに考察した。

ORAC 値は、活性酸素ペルオキシラジカルの吸収能力を示す値を、mol TE/100g として示しているが、今研究で創成した“タラムース製品”の ORAC 値は 583 μ mol TE/100g となり、市販の“はんぺん”の 49 mol TE/100g、及び 129 mol TE/100g に比べて非常に高い抗酸化能を有することが明らかとなった。この値は、Wu らの報告¹³⁴⁾、Ou らの報告¹³⁵⁾によると、生のパイナップル (568 μ mol TE/100 g) や生キャベツ (508 μ mol TE/100 g) に相当した。また、蒸留水、塩とで調製した対照の“タラムース製品”の 473 mol TE/100g よりも高い値となったことから、自然薯や魚肉¹³⁶⁾、及び生姜の抗酸化能に加えて、高い抗酸化能を有する調味料の味噌及びタラ煮汁¹²⁶⁾のプラス効果によると考えられた。更に、第 2 章で示した生自然薯の平均 361 μ mol TE/100 g、自然薯蒸しパンの平均 76 μ mol TE/100 g、自然薯粥の平均 25 μ mol TE/100 g と比較しても非常に高い抗酸化能を有することが判明した⁴⁹⁾。

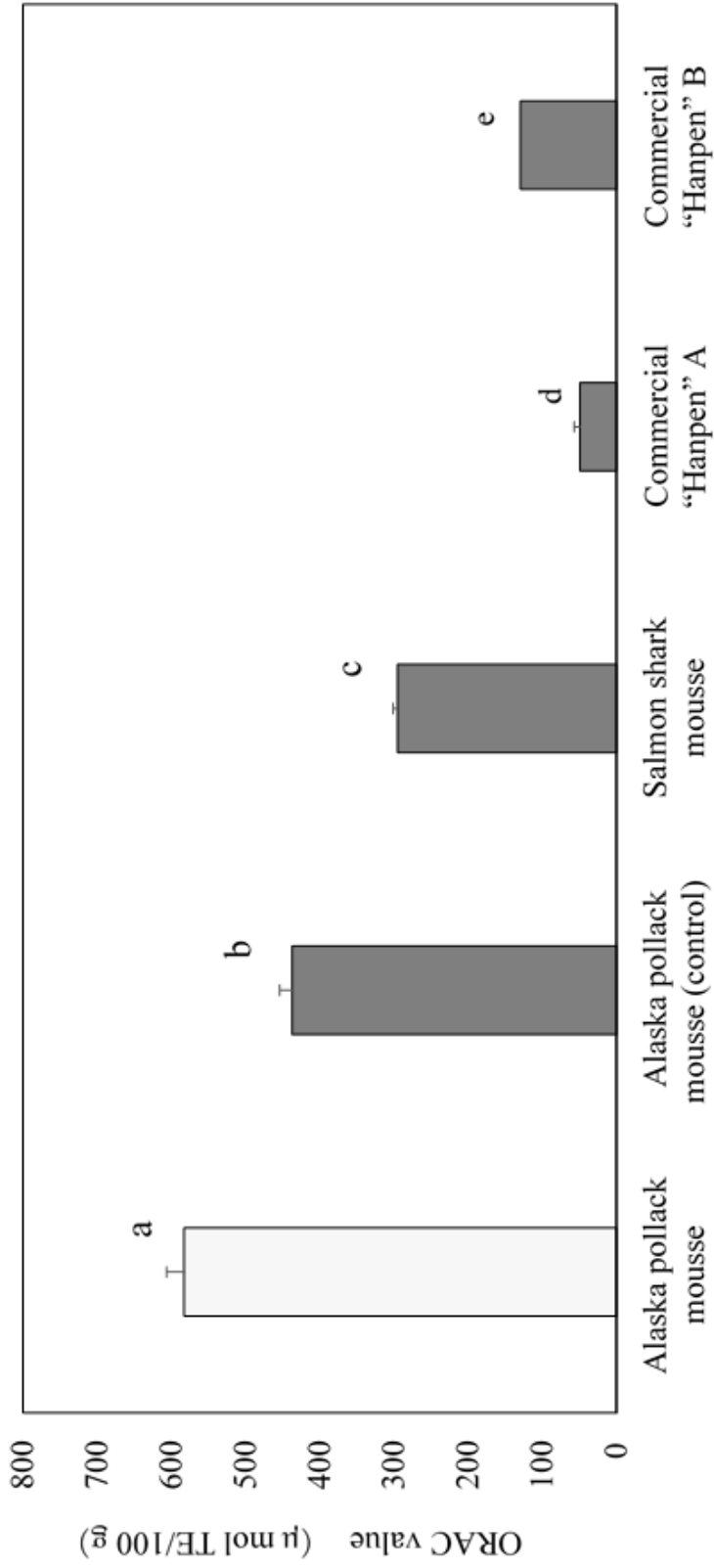


Fig. 4-3 ORAC values of various soft type sea foods

Values shown with the different letters are significantly different

$p = 0.05$ $n = 3$

4. 小 括

本研究では、これまでの一連の実験から適正な調整条件が得られた気泡含有食品の“メレンゲ”，及び“起泡自然薯”にタラ落とし身に混入し，咀嚼や嚥下機能の衰えた高齢者のQOLを高める応用調理食品としての魚肉混合”ムース製品”を創成した。次にその物性，嗜好性及び抗酸化性について検討し，得られた知見を以下にまとめた。

- 1) “タラムース製品”のテクスチャーは，機器測定の結果から「硬さ」は平均 18.59kPa, 「付着性」は平均 1.35kJ/m³, 「凝集性」は平均 0.60 であり，嚥下困難者用食品の許可基準Ⅲにほぼ該当した。
- 2) “タラムース製品”の「5段階評点法」による官能評価では，いずれの評価項目においてもパネルは各自の評価基準(0)よりも高い評価をしており，特に，「味」と「総合評価」においては平均 0.95, 1.05 と，他の項目よりも高くなった。また「嗜好意欲尺度法」による9段階の官能評価においては，パネルの87.1%が6～4の中評価となった。
- 3) “タラムース製品”の抗酸化能の評価法の一つであるORAC値は，平均 583 μmol TE/100g となっており，市販の”はんぺん”で同 49μmol TE/100 g, 対照の“タラムース製品”で同 473μmol TE/100 g, 魚種を変えた“サメムース製品”で同 295 mol TE/100 g となった。”サメムース製品”の抗酸化能は市販“はんぺん”に比べて比較的高いが，食文化面での地域性や鮮度保持の難しさを考慮する

と、魚種ではタラが一般的な製品として適するものと判断された。

以上の実験結果から，“タラムース製品”は，含有水分量の調整，調味料の味噌ならびに香味野菜（生姜など）添加，タンパク質の低分子化や香り成分の付与などを工夫することで，好ましい口触りと風味に加え，健康機能性と嗜好性をより高めた，嚥下困難者用食品の調製の可能性が期待できる。

総 括

食品のおいしさの重要な要素である食品のテクスチャー（食感）は、含有成分や加工方法などの要因によって様々に変化する。中でも、食品中に気泡を分散・含有させた場合、外観はもとより、食品の柔らかさや弾力、舌触りなどが変化し、嗜好性やテクスチャーが向上する。一般の調理手法では、気泡は均一分散させたのち、加熱やゲル化によって安定・固定化される。具体的な料理として、メレンゲ、ケーキや蒸しパン、ババロアやムースなどがあげられる。

こうした食品の調理性については過去に多くの研究がなされているが、製品中の気泡の存在状態に視点を置き、それら食品が口腔内での咀嚼による応力に対する応答、すなわち食品の物性とそれら食品を食べる側の人の嗜好性との関連について、十分に検討した研究は、著者が知る限り見当たらない。本研究では、気泡分散系食品が食品中に気泡が分散することで、製品のみかけ密度が低下し咀嚼が容易になり、嗜好性も高まることを確認するとともに、これらの製品の嚥下困難者用食品への利用適性と応用について検討した。

そこで本論文では、第1章として、古くから良く食されてきた気泡を含有させた食べ物である“フレンチメレンゲ”を取り上げ、その基礎的特性と気泡との関連性を明らかにした。

ついで第2章及び3章では、地元福島県産「里山じねんじょ」を主材料にして、これにミキサーを用いて起泡させた気

泡含有自然薯を使った惣菜としての自然薯ゼラチンゲル製品，主食としての自然薯蒸しパン製品の物性及び嗜好性について検討した。

最後の第4章では，これまでの一連の実験から適正な調整条件が得られた気泡含有食品の“メレンゲ”，及び“起泡自然薯”にタラ落とし身を混入し，咀嚼や嚥下機能の衰えた高齢者のQOLを高める応用調理食品としての“魚肉混合ムース製品”を創成した。次にその物性，嗜好性及び抗酸化性について検討した。得られた知見を以下にまとめた。以下に検討食品別に分けて総括する。

1. フレンチメレンゲの物性と嚥下困難者用食品への検討

メレンゲは，卵白に砂糖を加えて攪拌した菓子で，中でもフレンチメレンゲは，菓子類の副材料にしたり，低温で焼成するメレンゲ菓子にするなど，調製しやすく汎用性が高い食品であり，焼成した焼きメレンゲは年齢を問わず好まれる嗜好性の高い菓子である。また，メレンゲの原料となる卵白は，アミノ酸スコアが100と高く，タンパク質補給食品として優れている。

そこで，メレンゲそのもののテクスチャーや物性などの基礎的特性を知るために，攪拌程度を変えた生メレンゲを調製し，含有する気泡量及び気泡の状態とフレンチメレンゲの物性を検討した。ついで，これらのメレンゲを焼成し，生メレンゲ同様に気泡の状態と物性との関連性を検討すると共に，多孔質で親水基を多く有する焼成メレンゲが，水を吸収して

溶けやすいマシュマロ状に柔らかくなる性質を利用して、食塊性に優れ誤嚥を防ぎ飲み込みやすい性質を有するキサンタンガム系トロミ剤を加えた“トロミ液混合フレンチメレンゲ”（以下，“トロミ混合メレンゲ”とする）を調製した。そして、製品の口どけや喉ごしなどの好ましさを嗜好型官能評価（7段階評点法）から分析し、嗜好性の高い高齢者用菓子食品としての利用適性を検討した。卵白に砂糖を加え、2～9分の2分毎5水準で攪拌してフレンチメレンゲを調製し、生メレンゲ及び焼成メレンゲ内部に分散する気泡状態と製品の性状を機器測定により検討した。焼成前の生メレンゲのみかけ密度は、攪拌時間の増加に伴い、各試料間で有意に低下した。特に攪拌時間3分と5分の密度差は大であり、攪拌5分以降、気泡がメレンゲ内部に急激に取り込まれる状況が推測された。各生メレンゲのテクスチャーは、硬さ応力、付着性、凝集性のいずれの値も攪拌時間の経過に伴って高くなった。

このようなテクスチャー値の増大は、卵白の液体膜表面へのタンパク質吸着量の増加や内部に取り込まれる空気量の増大に基づいて現れた結果と推察される。また、それぞれのテクスチャー値は、嚥下困難者用食品の許可規準ⅡまたはⅢに該当し、ゼリー状またはムース状等の食品や不均質なものを含む、まとまりの良い粥や柔らかいペースト状、または“ゼリー寄せ”等の調理品に相当することが示唆された。さらに、各攪拌時間における生メレンゲの硬さ応力と気泡面積間には高い負の相関がみられ、攪拌により含有気泡量が増加するほど硬さは低くなり、メレンゲ内部に混入される気泡量は生メレ

ングの硬さに大きく影響することが認められた。

上記の特性を有する生メレンゲを焼成した製品について機器測定を実施した。その結果、焼成メレンゲのみかけの破断応力は攪拌7分の試料が最も低くなった。また、みかけの破断応力と気泡面積の間には、 $r = -0.96$ と高い負の相関関係にあり、焼成メレンゲは、含有気泡量が増加するほど砕けやすくなることが明らかとなった。

ついで、焼成メレンゲの嚥下困難者用食品への利用適性を検討した。トロミ剤を砕いた焼成メレンゲに加えて“トロミ混合メレンゲ”を調製し、厚生労働省が定める嚥下困難者用食品の測定方法に準じて、テクスチャー測定を行った。その結果、本実験で調製した“トロミ混合メレンゲ”は、嚥下困難者用食品の許可規準Ⅲに該当した。また嗜好型官能評価の結果、攪拌7分の試料は、硬さ、のどごし、味において5分攪拌製品が有意に高い評価を得ていた。このように、嚥下困難者であっても、メレンゲにトロミ剤を加えることで、焼成メレンゲの風味を楽しむことが可能であることが示唆される結果を得た。

2. 自然薯蒸しパンの物性と嚥下困難者用食品への検討

ヤマノイモはヤマノイモ科の多年生植物で、含まれる糖タンパク質であるムチンの性質により、攪拌する気泡を抱え込みやすい。この性質を利用して、本章では、主食の位置づけとして、また小麦アレルギー対応食として近年利用が拡大しているグルテンフリーの米粉蒸しパンへの利用展開を試みた。

ついで、この蒸しパンを粥状にして嚥下困難者用食品としての利用適性を検討した。また、自然薯蒸しパン及び蒸しパン粥の抗酸能を検討した。

上記自然薯の凍結乾燥粉末を、2~16分の2分毎8水準で攪拌し、米粉を混合した自然薯蒸しパン生地のみかけ密度は、攪拌時間の経過に伴い低下したが、10分以降において平衡状態となった。この生地を98℃で25分蒸し加熱して調製した蒸しパン製品の外観及び切断面の観察では、攪拌時間8、10分の試料は最も表面の凹凸が少なく、きめも細かく均一化していたが、14分以降の試料では、上部表面に凹凸が観察され、断面のきめも粗くなった。ついで製品の内部観察では、12分以降の試料において気泡の合一が見られた。さらに製品の比容積ならびに破断エネルギーは、いずれも攪拌10分以上において平衡状態となった。これらの結果から、本条件で調製した自然薯蒸しパンは、小麦粉のグルテンのような気泡を包含するスタビライザーとなる成分をほとんど含まないため、攪拌12分以降、過剰に入り込んだ気泡がそのままの形状を維持しにくく、合一の後、製品外へ出てしまったものと考えられた。さらに、官能評価では攪拌10分の製品は、総合評価において最も高い評価を得た。以上の結果から、攪拌時間10分の自然薯を用いて調製する方法が最適条件であると考えた。

次に、自然薯蒸しパンを用いた抗酸化性の付与も含めた、嚥下困難者用食品への応用展開について検討した。自然薯蒸しパンから調製した“パン粥”のテクスチャーは、厚労省の嚥下困難者用食品の許可規準Ⅲに対応していた。嗜好型官能

評価（7段階評点法）では、「色」、「硬さ」、「粘り」、「総合評価」の4項目について、パネリスト自らが持つ評価基準（0）よりも高い評価をしていた。攪拌8分の蒸しパンで調製した”パン粥”は、物性（テクスチャー）試験・官能評価ともに、良い評価を得ていることがわかった。しかし、いずれの粥製品も香りの項目について低いこと、蒸しパン製品の官能評価結果と比較して全体的に評点が低めであることから、副材料の添加等で嗜好性を高める工夫が今後の検討事項といえる。

官能評価の「総合評価」で数値の高かった各製品を対象としてORAC値を測定した結果、皮付き自然薯の生試料のORAC値が361[$\mu\text{mol TE}/100\text{g}$]であるのに対し、自然薯蒸しパン生試料が同76、蒸しパン粥生試料が同25であった。製品に含まれる生自然薯量から換算したそれぞれのORAC値は、自然薯蒸しパンが8.3%、パン粥が11.2%低下した。したがって、今後は抗酸化能の高いクルミやナッツ類などの種実類、ベリーなど果実類を、微細粉等の形状を考慮した状態で副材料に加えることで、嗜好性と共に、より抗酸化性を高める嚥下困難者用製品として期待できる。

3. 自然薯ゼラチンゲル製品の物性と嚥下困難者用食品への検討

自然薯はヤマノイモ科の多年生植物で、古くから滋養強壮に良いとされ、最近の研究では、抗酸化作用、インシュリン感受性の上昇効果や血圧上昇抑制効果があるなど、健康機能性面でも注目されている。また、ゼラチンは、牛や豚の骨髄

や皮を原料とし、一般調理でよく用いられるゲル化剤の1つで、融解温度が低いことから口腔内温度で容易に融けやすい性質を持つ。そこで、攪拌して気泡含有した自然薯をゼラチンゾルに混合して”自然薯ゲル製品”を調製し、ゼリーよせなどの副菜の位置づけとして、軟らかく、滑らかで喉ごしの良い気泡含有ゲル製品について検討した。

福島県産「里山じねんじょ」の凍結乾燥粉末を2~14分の2分毎7水準の条件で攪拌し、ゼラチンゾルと混合して自然薯ゼラチンゲル（以下、自然薯ゲルと称する）を測定用試料とし、ゲル内部に分散する気泡状態がゲルの性状に及ぼす影響について検討した。各自然薯ゲルのみかけ密度は、攪拌時間10分まで緩やかに低下し、その後平衡状態となった。また、各試料の圧縮エネルギーは、同2分で最も高くなり、8分以降平衡状態となった。以上、みかけ密度との結果とも合わせて考察すると、ゲル内へ効果的に気泡を混入させるためには、自然薯の攪拌を8~10分で調製するのが良いといえる。

ついで、自然薯ゲルの気泡面積と圧縮エネルギーには、 $r = -0.95$ の高い負の相関関係があり、攪拌により含有気泡量が増加するほど、圧縮エネルギーが低下することが明らかとなった。また、5℃冷却下における自然薯ゲル内部の熱移動速度を測定したところ、試料内部の温度降下速度は攪拌時間が長く、内部に入り込んだ気泡量が多い試料ほど、熱の移動が遅れ、緩慢になる傾向にあった。したがって、気泡を多量混入させて柔らかく保形性のある製品を得るためには、試料調製時に、常法より長めの冷却時間をとる必要があると考えられ

た。これらの自然薯ゲルを嚥下困難者用食品の許可基準に照らしてみると、攪拌2分試料は許可基準Ⅲ、ほかの試料は許可基準Ⅱに該当した。ついで、官能評価による嗜好性の検討では味以外の項目においてパネリスト各自の評価基準(0)よりも高い評価を得ていた。しかし、全体に評価が低い傾向にあることから、今後は、旨味や副材料を加えることで、嗜好性を向上できると考える。

4. “魚肉混合ムース製品”の創成とQOLを高める嚥下困難者用食品への利用適性

食品に気泡を混入させると、製品の物性変化とともに、テクスチャーや嗜好性の向上が期待できる。このような気泡に視点を置いた一連の研究で、気泡含有食品として取り上げてきたメレンゲ、蒸しパン及び自然薯ゲルの応用として、良質なタンパク質を含み栄養価の高い魚肉落とし身を、攪拌した自然薯と卵白、水の代わりに抗酸化成分の多い煮汁(冷却すると煮こごりとなる)に加え、主菜の位置づけとなる“魚肉ムース製品”を創成した。これらの物性、嗜好性、及び抗酸化性を総合的に検討した。

“タラムース製品”のテクスチャーは、機器測定の結果から、嚥下困難者用食品の許可基準Ⅲにほぼ該当した。

先のトロミ混合メレンゲ、自然薯蒸し、パン自然薯ゲルと比較すると、硬さ、付着性においてやや高い傾向にあった。このことは魚肉タンパク質のミオシン、ミオゲンの熱凝固のほか、卵白・煮こごり、自然薯の影響も考えられた。今後は

水分量を多くするとともに，魚肉タンパク質の低分子化させるための調味料や前処理が有効と考えられる。また，5段階評点法による官能評価では，「味」が0.95，「総合評価」が1.05と比較的高い評価点となった。「弾力」及び「匂い」の品質面での工夫と改良がなされることで，より高評価が得られると考えられた。また同時に行なった「嗜好意欲尺度法」による9段階の官能評価においては，パネルの87.1%が6～4の中評価となっていた。

抗酸化能の測定では，“タラムース製品”は $583\mu\text{mol TE}/100\text{g}$ となり，非常に高い抗酸化性を有することがわかった。このことは，抗酸化能の高い味噌，ショウガ，及びタラ煮汁のプラス効果と考えられた。同時に測定したサメムース製品”の抗酸化能は比較的高かったが，食文化面での地域性や鮮度保持の難しさを考慮すると，魚種ではタラが一般的な製品として適するものと判断された。

以上の実験結果から，“タラムース製品”は，含有水分量の調整，調味料の味噌ならびに香味野菜（生姜など）添加，タンパク質の低分子化や香り成分の付与などを工夫することで，好ましい口触りと風味に加え，健康機能性と嗜好性をより高めた，嚥下困難者用食品の調製の可能性が期待できる。

以上を要約すると，

1. 食品に気泡を含有させると，製品は柔らかくなり，嗜好性の向上に寄与できる。
2. 気泡含有食品のみかけの破断（圧縮）応力もしくは圧縮エネルギーと気泡面積は，負の高い相関がみられた。

3. 気泡含有製品は、いずれも嚥下困難者用食品の許可基準に該当し、嚥下困難者用食品としての利用適性が確認できた。
4. 気泡含有製品内部における熱移動速度は、内部に混入する気泡量が増加するほど遅くなる傾向にあった。
5. より高い嗜好性のある製品、抗酸化性の高い製品を得るためには、副材料や調味料のほか、前処理も必要であることが示唆された。

本研究で取り上げた気泡含有食品の基礎的性状が明らかにされたことから、今後は、これまでに取り上げた以外の食品にも対象を広げることや、加える副材料や調味料、前処理などを工夫することで、健康機能性や嗜好性をより高め、調理の簡便性も兼ね備えた介護食品の開発実用化へと発展させることを願っている。

用語解説

1. 中心静脈栄養法：

高カロリー輸液療法 I V H (Intravenous Hyperalimentation) のこと。完全静脈栄養法 T P N (Total Parenteral Nutrition) ともいう。経口摂取が長期間困難な人に栄養を補給する方法の一つ。

2. ミキサー食：

常食・軟食として作った食事をミキサーにかけてゾル状にして嚥下しやすくしたもの。

3. コロイド粒子：

通常の状態では溶解しない高分子化合物や金属などが、小さな粒子になって溶媒中に均一分散した状態。

4. 表面変性：

タンパク質の立体構造が変化し、疎水性の基が表面へ出る変性で、親水性物質から両性物質へと性質が変化した状態。

5. チャーニング：

生クリームを”チャーン”という装置に入れ、振盪（しんとう）、攪拌すると生クリームの脂肪粒子が凝集してバターになる現象。

6. 瞬間弾性率：

物体に、瞬間的に物体が破壊されない程度の負荷を与えた時、物体が示す応力を測定して求める弾性率をいう。

7. 遅延弾性率：

物体に一定応力を加えた時に生じるひずみは、時間とともに増加し、変形速度は低下しながら一定の平衡値に近づく。また応力を除いたとき、それまでのひずみは瞬間的に回復せずに減少し、やがて消滅する。このような応力の変化に対してひずみの応答が遅延し、応力を取り去った時にひずみが徐々に回復する性質をいい、それを測定して求めた弾性率をいう。

8. 破断エネルギー：

物体を破壊するまでに加えられた総エネルギーのこと。

9. アミノ酸スコア：

食品中のたんぱく質の質を評価するためのスコアのこと。たんぱく質を体内で利用するには必須アミノ酸がバランスよく含まれていることが重要であり、それが量・種類においてすべて存在する場合に、アミノ酸スコアは100となる。

10. 破断応力：

物体を破壊するまでに加えられた応力のこと。

11. グルテンフリー :

小麦や大麦，ライ麦などに含まれるたんぱく質の一種で，小麦粉製品の骨格をなす網目構造を作る。それを摂取することでアレルギーや腸疾患などが引き起こす場合があります，これを除去，あるいは含まない食品のこと。

12. キサンタンガム :

トウモロコシ澱粉を細菌によって発酵させて製造する。水と混合すると粘性が出ることから，増粘剤，増粘安定剤として食品添加物のほかトロミ剤として用いられている。

13. バッター :

小麦粉もしくは他の製粉製品に水を加えた流動性を持つ状態のもの。

14. 活性酸素 :

大気中に含まれる酸素分子が反応性の高い化合物に変化したものの総称。活性酸素は，血管を障害し，老化や癌化を促進するといわれる。

15. ポリフェノール :

分子内に複数のフェノール性ヒドロキシ基を持つ植物成分の総称。代表的なポリフェノールに，フラボノイド，フェノール酸，リグナンがある。血圧降下，コレステロール低下，

殺菌効果，アンチエイジングなどの効果がある。

16. 煮こごり：

肉其質タンパク質の多い魚などを煮魚にしたとき，煮汁が冷えて凝固したもの，または凝固させた料理のこと。魚などに含まれるコラーゲンが熱で分解し，ゼラチンになることにより凝固する。タイ，ヒラメ，カレイ，オコゼ，アンコウ，フグ，コイ，サメなどのほか鶏肉も材料として用いられる。

17. ムース：

泡，または泡状のもの。泡立てた生クリームや卵白を用いて，口当たりをふんわり，滑らかなように作った菓子や料理。

18. メラノイジン：

メイラード反応によって精製される褐色色素のこと。食品の酸化を抑制する働きを持つ。

19. イソフラボン：

ポリフェノール類の1種で，エストロゲン（女性ホルモン）様の作用をもつ。乳がん，子宮がん等のリスクを減少させる効果があるといわれる。

引用文献

序論

- 1) 内閣府（2013）「高齢社会白書」，印刷通販株式会社，東京，p.2
- 2) 樋口才二，長尾美咲，安達町子（2006），寒天とゼラチンの混合ゲルの力学特性及び摩擦係数に及ぼすスクロースの影響，長崎県立シーボルト大学看護栄養学部紀要，7，1-7
- 3) 大越ひろ，品川喜代美，高橋智子，玉木有子，船見孝博，房晴美，増田邦子（2012），「とろみ調整剤ハンドブック」，東京堂出版，東京，pp.2-3
- 4) 西尾正輝（2008），「摂食・嚥下障害の患者さんと家族のために第1巻 総合編」，インテルナ出版，pp.1-11
- 5) 香川芳子，今井久美子，田中弥生（2009），「かむ・飲み込むが困難な人の献立カレンダー」，女子栄養大学出版部，東京，pp.1-7
- 6) 山田晴子（2010），「飲み込みやすい食事のくふう」，女子栄養大学出版部，東京，pp.2-3
- 7) 濱千代善規（2004），「高齢者のためのやさしい献立」の開発と設計，日本調理科学会誌，37，239-244
- 8) 黒田留美子（2008），「家庭で出来る高齢者ソフト食レシピ」，河出書房新社，東京，pp.2-3
- 9) 伏木亨（2005），「人間は脳で食べている」，筑摩書房，東京，pp.43-45
- 10) 西尾正輝（2008），「摂食・嚥下障害の患者さんと家族の

- ために 第 2 卷」, インテルナ出版, 東京, p.4
- 11) 消費者庁 (2011), 「特別用途食品の表示許可等について 消食表第 277 号」, pp.7-18
 - 12) 岩田修一, 帯金徹, 柴田光, 森秀樹 (2010), 圧力振動が与えられた分岐流路中の気泡の移動特性, 科学工学論文集, **36**, 366-370
 - 13) 塚本剛史, 橘高義典, 後藤建太郎 (1999), 軽量気泡コンクリートの吸収性状に及ぼす気泡形態の影響, 日本建築学会学術講演梗概集, 885-886
 - 14) 鈴木洋司, 立石憲彦, IWANA Cicha, 前田信治 (2001), 細管内の気泡の存在が赤血球流動挙動に及ぼす影響, 日本バイオレオロジー学会年会抄録集 **24**, 59
 - 15) 宮岡武洋, 古谷淳二, 工藤信樹 (2001), 超音波商社化における水中微小気泡のふるまいに関する基礎的検討: 生態への機械的作用, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE, ME とバイオサイバネティックス, **101**, 83-89
 - 16) Wo. Ostwald (1907) : Kolloidzshr., p291
 - 17) 西成勝好 (2007), 「食品ハイドロコロイドの開発と応用」, シーエムシー出版, 東京, p.129
 - 18) 水越正彦 (2008), 食品における泡の生成と安定性, Foods and Foods Ingredients, **213**, 468-473
 - 19) 矢野俊正, 桐栄良三 (1988), 「食品工学基礎講座⑨乳化と分散」, 光琳, p.51
 - 20) 香西みどり (2011), 「キッチンサイエンス」, 共立出版株式会社, 東京, p.110

- 21) 野田 正幸 (1988) , 生クリームとそのホイッピング現象, 調理科学, 21 (3), 142-153
- 22) 藤岡利子, 松本幸雄(1994), 鶏卵泡沫の安定性に対するレオロジー的評価の試み (1994), 日本家政学会誌, 27, 7-13
- 23) 伊東清枝, 石川由里子, 新井映子 (1989), メレンゲの膨化におよぼす添加物の影響日本家政学会誌 40, 355-361
- 24) 伊東清枝, 石川由里子, 新井映子 (1987), メレンゲの調製条件について東京学芸大学紀要, 39, 123-131
- 25) 下藤悟, 大谷貴美子, 富田圭子, 松井元子 (2010), 泡立て卵白の品質に及ぼす銅イオンの影響. 微量栄養素研究. 27, 7-12
- 26) 水珠子, 長尾慶子 (2010), メレンゲの熱伝導におよぼす起泡条件の影響, 日本食品科学工学会誌 57, 20-25
- 27) 柴田真理朗, 杉山純一, 蔦瑞樹, 藤田かおり, 杉山武裕 (2010), パンの粘弾性と気泡構造 (すだち) との関係の定量化手法の開発, 日本食品工科学会, 57, 296-303
- 28) 赤石 (喜多) 記子, 五月女まりえ, 小林愛美, 山下美恵, 長尾慶子 (2011), スペルト小麦パンの物性・機能性・嗜好性に及ぼす各種発酵液添加の影響.日本調理科学会, 44, 153-162
- 29) K., F., Mittil (1964), Beiley's Industrial Oil & Fat products, John Wiew & Sons, New York, p.357
- 30) 水越正彦 (1993), ケーキと泡, 日本油科学会, 42,

- 31) 水越正彦 (1992), ケーキ焼成のメカニズム, 日本調科学会誌, 25, 153-158
- 32) 田辺洋子 (1987), 卵白を起泡剤とするマッシュマロのテクスチャー特性, 日本家政学会誌, 38, 491-496
- 33) 堀内久弥 (1987), 食品の物性-3- 多孔質食品の物性, 日本食品工業学会誌, 34, 123-134
- 34) 藤井淑子, 島田淳子 (1992), 小麦粉成分及び特性がスポンジケーキの膨化に及ぼす影響 (第4報), 粉のエイジングの影響, 日本家政学会誌, 765-771
- 35) 越智智子 (1989), スポンジケーキの物性, 日本調理科学会誌, 22, 84-93
- 36) 山崎勝利, 鳴戸康, 上田要一 (2005), スポンジケーキの物性に及ぼすトランスグルタミラーゼの影響, 日本食品科学工学会誌, 52, 219-225
- 37) 楠瀬千春, 藤井淑子 (2006), スポンジケーキ組織のレオロジー特性—デンプン流世気泡の相互作用—, 日本バイオレオロジー学会誌, 20, 20-31
- 38) 青木正編著 (2012), 「新食品学総論・各論」朝倉書店, p.246
- 39) 女子栄養大学 (2011), 「五訂増補食品成分表資料編」, 女子栄養大学出版部, pp.138-139
- 40) 菅原龍幸, 井上四郎 (2008), 「新訂原色食品図鑑」, 建帛社, 東京, p.132
- 41) 古岡秀樹 (1990), 「漢方実用大辞典」株式会社学習研究

- 社，東京，p.242
- 42) 松下 嘉一（1999），「民間薬の効用と料理法-5-ヤマノイモ漢方療法」，たにぐち書店，**3**，pp.74-76
- 43) 水野瑞夫（1995），「日本薬草全書」，日本法規出版株式会社，東京，p.635
- 44) Hou, W. C., Hsu, F. L. and Lee, M. H. (2001),
Antioxidant activities of dioscorin, the storage protein of
yam (*Dioscorea batatas* Decue), tuber, *J Agric. Food
Chem.*, **49**, 4956-4960
- 45) 関谷敬三（2002），ナガイモによる脂肪細胞分化の促進
インスリン感受性の上昇，和漢医薬学雑誌，**19**，55
- 46) 野澤めぐみ，佐藤伸，羽鳥有香，井澤弘美，嵯峨井勝
（2005），ナガイモ投与の自然発症高血圧ラットの血圧上
昇抑制に及ぼす影響，青森県立保健大学雑誌，**6**，369-
377
- 47) Chihiro Tohda, Takuya Urano, Masahiro Umezaki,
Iika Nemere and Tomoharu Kuboyama(2012), Diosgenin is
an exogenous activator of 1, 25D₃-MARRS/dia3/ERp57 and
improves Alzheimer's disease pathologies in 5XFAD
mice, *Scientific Reports*, do:10.1038/srep00535
- 48) 宮下朋子，長尾慶子（2013），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用食品への利
用適性，日本家政学会誌，**64**，725-732
- 49) 宮下朋子，原田和樹，長尾慶子（2013），自然薯蒸しパ
ンの品質におよぼす気泡の影響と蒸しパン粥への利用適

- 性，日本調理科学会，**46**，153-160
- 50) 若松純一，沼田正寛，中村豊郎（1997），はんぺん風ソーセージの製造とその物性及び官能評価，日本食品科学工学会誌，**44**，516-521
- 51) 太田陽子（2000），食品中成分の調理による変動－伊勢はんぺんの各種栄養成分の測定－，鈴鹿国際大学短期大学部紀要，**20**，91-104
- 52) 永塚規衣（2011），ゲル状嚥下食品”煮こごり”の調理性及び抗酸化性の研究，日本調理科学会誌，**44**，107-113
- 53) 永塚規衣，小松あき子，原田和樹，長尾慶子（2009），鮭の頭で調製した“煮こごり”残渣部の食品への利用－残渣入りパウンドケーキの嗜好性と抗酸化性の検討－，日本調理科学会誌，**42**，404-409
- 54) 山本泰，田中秀夫（2009），みその調理特性，「味噌・醤油入門（改訂4版）」，日本食糧新聞社，東京，p76
- 55) 亀形恵美，中津川研一（2009），味噌の種類による抗酸化性の比較，學苑，**830**，27-29
- 56) 佐藤久美，栗津原理恵，原田和樹，長尾慶（2011），抗酸化能を高める和食献立の食事設計法の提案，日本調理科学会誌，**44**，323-330
- 57) 栗津原理恵，石谷（佐藤）久美，原田和樹，遠藤伸之，長尾慶子（2012），抗酸化能を高める洋食献立の食事設計法の提案，日本調理科学会誌，**45**，393-402
- 58) 長尾慶子，久松裕子，栗津原理恵，遠藤伸之，原田和樹（2013），抗酸化能を高める中国料理献立の食事設計法の

提案，日本調理科学会誌，**46**，324-334

第1章

- 59) 小原哲二郎(1997)，細谷憲政監修。「簡明食辞林」.樹村房.pp.10-14
- 60) Harold McGee 香西みどり監訳(2008)，「キッチンサイエンスー食材から食卓まで」，共立出版，東京，pp.104-106
- 61) 養鶏問題懇談会(2006)，養鶏問題懇談会報告書。”農林水産省，pp.1-10
- 62) 農林水産省（2006），養鶏問題会懇談会報告書の具体化に向けた工程表（案）農林水産省，p.3
- 63) 玉置文(1958)，卵白の起泡性について，家政学雑誌，**9**，235-237
- 64) 玉置文，卵白の起泡性について(第2報)（1959），家政学雑誌，**10**，235-237
- 65) 松元文子，向山りつ子．卵白のあわ立てに関する研究（第1報）（1956），家政学雑誌，**7**，115-120
- 66) 松元文子，向山りつ子．卵白のあわ立てに関する研究（第2報）（1957），家政学雑誌，**8**，47-51
- 67) 堀越フサエ，佐竹綾子（1961），乾燥鶏卵白の調理科学的研究，家政学雑誌，**12**，101-104
- 68) 吉田レイ（1969），卵白泡による小麦粉の膨化料理に関する研究（第2報），家政学雑誌，**20**，10-13
- 69) 伊東清枝，石川由里子，新井映子（1987），メレンゲの調製条件について，東京学芸大学紀要，**39**，123-131

- 70) 伊東清枝, 石川由里子, 新井映子 (1989), メレンゲの膨化におよぼす添加物の影響. 日本家政学会誌, **40**, 355-361
- 71) 井川佳子, 行友圭子, 本澤真弓. 糖アルコールを用いたハードメレンゲの性質 (2010), 日本調理科学会誌, **43**, 17-23
- 72) 行友圭子, 本澤真弓, 井川佳子 (2010), ハードメレンゲ硬化過程と感覚特性に及ぼす糖の種類の影響, 日本調理科学会誌, **43**, 79-86
- 73) 大越ひろ, 品川喜代美, 高橋智子, 玉木有子, 船見孝博, 房晴美, 増田邦子 (2012), トロミ調整剤ハンドブック, 東京堂出版, pp.124~125
- 74) 金谷昭子 (1984), フローチャートによる調理科学実験・実習, 医歯薬出版, p.8
- 75) 宮下朋子, 伊藤寿江, 長尾慶子 (2010), イタリアンメレンゲの性状や嗜好性に及ぼすシロップの砂糖濃度の影響, 日本調理科学会誌, **43**, 176-183
- 76) 上田玲子, 相良泰行 (2009), 食品業界の商品開発における官能評価法, 日本食品科学工学会, **56**, 607-613
- 77) 金親あつ美, 高木稚佳子, 大越ひろ, 藤井恵子. 食材としての豆乳泡沫の特性 (2009) 日本調理科学会誌, **42**, 378-385
- 78) 北畠直文, 土井悦四郎 (1983), 食品のタンパク質の泡沫特性, *New Food Industry*, **25**, p.63-75
- 79) 野口駿 (1972), 泡のはなし (1), 日本農芸化学会誌, (1972), **10**, 39-42

- 80) Dickinson E (1998), 食品コロイド入門, 幸書房, 東京, p.150
- 81) 北島直文, 土井悦四郎 (1987), 泡沫の物性.日本食品工業学会誌, **34**, 549-557
- 82) 前田智子, 浅川具美, 森田尚文 (2000), スポンジケーキの調製における卵泡沫構成タンパク質におよぼすバター添加温度の影響, 日本家政学会誌, **51**, 527-533
- 83) Toshiko Fujioka, Sachio Matsumoto (1995), Factor Affecting the Viscoelastic Properties of Albumen Foams., *J. Texture Studies*, **26**, 411-419
- 84) 青木正 (2002), 「新食品学総論・各論」, 朝倉書店, 東京, p.170

第2章

- 85) 菅原龍幸, 井上四郎 (2008), 「新訂 原色食品図鑑」, 建帛社, 東京, p.132
- 86) 大家千恵子, 松本エミ子 (1986), かるかんの調製について, 調理科学, **19**, 110-118
- 87) 大崎聡子, 市川朝子 (2012), グルテンフリー米粉パンの物性と食味に及ぼす絹フィブロイン及びキサントガムの影響, 日本調理科学会誌, **45**, 9-18
- 88) 藤井恵子, 複合化含泡米粉材料とこれを用いた含泡米粉食品, 特開 200-69925, 2001年3月21日
- 89) 小崎道雄, Dizon, E. I., Sanchez, P. C., 関達治 (2001), フィリピンの米粉の蒸しパン: puto (rice

- bread), 日本食品保蔵科学会誌, **27**, 295-302
- 90) 金親あつ美, 正木玲子, 肥田由紀子, 藤井恵子 (2008),
イヌリン添加米粉蒸しパンの調理特性, 食生活研究, **29**,
34-40
- 91) Kawamoto, T. (2003), Use of a new adhesive film for
the preparation of multi-purpose fresh-frozen sections from
hard tissues, whole-animals, insects and plants, *Arch.*
Histol. Cytol., **66**, 123-143
- 92) Cao, G. Alesso, H.M. and Culter, R.G. (1993),
Oxygen-radical absorbance capacity assay for antioxidants,
Free Radic. Biol. Med., **14**, 303-311.
- 93) Prior, R.L., Wu, X. and Schaich, K. (2005),
Standardized methods for the determination of antioxidant
capacity and phenolics in foods and dietary supplements,
J. Agric. Food Chem., **53**, 4290-4302
- 94) Harada, K., Maeda, T., Hasegawa, Y., Tokunaga, T.,
Ogawa, S., Fukuda, K., Nagatsuka, N., Nagao K. and Ueno,
S. (2011), Antioxidant activity of the giant jellyfish
Nemopilema nomurai measured by the oxygen radical
absorbance capacity and hydroxyl radical averting capacity
methods, *Mol. Med. Rep.*, **4**, 919-922
- 95) 小松あき子, 原田和樹, 遠藤伸之, 永塚規衣, 長尾慶子
(2011), 漬物の抗酸化性及び品質に及ぼす調製条件の影響,
日本調理科学会誌, **44**, 128-136
- 96) 藤本健四郎, 薄木理一郎, 金子憲太郎, 西川正純, 湊

- 健一郎，小澤好夫，小原郁夫，渡邊幸夫，小竹佐和子
(2007)，「健康から見た基礎食品学」，アイ・ケイコーポレ
ーション，東京，p.161
- 97) 藤井恵子(2009)，米粉を用いた含泡食品の創製，日本調
理科学会誌，**42**，263-266
- 98) 大池奈津希，川俣幸一(2012)，果実ポリフェノール量
及び抗酸化活性への電子レンジ加熱，湯煮加熱(ブランチ
ング)の影響，栄養学雑誌，**70**，207-212
- 99) 松坂裕子(2012)，ドリアン(*Durio zibehinus Murr.*)
種子の加熱による抗酸化性及びポリフェノールの変化と主
要な活性物質，藤女子大学紀要，第Ⅱ部，**49**，71-75
- 100) 栗津原理恵，石谷久美，遠藤伸之，原田和樹，長尾慶
子(2012)，抗酸化能を高める洋食献立の食事設計法の提
案，日本調理科学会誌，**45**，393-402
- 101) Wu, X., Beecher, G. R., Holden, J. M.,
Haytowitz, D. B., Gebhart, S. E. and Prior R. L. (2004)
Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common
foods in the United States, *J. Agric. Food Chem.*, **52**,
4026-4037

第3章

- 102) 宮下朋子，長尾慶子(2006)，ババロアの物性に及ぼ
す起泡生クリーム性状とゼラチンゾルの混合時温度の
影響，日本家政学会誌，**57**，469-475
- 103) 水珠子，長尾慶子(2007)，卵黄で調製したO/W型

- 濃厚エマルション系内部における非定常熱移動現象の測定, 日本家政学会誌, **58**, 187-195
- 104) 水珠子, 長尾慶子 (2008), O/W型及びW/O型エマルションの内部熱移動の測定, 食品科学工学会誌, **55**, 215-223
- 105) 水珠子, 長尾慶子 (2008), O/W型食用エマルション内部の熱移動に及ぼす分散油滴径の影響, 日本調理科学会誌, **41**, 227-233
- 106) Nagao, K., and Matsumoto, S., (1999), Preparation of Food Models for Examining Heat Transfer in Cooking under the Control of Moisture, *J. Cookery Sci.*, Japan, **32**, 10-17
- 107) 長尾慶子 (2013), 「冷却面から垂直一次元方向における各種食材内部の冷却速度の測定と解析」, 平成20年度平成22年度科学研究費補助金 [基盤研究C] 研究成果報告書, pp.15-17
- 108) Keiko NAGAO and Sachio MATSUMOTO (2003), Detection of the Thermal Conduction Induced Close by the Heating Plane in Foodstuffs during Different Procedures of Heating, *J. Home Econ. Japan*, **54**, 623-631
- 109) Keiko Nagao, Tamako Mizu, Tomoko Miyashita, Sachio Matsumoto (2012), Detection and Analysis of the Thermal Conduction in Foodstuffs during Cooling Procedure, *J. Cookery Sci.*, Japan, **45**, 413-421
- 110) 河村フジ子, 日野出恭子, 宮下朋子, 高柳茂代

- (1993), ゼラチンゾルの冷却条件がゲル化に及ぼす影響,
日本家政学会誌, **44**, 363-368
- 111) 宮下朋子, 河村フジ子 (1994), 寒天混合ゼラチンゲルへの変換とゲルのレオロジー的特性, 日本調理科学会誌, **27**, 105-110
- 112) 栗原堅三, 小野武年, 渡辺明治, 林祐造 (2001), 「グルタミン酸の科学ーうま味から神経伝達までー」, 講談社サイエンティフィック, p.5
- 113) 伏木亨 (2005), 「人間は脳で食べている」, 株式会社, 筑摩書房, 東京, p.46
- 114) 伏木亨 (2006), 「おいしさを科学する」, 株式会社筑摩書房, 東京, pp.108-120

第 4 章

- 115) 宮下朋子, 川野辺愛, 長尾慶子 (2014), 自然薯ゼラチンゲル製品の品質に及ぼす気泡の影響と嚥下困難者用食品への利用適性, 日本調理科学会誌, **47**, 17-24
- 116) 野崎亘, はんぺん及びその加熱製造方法, 特開 2004-064703, 2004 年 9 月 15 日
- 117) 青森県, ホタテ貝柱肉を主原料とするハンペンの製造方法, 特開 2001-233337, 2002 年 8 月 20 日
- 118) 株式会社紀文食品, 気泡入り食品の製造方法, 特開 2002-95444, 2002 年 4 月 2 日
- 119) 株式会社紀文食品, 発泡魚肉加工食品, 特開 2011-239720, 2011 年 12 月 1 日

- 120) Imai, E., Tamaru, R., Hatae, K. and Shimada, A. (1998), Effect of the physical properties of food on the recognition of particles and the distinguishable size range on the particles in the mouth, *J. Home Econ. Jpn.*, **49**, 243-253
- 121) 辰口直子, 阿部加奈子, 杉山久仁子, 渋谷祥子 (2004), 炭焼き加熱特性の解析 (第1報) 熱流束一定条件下での伝熱特性の比較, 日本家政学会誌, **55**, 707-714
- 122) 境正, 中村康宏 (2008), 水産練り製品中の脂質過酸化由来有毒アルデヒド, 4-ヒドロキシヘキセナール含量, 日本水産学会誌, **74**, 213-215
- 123) 高橋淑子, 野垣芳恵, 寺田和子 (1999), 嚥下障害をもつ高齢者のためのゼリー食の試作とテクスチャーの特性, 駒沢女子短期大学研究紀要, **32**, 37-42
- 124) 若松純一, 沼田正寛, 中村豊郎 (1997), はんぺん風ソーセージの製造とその物性及び官能評価, 日本食品科学工学会誌, **44**, 516-521
- 125) 太田陽子 (2000), 食品中成分の調理による変動—伊勢はんぺんの各種栄養成分の測定—, 鈴鹿国際大学短期大学部紀要, **20**, 91-104
- 126) 都甲潔, 内田享弘 (2007), 「医薬品の味覚修飾技術」, シーエムシー出版, 東京, p116
- 127) 山本泰, 田中秀夫 (2009), みその調理特性, 「味噌・醤油入門 (改訂4版)」, 日本食糧新聞社, 東京, p76
- 128) 亀形恵美, 中津川研一 (2009), 味噌の種類による抗

- 酸化性の比較，學苑，**830**，27-29
- 129) 河野由香里，土屋京子，長尾慶子（2012），ホワイトソルガム粉の調理特性と調理食品への応用適性について，日本調理科学会，**45**，332-338
- 130) 青木正「新食品学総論・各論」（2002），朝倉書店，東京，p252
- 131) 太田直子，増田宣子（2008），脂肪酸塩誘導β-ラクトグロブリンゲルに対する魚肉水溶性タンパク質の物性改変効果，日本食品科学工学会誌，**55**，143-150
- 132) 山崎歌織，河村フジ子（1996），味噌の種類が味噌漬け魚肉の品質に及ぼす影響，日本調理科学会誌，**30**，122-126
- 133) 西山一朗，高橋淑子，下橋淳子，松森伸吾，大田忠親（2008），日本家政学会誌，**59**，321-326
- 134) Wu, X., Beecher, G.R., J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E. and Prior, R.L. (2004), Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States, *J. Agric. Food Chem.*, **52**, 4026-4037
- 135) Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A. and Deemer, E.K. (2002), Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: A comparative study, *J. Agric. Food Chem.*, **50**, 3122-3128
- 136) 和田律子，福島英登，前田俊道，福田翼，中島啓，

崎村祥太郎，原田和樹（2013），で売られている魚の可食部と低利用部位の抗酸化能に関する研究，食生活研究，**33**，257-262

公表論文目録

本論文の内容は、以下の論文に公表した。

- 1) 宮下朋子，原田和樹，長尾慶子（2013），自然薯蒸しパンの品質に及ぼす気泡の影響と蒸しパン粥の利用適性，日本調理科学会，**46**，153-160
- 2) 宮下朋子，長尾慶子(2013)，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用食品への利用適性，日本家政学会誌，**64**，725-732
- 3) 宮下朋子，川野辺愛，長尾慶子(2014)，自然薯ゼラチンゲル製品の品質におよぼす気泡の影響と嚥下困難者用食品への利用適性，日本調理科学会誌，**47**，17-24
- 4) 宮下朋子，松田唯菜，原田和樹，長尾慶子(2014)，魚肉混合ムース製品の創成と QOL を高める嚥下困難者用食品への応用適性，日本調理科学会誌，掲載決定
- 5) Keiko Nagao, T., Mizu , T., Miyashita, S., Matsumoto(2012), Detection and Analysis of the Thermal Conduction in Foodsstuffs during Cooling Procedure, *Journal of Cookery Science of Japan*, **45**, 6, 413-421

謝 辞

本研究を進めるにあたり，研究に取り組む姿勢，考え方，論文作成に至るまで，終始，懇切丁寧にご指導下さいました調理学研究室 長尾慶子教授に深く感謝申し上げます。

論文の審査過程において，貴重なご指導，ご助言を賜りました岡純教授，岡田宣子教授，高野貴子教授，飯塚堯介教授に深く感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり，ご指導とご協力を賜りました独立行政法人水産大学校 原田和樹教授，福島県ハイテクプラザ 伊藤嘉亮氏，島根県立大学短期大学部食物栄養学科 水珠子助教に深く感謝し，御礼申し上げます。

本実験の遂行の折々に，永塚規衣非常勤講師，喜多記子非常勤講師，久松裕子助教より，ご指導とご教示を頂きました。

本実験の測定に際して多大なご協力を頂きました，東京家政大学調理科学研究室の国正陽子さん，川野辺愛さんほか卒業生の皆さん，水産大学校 松田唯菜さんほか皆さんに感謝申し上げます。

本実験の試料作成とご協力を賜りましたマルコーフーズ株式会社品質保証部 斉藤宣夫様，実験用試料をご提供くださった株式会社日照 倉田昭夫様に深く感謝し，御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり，研究助成金を交付くださ

いました福島県学術教育振興財団に御礼申し上げます。

最後に，調理科学の魅力をご教授くださり，調理科学を研究分野と定めるきっかけを下された本学名誉教授河村フジ子先生に心より感謝申し上げます。