

平成 28 年度 学位論文

とろみ調整剤添加食品の
香気フレーバーリリースに関する研究

東京家政大学大学院
人間生活学総合研究科
人間生活学専攻

荒井恵美子

指導教員 佐藤吉郎 教授

学位論文概要

とろみ調整剤添加食品の香気フレーバーリリースに関する研究

荒井 恵美子

本研究では、咀嚼・嚥下困難者の食事をおいしく食する工夫を探るため、とろみ調整剤添加食品の香気フレーバーリリースを追跡した。

咀嚼・嚥下困難者の食事においては、誤嚥を防止する目的で食物の形態調整が行われているが、とろみ調整剤を添加すると、呈味特性や香気特性に影響を及ぼすと報告されており、食品本来の風味が損なわれ、食欲不振に陥ることやQOLの低下が問題となっている。

従来、とろみ調整剤の主原料である増粘多糖類の物性と香気成分についての研究は数多くなされているが、市販のとろみ調整剤と香辛料とを組み合わせ、実践的に香気フレーバーリリースを検討した研究は、ほとんど見当たらない。

また、食物をおいしいと判断する際の最終的かつ決定的な要因として、食品咀嚼中に生じる香気フレーバーリリースが強く影響すると言われていることから、本研究では、食品を咀嚼した際の口腔内での香気フレーバーリリースに着目し、テクスチャー試験機を用いた再現性ある連続圧縮を加え、においを採取する測定方法を考案した。その方法を用いて咀嚼を想定した圧縮付加時のにおいを測定し、喫食直前を想定した静置試料との比較により、感覚的な「におい」を定量化し、「おいしさ」を評価した。

においの分析は、におい識別装置と官能評価により食品全体のにおいを評価し、ガスクロマトグラフ質量分析計（GC-MS）とにおい嗅ぎ GC（GC-Olfactometry）により特定香気成分の分析を行った。分析試料には、においに特徴のあるわさびと煮干しをモデル食材に選び、とろみ調整剤はキサントガム系を中心に、比較

対象試料として寒天系を用いた。

なお、本研究における「香気フレーバーリリース」とは、においの物質が食品から離れる現象を指し、においの消長に視点をおいている。

本論文は、以下の第1章～第3章で構成されている。

第1章では、モデル食材のわさびと煮干しを用いて、とろみ調整剤を添加した際の香気フレーバーリリースを、咀嚼を想定した圧縮付加時の模擬咀嚼試料と、喫食直前を想定した静置試料の比較により解析した。その結果、とろみ調整剤を添加すると食品全体のおいしさは弱まり、においの質の変化はわさびを加えた試料で大きく、わさびの主要香気成分アリルイソチオシアネート (AITC) の量は有意に減少した。また、咀嚼を想定した圧縮を加えると食品全体のおいしさは強まり、AITC の量は増加したことから、とろみ調整剤添加により食品内部に保持されたにおいは、咀嚼により再び放散されることが推察された。

第1章の結果より、とろみ調整剤を添加すると、わさびの風味に変化を及ぼすことが懸念された。また、わさびの主要香気成分 AITC の量が食品全体のおいしさの変化と連動していたことから、第2章では、わさびの濃度別試料の AITC 量の分析により、風味を保持するわさびの最適添加量を検討した。その結果、食品全体のおいしさの強さおよび AITC の量は、わさびの添加濃度に依存しないと考えられた。また、AITC 量の分析により、キサントガム系とろみ調整剤添加食品において、わさびの風味を保持する添加量の目安として、基準量の2倍が一指標になると考えられた。

第1章・第2章では、室温での喫食直前と口腔内での咀嚼時を想定して、においの変化を追跡してきたが、病院や高齢者施設、在宅等の現場で調理された食品は、調理後直ちに喫食されることは稀であり、通常、一定の保存時間を経て提供されていることから、第3章では、食品の保存温度に着目し、とろみ調整剤の濃度別・温度別試料を調製して、香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。また、AITC 以外のわさびの香気成分をにおい評価の指標に加え、香気成分量を相

対的に分析した。その結果、とろみ調整剤の添加濃度の違いによる香気成分量の差は認められなかったが、温かくして食する食品を想定した 65℃試料において、わさびの香気成分 AITC の減少と β -フェネチルイソチオシアネートの有意な増加が認められた。即ち、分子量が小さく揮発し易い香気成分 (AITC) は、常温以下で保存した場合は、口腔内での圧縮付加により新たに放散することが推察されるが、65℃で保存すると、一旦とろみ調整剤に取り込まれた香気成分は、分子運動の活性化により揮散し、保存中に減少する可能性が示唆された。しかし、分子量の大きい香気成分 (β -フェネチルイソチオシアネート) は、65℃で保存した場合でも、とろみ調整剤に取り込まれたまま保持され、口腔内での圧縮付加により新たに放散することが予測された。従って、温かくして食するとろみ調整剤添加食品にわさびを用いる際は、できる限り保存時間を短くし、食べる直前に添加した方が、AITC 特有のわさび風味を保持できるのではないかと考えられた。

本研究は、とろみ調整剤添加食品をおいしく食する工夫として、ごく僅かな量で食品に風味を与え、食欲増進効果が期待できる香辛料わさびの利用は、咀嚼・嚥下困難者の QOL 向上に繋がるという見通しに基づき行った。その結果、とろみ調整剤を添加すると食品全体においては変化するが、食品の香気成分の特性や保存温度を考慮し、わさびの添加量や添加時期を工夫することで、食品本来の風味を損なわずに、とろみ調整剤添加食品をおいしく食することが可能であると提案できた。今後、これまで得られた研究成果を基に、更においしいとろみ調整剤添加食品の開発が必要であると考え。

Summary

Flavor Release from Foods Containing Commercial Thickeners

Emiko Arai

The flavor release properties of meals containing commercial thickeners were investigated with the aim of improving the flavor of foods and quality of patient life when such foods are consumed by persons suffering from masticating and swallowing difficulties.

Commercial thickeners are used regularly in prepared meals as texture modifiers to reduce the possibility of individuals contracting aspiration pneumonia. However, the addition of commercial thickeners also alters the taste and flavor of foods, which can lead to loss of appetite and decline in the quality of patient life. Previous reports have tended to focus on the physical properties of thickeners, and as such, no studies were found relating to flavor release in foods containing commercial thickeners and spices.

Thus, we herein report our study into flavor release from foods both before and during mastication. In addition, a novel method for measuring the aroma of foods was developed involving the use of a creep meter, and the flavor release properties of meals containing commercial thickeners were determined using this method.

We selected the savory foods wasabi (horseradish) and niboshi (dried anchovies) for this study, as wasabi is commonly employed to disguise the smell of foods, and as such, is expected to improve appetite and trigger the swallowing reflex. Furthermore, the release of aromatic flavors in the presence of commercial thickeners derived from xanthan gum and agar was investigated.

Odor assessments were performed using an electronic nose, and by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and GC-olfactometry. A sensory evaluation was also carried out for each sample, and the odor was evaluated as the total flavor.

In Chapter 1, we discuss the flavor release properties of meals containing commercial thickeners upon exposure to compressive stress, such as mastication. Upon addition of the commercial thickener, the odor of the food as a whole was reduced, and the quantity of allyl isothiocyanate (AITC) released decreased significantly. Upon subsequent exposure to compressive stress, the odor of the food was enhanced, and the quantity of released AITC tended to increase. It was therefore concluded that the odor preserved within the food upon addition of a commercial thickener is released upon mastication.

In Chapter 2, we examine the flavor release properties of meals containing commercial thickeners in the context of wasabi content. Analysis by GC-MS indicated that the quantity of AITC present in the headspace was not proportional to wasabi concentration. In addition, we found that upon doubling the quantity of wasabi in a xanthan gum commercial thickener sample, the AITC content was comparable to that of a sample containing no commercial thickeners. This result can serve as a guideline for the appropriate degree of wasabi addition required for foods containing commercial thickeners to ensure that the flavor of the food is retained.

Furthermore, in Chapter 3, the flavor release properties of meals containing commercial thickeners are discussed in the context of variation in the density and temperature of commercial thickeners. Samples containing different concentrations of commercial thickeners were initially prepared, and the samples were examined at a range of temperatures (i.e., 10, 20, and 65 °C). The quantities of AITC, 3-butenyl isothiocyanate, and β -phenethyl isothiocyanate (i.e., the main flavor components of wasabi) were measured by GC-MS. The results showed that the amount of flavor component detected remained relatively constant at all concentrations examined. In addition, upon increasing the temperature to 65 °C, the quantity of AITC, which is the main flavor component of wasabi, decreased, while that of β -phenethyl isothiocyanate increased, regardless of the concentration employed. Furthermore, the ratio of wasabi flavor components in foods containing commercial thickeners changed at 65 °C, suggesting that variation in the

temperature of foods containing commercial thickeners can alter the level of flavor release. We therefore proposed a number of ideas aimed at enhancing the flavor of wasabi through its addition shortly before consumption in addition to reducing the storage times of foods at elevated temperatures (i.e., 65 °C).

Thus, following our investigation into the flavor release properties of meals containing commercial thickeners with a view to improving the flavor of foods and the quality of patient life for those suffering from masticating and swallowing difficulties, we concluded that the odor preserved within the food through the addition of a commercial thickener was released upon mastication of the food. In addition, the flavor release properties of meals containing commercial thickeners were influenced both by the presence of the various aroma components of wasabi, and by the temperature of the food. With this information in hand, we proposed a number of measures to improve the flavor of foods through the addition of the optimal ratio of wasabi at the appropriate point during food preparation. We hope that this research will be extended in the near future.

目 次

序 論	1
第1章 とろみ調整剤添加食品の咀嚼を想定した圧縮付加時の の香りフレーバーリリース	
1.1 はじめに	14
1.2 実験方法	
1.2.1 実験材料	15
1.2.2 試料調製	16
1.2.3 においの測定方法	22
(1) 静置試料のにおいの測定	22
(2) 模擬咀嚼試料のにおいの測定	31
1.2.4 統計処理	33
1.3 結果および考察	
1.3.1 とろみ調整剤を添加した静置試料のにおいの変化 	33
1.3.2 とろみ調整剤を添加した模擬咀嚼試料のにおいの 変化	42
1.4 小 括	47
第2章 とろみ調整剤添加食品の風味を保持するわさびの 最適添加量の検討	
2.1 はじめに	49

2.2	実験方法	
2.2.1	実験材料	50
2.2.2	試料調製	50
2.2.3	測定方法	53
	(1) 静置試料のにおいの測定	53
	(2) 模擬咀嚼試料のにおいの測定	59
2.2.4	統計処理	60
2.3	結果および考察	
2.3.1	食品全体のにおいの変化	
	(1) におい識別装置による結果	60
	(2) 官能評価による結果	69
2.3.2	わさびの香気成分 AITC の量の変化	72
2.4	小 括	76

第3章 とろみ調整剤の濃度および品温が香気フレーバー リリースに及ぼす影響

3.1	はじめに	78
3.2	実験方法	
3.2.1	実験材料	79
3.2.2	試料調製	79
3.2.3	測定方法	80
	(1) 香気成分の測定	80
	(2) 物性の測定	82
	(3) 官能評価	83
	(4) 舌圧測定	84

3.2.4	統計処理	87
3.3	結果および考察	
3.3.1	香気成分の評価	
(1)	GC-Olfactometryによる香気成分の評価	87
(2)	とろみ調整剤の濃度別・品温別の香気成分量	93
(3)	超音波の振動付加時の品温別の香気成分量	97
3.3.2	物性の評価	
(1)	テクスチャー試験による結果	101
(2)	動的粘弾性試験による結果	106
3.3.3	官能評価による結果	113
3.4	小 括	118
総 括		120
引用文献		128
本論文を構成する学術論文および学会発表		138
謝 辞		140

序 論

【研究の背景】

日本は超高齢化社会を迎え、2015（平成 27）年時点の「平均寿命」は男性 80.79 歳、女性 87.05 歳である¹⁾が、「健康寿命」との間には 9～13 年程の差があり、この期間はなんらかの介護・介助サービスを受けているのが実情である。これら介護が必要な高齢者の多くは、食べる楽しみの喪失やそれに伴う低栄養、脱水症状などの問題を抱えており、誤嚥性肺炎のリスクも高まっている。咀嚼・嚥下障害が大きな要因である誤嚥性肺炎が老人性肺炎の中で占める割合は高く、我が国 3 位の死亡原因「肺炎」の 75%以上が高齢者である¹⁾。

誤嚥性肺炎の主な原因は、加齢に伴い生体の諸機能が減衰すること、特に咀嚼・嚥下障害が大きな要因である。国立長寿医療研究センターの調査によると、嚥下障害者の割合は一般病院で 13.6%、回復期病院で 31.6%、医療療養型施設で 58.7%、介護療養型施設で 73.7%、老人保健施設（老健）で 45.3%、特別養護老人ホーム（特養）で 59.7%と報告されている²⁾。

これら咀嚼・嚥下困難者の食事においては、安全性および機能性が最優先され、誤嚥を防止するために食物の形態調整が行われている^{3,4)}。このような背景により、近年、咀嚼・嚥下補助食品の開発が盛んに行われているが、中でもとろみ調整剤（以降、とろみ剤と略称）は、食形態に合った適度な粘度を手軽に付与できることから、病院や高齢者施設をはじめ

め、在宅医療の現場でも頻繁に用いられ、飲料をはじめ流動食、きざみ食、ミキサー食などに加えることで、まとまり易く、飲み込み易い食塊形成を助けている。しかし、これらの添加により呈味特性や香気特性に変化を及ぼす⁵⁻⁷⁾と言われており、食欲不振や QOL (Quality of Life) の低下が問題となっている⁸⁾。

そこで、本論文では、食物のおいしさを判断する際の最終的かつ決定的な要因^{9,10)}と言われている、食品咀嚼中の香気フレーバーリリースに着目し、咀嚼・嚥下困難者の食事をおいしく食する工夫を探るため、とろみ剤添加食品の香気フレーバーリリースを追跡した。

【おいしさの要因と香気フレーバーリリース】

食品のおいしさには、構成する食品成分の種類と量だけでなく、物理化学特性や、食べる人に依存する要因が寄与している。物理化学特性の化学的要因としては、味と香りが、物理的要因としては、テクスチャー、食品の温度・外観、音（咀嚼・嚥下時の発生音）などがある。また、食べる人に依存する要因としては、環境的要因（生まれ育ち、時間・空間）、生理的要因（食欲、空腹度合い、健康状態、アレルギー、不足物質要求）、心理的要因（感情、その他の心理：ストレス）などがある¹¹⁾。おいしさの物理化学特性については、テクスチャーの寄与率が最も高く、次いで風味が関与していることが報告されている^{12,13)}。このことより、咀嚼・嚥下困難者の食事における物理的研究、特にテクスチャーの研究は数多く

なされている。また、テクスチャーの変化が香気成分の感知に及ぼす影響については、以下のような報告がある。

Baek ら¹⁴⁾ は、ゼラチンゲルの濃度を変えて揮発性香料の放出を調べ、ゼラチン濃度の増加に伴い風味感覚強度の最大値は減少し、最大値に達する時間は長くなることを示した。Weel ら¹⁵⁾ は、乳清タンパク質ゲルと 2 種類の揮発性香気成分について 30 秒間咀嚼後に飲み込ませるという方法で評価し、鼻腔内のフレーバー濃度は、ゲル強度によらず一定であることを示した。Cook ら¹⁶⁾ は、鼻で感じられる香気成分のリリースは、溶液粘度が水程度から粘稠なソース程度まで変化しても影響を受けないのに対して、口腔内で感じられる風味のリリースは粘度増加により顕著に減少することを示した。山田¹⁷⁾ は、オレンジフレーバーで着香した寒天ゲルを、密封されたホモジナイズ用チューブ内でゲル化させた後、破壊された寒天ゲルからリリースされた香気成分を分析した。その結果、エステル類のリリース率が高いことを明らかにし、食品フレーバーの鍵化合物とゲルの相互作用（組合せ）が重要であることを示した。また、Taylor ら¹⁸⁾ は、混合ゲル相からのフレーバーリリースの影響は、揮発性物質の種類により異なることを報告した。

このように、食品のテクスチャーと香気成分についての研究は数多くなされているが、市販のとろみ剤と香辛料とを組み合わせて実践的に香気フレーバーリリースを検討した研究は、ほとんど見当たらない。

【食品咀嚼時の香気フレーバーリリース】

食物のおいしさに関わる要因の中で、食品咀嚼中に生じる香気フレーバーリリースは“鼻に抜ける香”として、食品のおいしさに強く影響し、ヒトが食品を食べておいしいと判断する際の最終的かつ決定的な要因と言われている^{9,10)}。

一般に、においを嗅ぐというと、鼻の孔からから嗅ぐことで、このとき静置された食品から立ち上ってくる香気成分が鼻の孔から吸引され、鼻腔内の嗅上皮に結合して嗅覚刺激が脳に伝わる。このにおいを学術用語で **Orthonasal aroma** (オルソ (ト) ネーザルアロマ) という。一方、鼻に抜けるにおいは、口腔内の食品から放散された香気成分が肺から鼻腔へと移動する呼気流に乗って後鼻腔を経て鼻腔内へと運ばれ知覚されることにより感じられる。この鼻に抜けるにおいを学術用語で **Retronasal aroma** (レトロネーザルアロマ) という。研究者や各業界により、あと香、口中香、もどり香、経口香、咀嚼香、嚥下香、喉越し香などの呼び方も用いられている¹⁹⁾。

口腔内に入った食品は、さまざまな影響因子により形状を大きく変えながら香気成分を放散する。この香気は、食品を咀嚼するヒトの咀嚼頻度、咀嚼力、呼気流量、唾液分泌量、嚥下頻度などに影響を受ける¹⁹⁾。また、固形食品から口腔内の気相へのにおい物質の移動については、摂食挙動も影響を及ぼす。摂食時間が短い場合は、食品の構造や組成の影響が大きいですが、摂食時間が長くなると、咀嚼速度などの摂食挙動がにおい物質の遊離速度に影響する。溶解しやすい形状の固形食品では、食品が溶解するにつれて、すべてのにおい物質

が周囲の唾液に遊離し、そこから口腔の気相へ分配される。そのため、咀嚼速度が速いとおおい物質を保持する食品の厚さが減少し、におい物質が遊離しやすくなる。つまり食品におけるにおい分子の移動は、咀嚼動作に依存する。このように、咀嚼などの摂食挙動もまた、におい物質のリリースにおいて無視できない要因となる²⁰⁾。これらの影響因子の中で、本論文では、咀嚼力に着目し、試料に咀嚼を想定した圧縮を加えた際のおいを分析した。

食品咀嚼中の香気フレーバーリリースの研究は、咀嚼模擬装置の開発と共に進展し、振動型装置、水平攪拌型装置、ブレンダー型装置、圧縮型装置等それぞれの特徴を活かした研究がなされている。

また、咀嚼模擬装置についての最初の論文は、1986年 Lee ら²¹⁾のものと考えられている。この実験は、振動型装置を用いて高融点と低融点のトリグリセリドを大豆油と混合し、ジアセチル (diacetyl) (乳製品香) を添加し人口唾液を入れて行われた。その結果、高融点試料に比べて低融点試料の方がジアセチルの放散量が多いことを明らかにした。これは、パネリストによる知覚強度とも相関性があった。小竹ら²²⁾は、模擬咀嚼力 980N までの圧縮型装置を開発し、咀嚼力の経時的変化をモニターするため 3 種類のロードセル (9.8N、98N、980N) を組み合わせて牛肉を測定した。その結果、0.8 回/秒の咀嚼頻度の方が 0.5 回/秒の場合に比べてリリース量が多いことを明らかにした。

しかし、これらの模擬咀嚼装置は特殊な装置のため、未だ

一般的な普及には至っていない。そこで我々は、テクスチャー試験機を用いた再現性ある連続圧縮を加えて、模擬咀嚼試験料のにおいを採取する方法を考案し、とろみ剤添加食品の香りフレーバーリリースを追跡した。

【とろみ調整剤の利用的背景】

日本では古くから、とろみをつける食品として片栗粉・葛粉・コーンスターチ・小麦粉などのデンプン系食品が日常的に利用されてきた。これらは水を加えて加熱するとデンプン粒が膨らみ糊状になる性質を利用して食品にとろみをつける。葛粉を水に溶かし、好みに砂糖や生姜などを加えて加熱し丁寧に練り上げる葛湯は、とろみがあり消化も良いため、昔から病み上がりの回復食や高齢者の介護食、また乳幼児の離乳食などに用いられてきた。

しかし近年では、デンプンの代替え食品として「とろみ調整食品」の開発が盛んに行われている。これら「とろみ調整食品」をはじめとした「水分補給型食品」、「栄養補給型食品」および「流動食」などの咀嚼・嚥下補助食品の市場は 1980 年代頃から形成され、現在では 50 種類以上のとろみ調整食品が販売されている。従来のデンプン系食品とは異なり、加熱調理が不要で、液体の温度にかかわらず適度なとろみを付与できる上、粘度が持続する「とろみ調整食品」の主原料は、デンプン系から増粘多糖類系へと改良がなされている²³⁾。特に高分子系の増粘多糖類は、少量の添加でレオロジー特性を大きく変化させることから、食感改良剤（テクスチャーモデ

ィファイヤー)の中心的存在となっている。

増粘多糖類の種類としては、グァーガム、ローカストビー
ンガム、タマリンド種子多糖類(キシログルカン)、水溶性
大豆多糖類、でん粉、コンニャクグルコマンナン、ペクチン、
アラビアガムおよびセルロースに代表される植物由来の多糖
類、カラギナン、寒天およびアルギン酸に代表される海藻由
来の多糖類、キサントランガム、ジェランガム、カードランお
よびプルランに代表される微生物由来(醜酵性)の多糖類、
キチンおよびキトサンに代表される動物由来の多糖類がある。
その中で、アルファー化デンプン、グァーガムおよびキサ
ンタンガムが主成分になる場合が多い²⁴⁾。

一般的にアルファー化デンプンはグァーガムやキサント
ランガムに比べて分散性は優れる(だまになりにくい)が、粘
度が実用的な平衡値に達するまでに時間を要し、食感的にも付
着性が強い。また、グァーガムやキサントランガムに比べて多
量の添加が必要であるため食品の味や外観の劣化が大きい。
さらに唾液によって容易に加水分解し、粘度が低下する。そ
のため、新たに開発・上市されるとろみ調整食品のほとんど
が、キサントランガムやグァーガムなどの増粘多糖類を主成分
にしたものである²⁴⁾。

これらの背景により、本研究では、現在主流として用いら
れているキサントランガム系と、食物繊維としての生理的機能
の有用性に加え、従来の研究を鑑み使用頻度が非常に高い素
材である寒天系を研究試料に選んだ。

【嚥下困難者における香辛料利用の学術的背景】

食品の加工や調理の際に加えられる、芳香性や刺激性をもった植物素材を「香辛料」といい、ごく僅かな量を用いるだけで加工食品や料理に風味を与え、味を引き立てる働きをする。主として植物に含まれる揮発性の精油、樹脂などの芳香や辛味が食品に風味を与える。

香辛料の主な辛味物質として、硫黄を含む化合物のアリルイソチオシアネートやp-ヒドロキシベンジルイソチオシアネートは、わさびや辛子に含まれており、植物体・種子に含まれるからし油配糖体が加水分解され生成されたものである。また、ベンゼン核に不飽和側鎖をもつ化合物のピペリン、カプサイシン、サンショオール、クルクミン、ジンゲロン、シヨウガオールは、こしょう、唐辛子、山椒、うこん（ターメリック）、生姜などに含まれている辛味物質である²⁵⁾。

これらの辛味物質は、食品に風味を与えるばかりでなく、食品の酸化防止や防腐効果、また食欲増進効果などの精神・肉体両面での薬理効果があることは一般的に知られている。また、香辛料を用いて嚥下反射が促進・改善されたという以下のような報告もある。

後藤ら²⁶⁾は、赤唐辛子に含まれる辛味成分カプサイシン含有フィルム摂取により、嚥下反射の促進効果が認められたと報告している。また、海老原ら²⁷⁾は、ブラックペッパー精油による嗅覚刺激で、嚥下反射および運動を改善したと報告している。

海老原^{28,29)}は、黒胡椒のにおいによる嗅覚刺激は、大脳

島皮質と前帯状回を活性化して、高齢者の衰えた嚥下機能を回復でき、辛味とにおいを組み合わせることにより、効率的に誤嚥性肺炎患者の再誤嚥を防ぐことができたと報告している。また、嚥下反射と温度の関係について、嚥下障害をもつ高齢者にとって最も嚥下しやすい食べ物の温度を調べた結果、体温付近において最も嚥下反射が遅延し、温度がそれから離れれば離れるほど嚥下反射の潜時が短縮したと報告している。このことは、高齢者の食事では体温に近い温度ほど嚥下を起し難いことを示している。また、嚥下反射を活性化する温度領域より、これまで同定されている6個の温度感受性TRPチャネルのうち、TRPV1、TRPV2、TRPM8、TRPA1が嚥下反射の活性化に關与する可能性が示唆されており、これらは自然界の食品、とりわけ香辛料の中にそのアゴニストが存在しており、唐辛子のカプサイシンやミントのメントール、わさびのアリルイソチオシアネートなどが報告されている。

香りは、おいしさの決定要因として重要であるばかりでなく、嚥下機能および認知機能の改善に効果を及ぼすというこれらの報告より、本研究では、和食の代表的な香辛料で汎用性の広い「わさび」を対象試料に選んだ。

【咀嚼・嚥下困難者の食形態と社会的背景】

普段何気なく行っている「食べる」という行為は、全身のさまざまな機能を働かせている。まず、食べ物を目で確かめ、口に入れて咀嚼し、唇を閉じて飲み込む。飲み込むときは呼吸を止めている。一時的に気道が閉じられ、食べ物は正しく

食道へと進む仕組みになっている。そして、飲み込み終わると気道が開いて再び呼吸ができるようになる。こうした一連の行程を「嚥下」という³⁰⁾。嚥下は、口・舌・頬・喉の筋肉や感覚はもちろん、目・脳・神経まで総動員させた高度な連携により行われており、これら複雑な動きはパターン化され、脳幹でプログラムされているため、普段はほとんど意識することがない³⁰⁾。本来、食道へ入るべき食べ物や飲み物が、誤って気道に入ってしまうことを「誤嚥」という。通常であれば激しい咳とともに排出されるが、高齢者あるいは体力が落ちた状態だと「むせ」が起こらず、そのまま肺まで到達し、誤嚥性肺炎を起こすこともある。このような誤嚥を回避するため、病院や高齢者施設などでは、「とろみ剤」が用いられている。サラサラの液体は咽頭の通過が速く誤嚥し易いため、お茶やコーヒーなどに加えてとろみを付けたり、流動食、きざみ食、ミキサー食などに添加することで、まとまり易く、飲み込み易い食塊形成を助けている。その反面、味、香り、色、見た目が悪くなるなど、食欲不振や栄養失調の誘因にもなっている。また、今後、超高齢化が進み、国の医療費削減や、病院・高齢者施設などの不足により、在宅で食事をする咀嚼・嚥下困難者の数が増えることも予測され、時には市販食品を利用することも考えられる。

これらの背景により、近年、様々な「嚥下調整食品」が開発され、現在 2,000 種類以上もの市販食品が流通している³¹⁾が、これらを有効活用するためには医療機関や高齢者福祉施設で共通した分類が必要である。2013 年には「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」³²⁾(以降、学会分類 2013 と略称)が作成された。また、その他にも以下のような分類表が用いられている。

「ユニバーサルデザインフード」は、咀嚼機能の低下した人に対する食事の基準で³³⁾、市販の介護食品を選ぶ際の指標となっている。「嚥下食ピラミッド」の物性値^{33,34)}は、硬さ、凝集性、付着性の三つを用いて分類されており、急性期病院を中心に利用されている。厚生労働省の「えん下困難者用食品の許可基準」(現在は消費者庁が監督)は、主に急性期病院で使用される市販食品を想定している³⁵⁾。日本摂食・嚥下リハビリテーション学会の「学会分類 2013」³²⁾は、国内の病院・施設・在宅医療および福祉関係者が共通して使用できることを目的とし、「食事」および「とろみ」について段階分類を示している。2015年に策定された農林水産省の「スマイルケア食」は、従来の分類表を包括し、さらに軽度の嚥下機能が低下した人、および栄養状態の不足を回避する配慮がなされている市販食品の分類表である³³⁾。

また、我が国だけでなく、先進国では高齢化が進んでおり、咀嚼機能や嚥下機能の低下した人が増加しているが、咀嚼や嚥下機能が低下した人への食事の分類表を有するのは数カ国にとどまる。そのため、嚥下調整食の世界基準が International Dysphagia Diet Standardized Initiative (IDDSI) で検討され、各国の嚥下調整食の現状³⁶⁾や嚥下調整食の有用性³⁷⁾などを報告している。

平成 27 年度介護報酬改定に伴う栄養関連の加算では、経

口維持加算が大きく見直され、多職種による食事場面の観察（ミールラウンド）やカンファレンスなどの取り組みのプロセスおよび、咀嚼能力などの口腔機能を踏まえた経口維持のための支援を評価している点に特徴がある。より現場の実情に即したミールラウンドは、摂食量、口腔機能、嚥下状態、体重や採血などのデータを基に利用者の状態を評価・検討する場であることから、今後、益々、嚥下調整食への開発と関心が高まると考えられる。

これらの背景により、本研究では、咀嚼・嚥下困難者の食事をおいしく食する工夫を探るため、香気フレーバーリリースを追跡した。なお、本研究での「香気フレーバーリリース」とは、においの物質が食品から離れる現象を指し、においの消長に視点をおいている。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章では、咀嚼を想定した圧縮付加時の香気フレーバーリリースに着目し、テクスチャー試験機を用いて再現性ある連続圧縮を加え、模擬咀嚼試料のにおいを採取する方法を考案してにおいを評価した。第2章では、わさびの主要香気成分アリルイソチオシアネートに着目し、とろみ剤添加食品の風味を保持するわさびの最適添加量を検討した。第3章では、より実践的な知見を得るため、とろみ剤の添加濃度および、調理から喫食までの保存温度に着目し、香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。最後に、これまでに得られた研究成果と将来への展望について総括としてまとめた。

本論文では複数の「におい」を表わす言葉を用いているが、それぞれ以下のような意味で差別化して用いている。なお、これらの意味は、本論文において著者が任意に定めたものである。

におい：におい全体を表わす

香り：有用なにおい

臭い：有用でないにおい、腐敗臭

香気：科学的表現では香りを香気と呼ぶことが多い

風味：口に食品を含んだときの味と香り

また、「とろみ調整剤」は、先行文献等では「とろみ調整食品」と表記されているが、本論文では「とろみ調整剤」（とろみ剤と略称）という表現で統一した。

なお、本研究で対象とした嚥下困難者は、高齢者において頻度が高いと言われている「機能的嚥下障害者」を主に想定しており、香辛料わさびは、私たち日本人に馴染み深く、日常的に用いられる量を基準としたことから、わさびの適度な刺激が食欲増進に有効であるという見解に基づき検討したものである。

第1章 とろみ調整剤添加食品の咀嚼を想定した圧縮付加時の 香気フレーバーリリース

1.1 はじめに

本章では、咀嚼・嚥下困難者の食事における QOL 向上を目的に、食品咀嚼中の香気フレーバーリリースを追跡した。

従来、とろみ剤の主原料である増粘多糖類の物性研究は数多くなされているが、それに比べて味や香りについての研究例は多くない。しかしながら、物性と味覚の感覚強度についての研究³⁸⁻⁴¹⁾や、とろみ剤と味質変化の研究⁴²⁾、増粘剤にショ糖や食塩を添加した際の味や香りの知覚強度^{16,43)}等の報告がある。また、アミロースデンプンのヘリックス構造がフレーバー化合物を含包する現象^{44,45)}や、ガム類へのフレーバー化合物の結合は水素結合による⁴⁶⁾等の注目すべき報告も見られる。一方、香辛料を用いて嚥下反射が促進・改善されたという報告²⁷⁻²⁹⁾もある。しかし、市販されているとろみ剤と、食品および香辛料とを組み合わせ、食事における実践的研究はない。

そこで本章では、においに特徴的な食材として、魚料理の生臭さの代替食品である「煮干し」と、マスキング効果と刺激効果を併せ持つ日本の代表的香辛料の「わさび」を対象に、とろみ剤を添加した際のおいの変化を観測し、咀嚼・嚥下困難者の食事におけるモデル実験を実施した。特に、食品咀嚼中の香気フレーバーリリースに着目して、咀嚼を想定した圧縮付加時のにおいを採取する測定方法を考案し、その

方法を用いた模擬咀嚼試料のにおいと、喫食直前を想定した静置試料のにおいを分析した。

1.2 実験方法

1.2.1 実験材料

食品材料には、煮干し(かたくちいわし:*Engraulis japonica*)と粉わさび(西洋わさび:*Armoracia rusticana*)を用いた。とろみ剤は、キサンタンガム系と寒天系の2種類を用いた。

(1) 煮干し

愛媛県産かたくちいわし((株)土佐屋製)を都内百貨店にて購入し、予めミキサーミルで粉碎した後、ステンレス製茶こし(KANKUMA製18-8、目開き500 μm)を通過した500 μm 以下の粒径に揃えた。

(2) 粉わさび

エスビー食品(株)製の粉わさび(西洋わさび、以降、わさびと略称)を都内百貨店にて購入し、実験に供するまでは5 $^{\circ}\text{C}$ の冷蔵庫に保管し、30日以内に消費するようにした。

(3) とろみ剤

キサンタンガム系のトローミファイバー(以降、とろみ剤tと略称)は(株)宮源から購入し、寒天系の介護食用ウルトラ寒天(以降、とろみ剤kと略称)は伊那食品工業(株)より提供された。

とろみ剤の主剤であるキサンタンガムは常温で水に容易に水和・膨潤し、他の増粘多糖類に比べて短時間で粘度を発現するなどの特徴²⁴⁾がある。寒天は、生理的機能の有用性に

加え、従来の研究を鑑み、使用頻度が非常に高い素材であるため、比較対照物質として選択した。各試料の表示原材料を Table 1.2.1 に示す。

1.2.2 試料調製

上記食材を組み合わせ、とろみ剤 k の商品パンフレットに記載されている溶解温度（80℃以上）・凝固温度（35℃）を参考に調製した。試料名は、わさび（P）、煮干し（S）、わさび＋煮干し（W）とし、わさび（P）にキサントランガム系のトローミファイバー（t）を加えた場合は（Pt）のように、煮干し（S）に寒天系の介護食用ウルトラ寒天（k）を加えた場合には（Sk）のように、（ ）内の記号で略記した。Table 1.2.2 に試料記号と添加材料を示す。

Table 1.2.1 試料の表示原材料

試料	表示原材料
煮干し	かたくちいわし、食塩
わさび	西洋わさび、着色料
とろみ剤 t (キサンタンガム系)	デキストリン、水溶性食物繊維、 増粘剤 (キサンタンガム)
とろみ剤 k (寒天系)	寒天、粉あめ

Table 1.2.2 試料記号と添加材料

試料記号	添加材料
P	わさび
Pt	わさび、とろみ剤 t
Pk	わさび、とろみ剤 k
S	煮干し
St	煮干し、とろみ剤 t
Sk	煮干し、とろみ剤 k
W	わさび、煮干し
Wt	わさび、煮干し、とろみ剤 t
Wk	わさび、煮干し、とろみ剤 k

(1) とろみ剤 k 添加試料 (Pk、Sk、Wk)

蒸留水 20mL を 20mL 容のビーカーに入れ、一旦 95℃まで加温し、室温にてとろみ剤 k の溶解温度 80℃まで降下させた時点で Pk、Sk、Wk にそれぞれ、とろみ剤 k を 0.2g (1 w/v%) 加え 60 回/分の速さで 1 分間、手動攪拌した。その後、室温にてとろみ剤 k の凝固温度 35℃まで降下した時点で Pk にはわさび (P) 0.05g (0.25 w/v%) を、Sk には煮干し (S) 0.5g (2.5 w/v%) を、Wk には P を 0.05g と S を 0.5g 加え、それぞれ 60 回/分の速さで 1 分間、手動攪拌した。とろみ剤 k の粘度が上昇する前の 35℃にわさびおよび煮干しを加えることで、溶媒の物性変化の影響を極力抑えるよう配慮した。

(2) とろみ剤 t 添加試料 (Pt、St、Wt)

とろみ剤 k 添加試料と、溶媒の温度条件およびわさび・煮干しの溶解条件を揃えるため、蒸留水 20mL を 95℃まで加温後、室温にて 35℃まで降下した時点で Pt、St、Wt それぞれにとろみ剤 t を 0.6g (3 w/v%) 加え、さらに Pt にはわさび (P) 0.05g (0.25 w/v%) を、St には煮干し (S) 0.5g (2.5 w/v%) を、Wt には P を 0.05g と S を 0.5g 加え、それぞれ 60 回/分の速さで 1 分間、手動攪拌した。

(3) とろみ剤無添加試料 (P、S、W)

とろみ剤を加えない対照試料とした P、S、W の調製は、とろみ剤 k ならびにとろみ剤 t 添加試料と、溶媒の温度条件およびわさび・煮干しの溶解条件を揃えるため、蒸留水 20mL を 95℃まで加温後、室温にて 35℃まで降下した時点で、P にはわさび (P) 0.05g (0.25 w/v%) を、S には煮干し (S) 0.5g

(2.5 w/v%) を、W には P を 0.05g と S を 0.5g 加え、それぞれ 60 回/分の速さで 1 分間、手動攪拌した。

(1) (2) (3) の試料をそれぞれ密閉し、短時間で物性の安定を図り、且つ添加したわさびおよび煮干しの風味の揮散を極力抑えるため、冷蔵庫で 10 分間保持し、常温 (20±2℃) で 20 分間室温放置後、供試料とした。Fig. 1.2.1 に試料調製手順を示す。

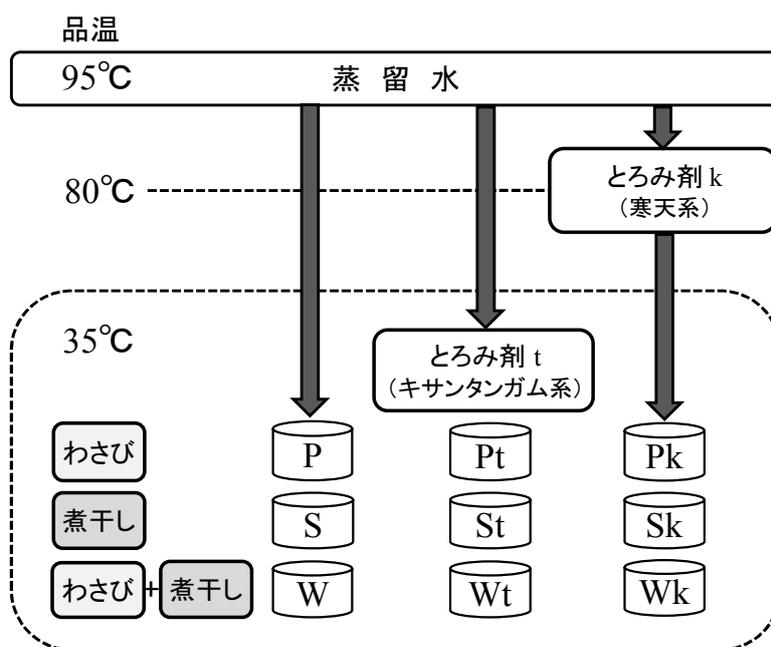


Fig.1.2.1 におい測定用試料の調製手順

【とろみ剤のテクスチャーおよびにおいの測定】

2種類のとろみ剤濃度は、えん下困難者用食品たる表示の許可基準⁴⁷⁾に準じてレオナー（RHEONER II CREEP METER RE2-33005S：山電（株）製）を用いたテクスチャー試験を実施し、硬さ、付着性、凝集性の測定結果が同基準内になるよう定めた。測定試料は、1.2.2の方法に準じて、とろみ剤のみの試料を調製して用いた。その結果、硬さ、付着性、凝集性のいずれの項目においても同基準内になる濃度として、とろみ剤 t（キサントタンガム系）を 3 w/v%、とろみ剤 k（寒天系）を 1 w/v% に決定した（Table 1.2.3）。

また、とろみ剤自体が有するにおいを、テクスチャー試験と同様の測定試料を用いて、におい識別装置により確認した。その結果、とろみ剤 t（キサントタンガム系）に有機酸系のおいが僅かに確認されたが、とろみ剤 k（寒天系）の測定値は全て 0 であった（Fig. 1.2.2）。この結果より、とろみ剤自体のおいには、本研究の測定結果に影響を及ぼさない範囲内であることを確認した。

Table 1.2.3 とろみ剤 t (3w/v%) および、とろみ剤 k (1w/v%) の
テクスチャーの測定結果 (n=3)

試料	硬さ (N/m ²)	付着性 (J/m ³)	凝集性
とろみ剤 t (キサントガム系)	446 ± 32	127 ± 42	0.78 ± 0.03
とろみ剤 k (寒天系)	520 ± 112	137 ± 38	0.76 ± 0.02

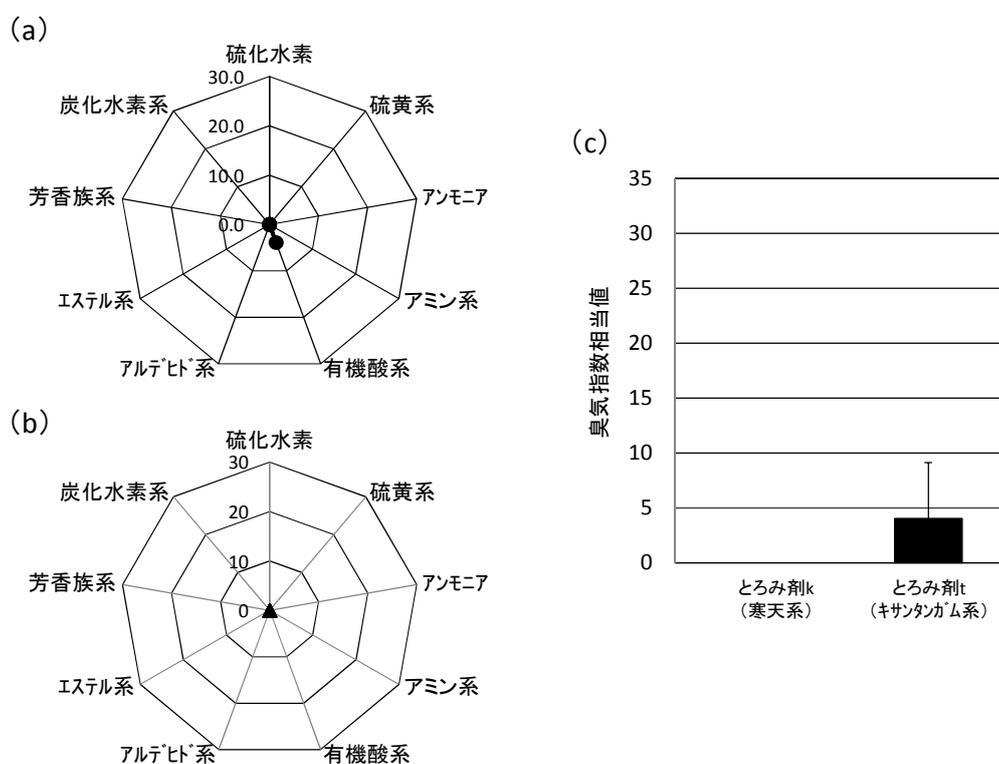


Fig.1.2.2 とろみ剤 t (3w/v%) および、とろみ剤 k (1w/v%) の
においの測定結果

とろみ剤のにおいを、におい識別装置の臭気寄与によるにおいの質と、臭気指数相当値によるにおいの強さで評価した。

(a) とろみ剤 t (キサントガム系) の臭気寄与 ; (b) とろみ剤 k (寒天系) の臭気寄与 ; (c) とろみ剤 t (キサントガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) の臭気指数相当値 (n=3)

1.2.3 においの測定方法

におい識別装置と官能評価で総合的に捉えたにおいの質と強さを評価し、GC-MSで特定香気成分の分析を行った。これら測定には、上記調製試料を用いて、室温での喫食直前を想定した静置試料と、口腔内での咀嚼を想定した圧縮を加えた模擬咀嚼試料を用いて実験に供した。

(1) 静置試料のにおいの測定

(i) におい識別装置

におい識別装置（FF-2A：（株）島津製作所製）と解析ソフトウェア（Asmell：（株）島津製作所製）を用いて、絶対値表現解析で評価した。

におい識別装置は、においを成分としてではなく、嗅覚のようにパターンで認識する装置⁴⁸⁾で、絶対値表現解析により、9つの基準ガスと試料ガスの比較で、においを質と強さに分けて数値化⁴⁹⁾し、類似度および臭気寄与でにおいの質を、臭気指数相当値でにおいの強さを表わす。類似度は、基準ガスに対して試料のにおいがどの程度近いかを数値化したもので、数値が100に近い程、基準ガスに類似したにおいであることを示す。臭気寄与は、においの強さを基準ガス別に分け、それぞれヒトの感覚の嗅覚閾値濃度で補正を加えて臭気指数に相当する値で予測し示したものである⁴⁹⁾。臭気指数相当値は9種類すべての基準ガスのにおいの強さを、臭気指数に相当する値として予測し表示したものである。なお、9種類の基準ガスとは、機器メーカーが独自に選定した9種類の基準臭物質を指し、系統名で表記されている。以下に系統

名と（ ）内に基準臭物質を示す。即ち、硫化水素（硫化水素）、硫黄系（メチルメルカプタン）、アンモニア（アンモニア）、アミン系（トリメチルアミン）、有機酸系（プロピオン酸）、芳香族系（トルエン）、エステル系（酢酸ブチル）、アルデヒド系（ブチルアルデヒド）、炭化水素系（ヘプタン）としている。

類似度および臭気寄与の解析結果は、（財）日本食品分析センターの手法⁵⁰⁾に準じて、以下のように解釈した。

類似度：数値が高い程、基準ガスとの類似性が高く、試料間で10%以上の差がある系統が一つでもあれば、においの質に差がある⁵⁰⁾と判定する。

臭気寄与：硫化水素およびアンモニア以外で3以上の差のある系統が二つ以上あれば、人間の嗅覚で十分識別できるレベルで、においの質に差がある⁵⁰⁾と判定する。

測定試料は、P、Pt、Pk、S、St、Sk、W、Wt、Wkの9試料とし、各6.0gずつをガラス製シャーレ（φ30mm）に採取し、試料を専用のサンプルバッグ（ポリエチレンテレフタレート製/2.0L：（株）島津製作所製、以降バッグと略称）に入れて窒素ガスで充填し、各試料から放散される揮発成分がバッグ内で平衡状態になるまで常温（20±2℃）で60分間静置した。その後、新しいバッグに試料ガスを移し替え、バッグ内の湿度を安定させるため30分間静置し、測定に供した。測定条件は、キャリアガスに純窒素ガス（G1グレード）および純空気（G1グレード）を用いて、ガス流量各20mL/min、ガス吸引時間60秒で吸引量165mLとした。

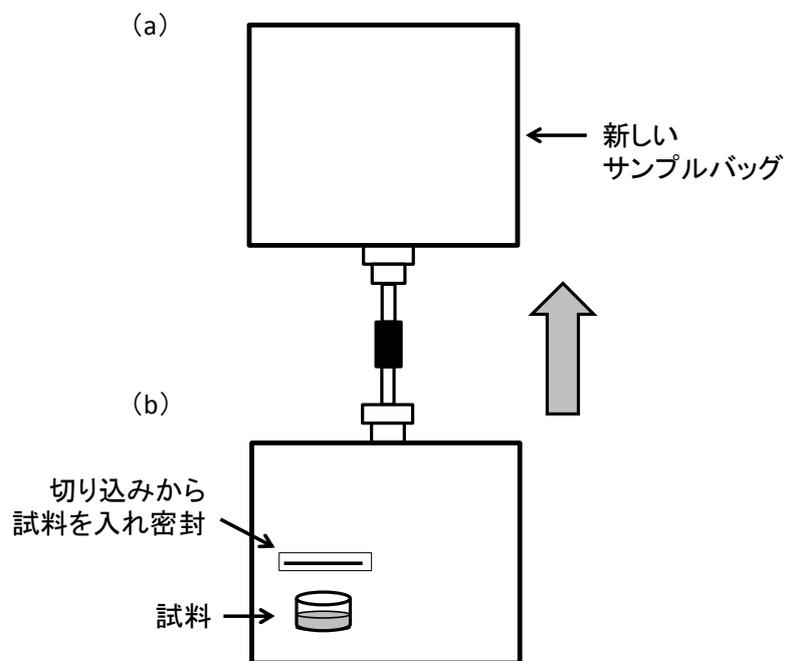


Fig.1.2.3 におい識別装置のサンプルバッグを用いたにおいの捕集

調製試料をシャーレに採取し、専用のサンプルバッグに入れて窒素ガスで充填し、常温で 60 分間静置した (b)。その後、新しいサンプルバッグに試料ガスを移し替え、常温で 30 分間静置し測定に供した (a)。

(ii) 官能評価

分析型 5 段階評点法を用いて、とろみ剤を添加した試料のにおいと食感を官能評価した。煮干しのみの試料 (S) を基準 (0) に定めて、口に入れる前後のわさびおよび煮干しのにおいの強さと食感を比較評価した。試料は、W、Wt、Wk の 3 試料とし、各 2.0g ずつをシャーレに採取し、常温 (20 ± 2°C) で密閉保持し、室温 22°C のオーブンブースで W、Wt、Wk と明記した試料を同時に提供した。口に入れてからの時間は特に指定せず、評価項目は以下 8 項目、①口に入れる前の煮干しのにおい、②口に入れる前のわさびのにおい、③口に入れた後の軟らかさ、④口に入れた後の舌触り、⑤口に入れた後のわさびのにおい、⑥口に入れた後の煮干しのにおい、⑦全体的なにおい、⑧全体的な食感とし、判定基準 - 2 から + 2 までの数字で評価した。評価用紙には、- 2 : 弱い、- 1 : やや弱い、0 : ふつう、+ 1 : やや強い、+ 2 : 強い の尺度の言語ラベルを付記した。パネルは、非喫煙の健常者である 20 ~ 60 歳代の女性で、官能評価について教育を受けた本学調理科学研究室員 10 名で実施した。

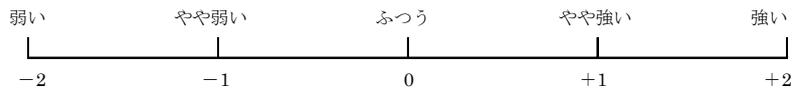
【倫理的配慮】

本研究は、東京家政大学大学院「研究倫理委員会規程」に則り、大学院研究倫理委員会に倫理審査を申請し承認された (東京家政大学大学院研究倫理審査 承認番号 H27-22)。研究参加者には、研究目的や方法、参加は個人の自由意志であることを説明し、書面による同意を得た。研究参加者の情報は、個人が特定できないように配慮した。

煮干しだしの官能評価

性別（男・女） 年齢（ 才）

煮干しだし S を基準（0：ふつう）にし、わさびのみを添加したもの（W）、とろみ調整剤 t を添加したもの（Wt）、とろみ調整剤 k を添加したもの（Wk）を、下の判定基準に従い-2 から+2 までの数字で評価を記入してください。



口に入れる前のおい

項目 \ 試料	判定基準	W	Wt	Wk
1. 煮干しのおい	(-2 弱い +2 強い)			
2. わさびのおい	(-2 弱い +2 強い)			

口に入れてからの様子

項目 \ 試料	判定基準	W	Wt	Wk
3. 軟らかさ	(-2 硬い +2 軟らかい)			
4. 舌触り	(-2 悪い +2 良い)			
5. わさびのおい	(-2 弱い +2 強い)			
6. 煮干しのおい	(-2 弱い +2 強い)			

総合評価

項目 \ 試料	判定基準	W	Wt	Wk
7. 全体的なおい	(-2 悪い +2 良い)			
8. 全体的な食感	(-2 悪い +2 良い)			

その他、お気づきの点がありましたらご記入ください。

Fig.1.2.4 官能評価用紙

わさび+煮干し（W）と、Wにキサンタンガム系と寒天系のとろみ剤を添加した試料（Wt・Wk）のにおいの強さおよび食感を比較した。

(iii) GC-MS

におい識別装置と官能評価の結果を受け、においの消長をより詳細に分析するため、におい嗅ぎ GC (GC-Olfactometry) (GERSTEL ODP2 : ゲステル (株) 製) を用いて指標とするわさびの香気成分を特定した後、GC-MS (Agilent 7890A GC/Agilent 5975C MSD : アジレント・テクノロジー (株) 製) を用いたヘッドスペース法の固相マイクロ抽出法 (Solid Phase Micro Extraction、以降 SPME 法と略称) で香気分量を追跡した。

GC-Olfactometry は、カラムで分離された香気成分の一部を付属のスニッフィングポートを通して嗅ぐことで、官能評価と機器分析を同時に行うことができる装置である⁵¹⁾。本装置を用いた実験より、わさびの主要香気成分をアリルイソチオシアネート (Allyl isothiocyanate : 以降、AITC と略称) と推定し、AITC 標準品 (和光純薬製、特級 Lot. TLK 3821) との照合により、わさびの香気成分の指標と定めた (Fig.1.2.5, Fig.1.2.6)。分析実施日ごとに標準品の一定量の AITC を分析し、そのピーク面積が一定であることを確認した上で、試料の AITC ピーク面積の積分値を相対的に比較した。

GC-MS 分析の測定試料は、W、Wt、Wk の 3 試料とし、各 6.0g ずつを 20mL のバイアルビンに入れ、SPME のファイバー (85 μ m CAR/PDMS : SIGMA-ALDRICH 社製) をバイアルビンのヘッドスペースに挿入し、20 \pm 2 $^{\circ}$ C の恒温槽でにおい成分を 20 分間、静置状態で吸着させた後、GC-MS 分析に供した。

分析条件は、キャピラリカラム Agilent DB-WAX (30m×250µm, 0.5µm film thickness) を用いて、カラム温度は 60℃で1分間保持後、15℃/min で 240℃まで昇温し、5分間保持した。ランタイム 18分、SPME抽出時間 20分とした。気化室温度：250℃、イオン源温度：230℃、スキャンモード：m/z50－550、キャリアガスはヘリウム (G1 グレード、線速度 35cm/s) を用い、注入方法はスプリットレス注入方法で実施した。

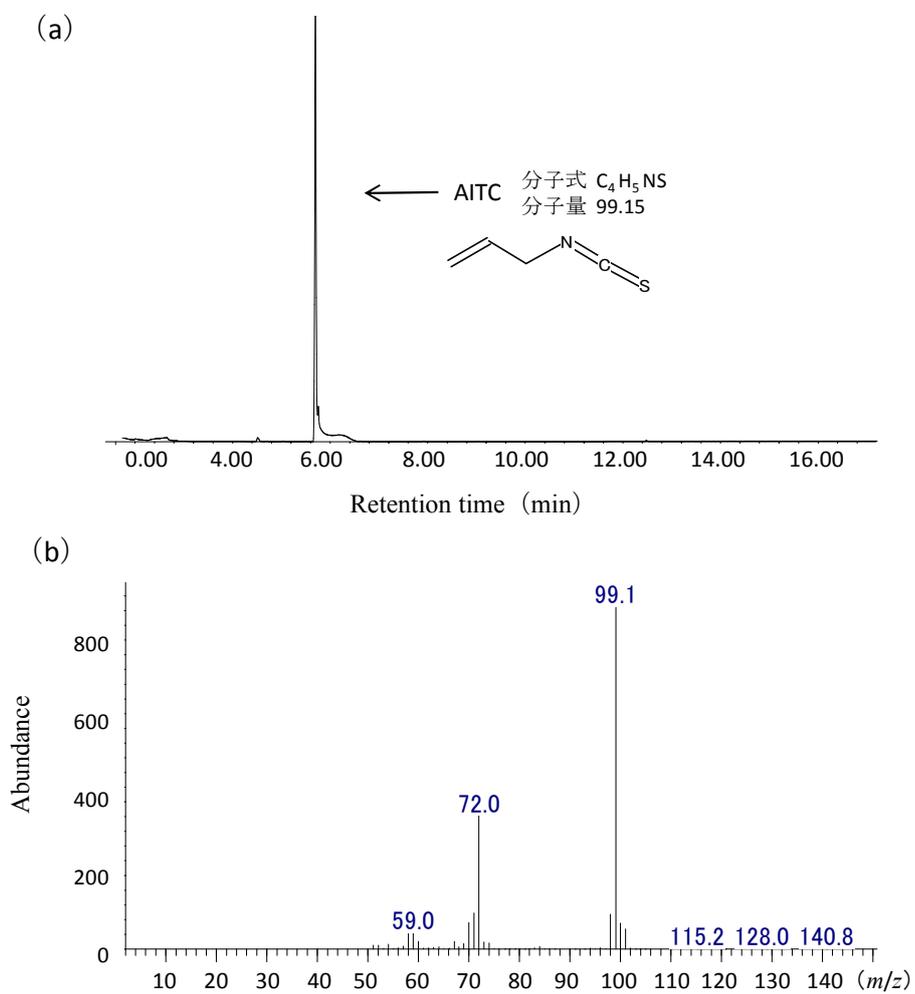


Fig.1.2.5 AITC 標準品のトータルイオンクロマトグラムと質量スペクトル

(a) トータルイオンクロマトグラム ; (b) 質量スペクトル

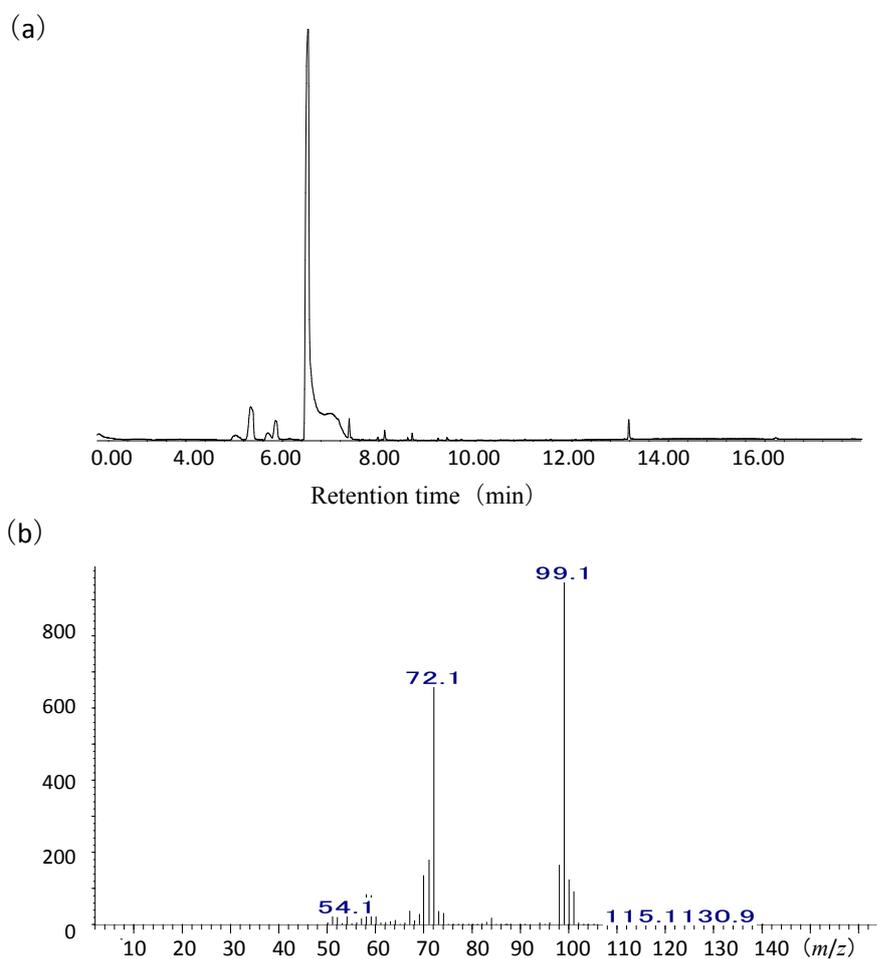


Fig.1.2.6 わさび+煮干し (W) のトータルイオンクロマトグラムと質量スペクトル

(a) トータルイオンクロマトグラム ; (b) 質量スペクトル

(2) 模擬咀嚼試料のにおいの測定

口腔内に入った食品は、咀嚼により形状を大きく変えながら香気成分を放散する。このとき感じるにおいは、静置された食品から立ち上ってくるにおいとは区別され¹⁹⁾、香気フレーザーリリースも異なることが報告されている⁵²⁾。本研究では、咀嚼を想定した圧縮を加えた模擬咀嚼試料のにおいの変化を、におい識別装置と GC-MS を用いて分析し、静置試料と比較した。

(i) におい識別装置

測定試料は、Pt、Pk、St、Sk、Wt、Wk の 6 試料とし、各 6.0g ずつをシャーレ (φ 30mm) に採取し、試料をバッグに移した後、バッグを密閉した。この状態で、バッグ外側よりレオナー (RHEONER II CREEP METER RE2-33005S : 山電 (株) 製) を用いて一次元の 10 回連続圧縮を実施し、窒素ガス置換した後、常温 (20±2℃) で 60 分間静置して模擬咀嚼試料を得た。その後、新しいバッグに試料ガスを移し替えて 30 分間静置し、測定に供した。圧縮条件は、測定歪率 : 80%、プランジャー : 円柱状・樹脂製 (直径 16mm×高さ 80mm)、圧縮速度 : 5mm/s、ロードセル : 200N、圧縮回数 : 10 回とした。

(ii) GC-MS

測定試料は、Wt、Wk の 2 試料とし、各 6.0g ずつをシャーレ (φ 30mm) に採取し、試料をバッグ内に移した後、バッグを密閉した。この状態で、バッグ外側よりレオナーを用いて 10 回連続圧縮後、窒素ガス置換して常温 (20±2℃) で 60

分間静置した。その後、SPME ファイバーをバッグ内に挿入し、常温（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ）で 30 分間香気成分を吸着させたものを測定用模擬咀嚼試料とし、GC-MS 分析に供した。GC-MS 分析では、観測される AITC ピーク面積の積分値により比較した。GC-MS の分析条件は、上記静置試料と同条件とした。

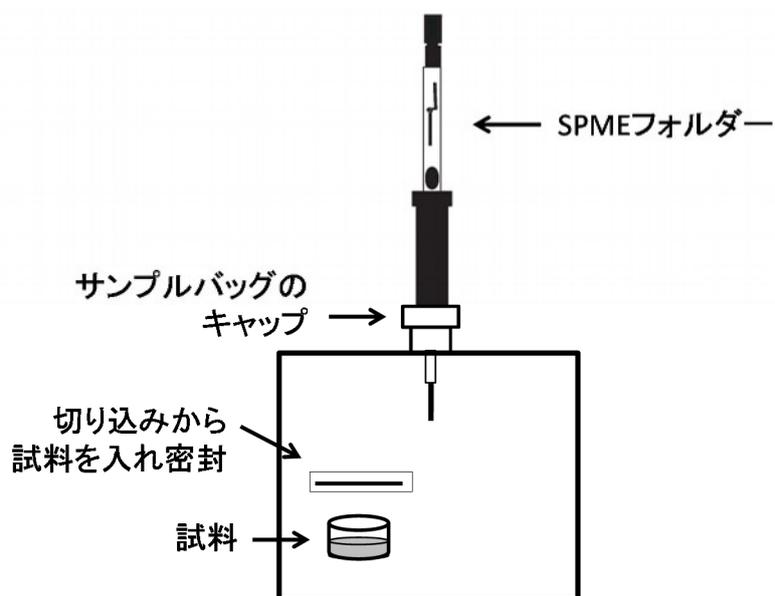


Fig.1.2.7 GC-MS 測定による模擬咀嚼試料の香気成分の吸着

調製試料をサンプルバッグに入れ、レオナーを用いた連続圧縮の後、窒素ガスで充填し、常温で 60 分間静置した。その後、SPME ファイバーをサンプルバッグに挿入し、常温で 30 分間香気成分を吸着した。

1.2.4 統計処理

におい識別装置の類似度および臭気寄与以外の各測定値は、平均値±標準偏差で表わし、SPSS Ver.20 を用いて一元配置分析の分散分析を行った。その後の検定では、Tukey の HSD による多重比較を行い、有意水準 1% および 5% で検定した。

1.3 結果および考察

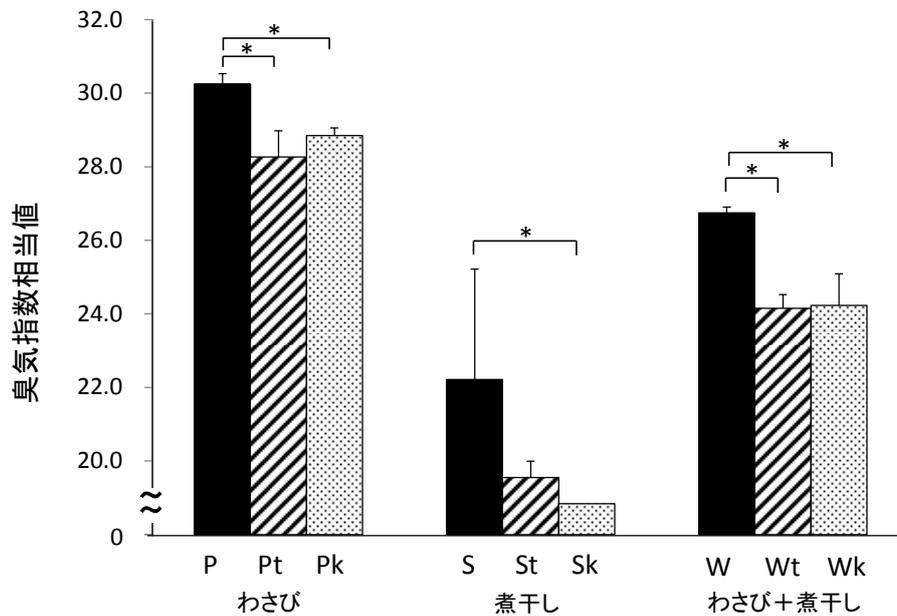
1.3.1 とろみ調整剤を添加した静置試料のにおいの変化

におい識別装置によるにおいの評価として、Fig.1.3.1 に臭気指数相当値を、Fig.1.3.2 に類似度および臭気寄与の結果を示す。

Fig.1.3.1 のとろみ剤を添加した静置試料の臭気指数相当値の結果より、わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) 全ての試料群で、とろみ剤 t およびとろみ剤 k を添加すると、いずれにもおいは弱まり、わさびの P・Pt 間、P・Pk 間、煮干しの S・Sk 間、わさび+煮干しの W・Wt 間、W・Wk 間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

Fig.1.3.2 のとろみ剤を添加した静置試料の類似度と臭気寄与の結果より、わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) 全ての臭気寄与のとろみ剤 t 添加 (□) およびとろみ剤 k 添加 (△) と、とろみ剤無添加 (■) のレーダーチャートの形が異なることから、とろみ剤を添加すると総合的に捉えたにおいの質は変化することが確認された。また、とろみ剤無添加 (■) のわさび (P) とわさび+煮干し (W) の類似度のレーダーチャートの形と大きさが相似していることから、わさ

び (P) とわさび+煮干し (W) のにおいては類似していること、すなわち、煮干しのおいがわさびのおいに抑制されていることが推察された。



* 有意差あり ($p < 0.05$)

Fig.1.3.1 とろみ剤添加による静置試料のにおいの強さの比較

わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) と、それぞれにとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料のにおいの強さを、におい識別装置による臭気指数相当値で比較した。 ($n=3$)

とろみ剤無添加 ;
 とろみ剤 t 添加 ;
 とろみ剤 k 添加
 (P, S, W) (Pt, St, Wt) (Pk, Sk, Wk)

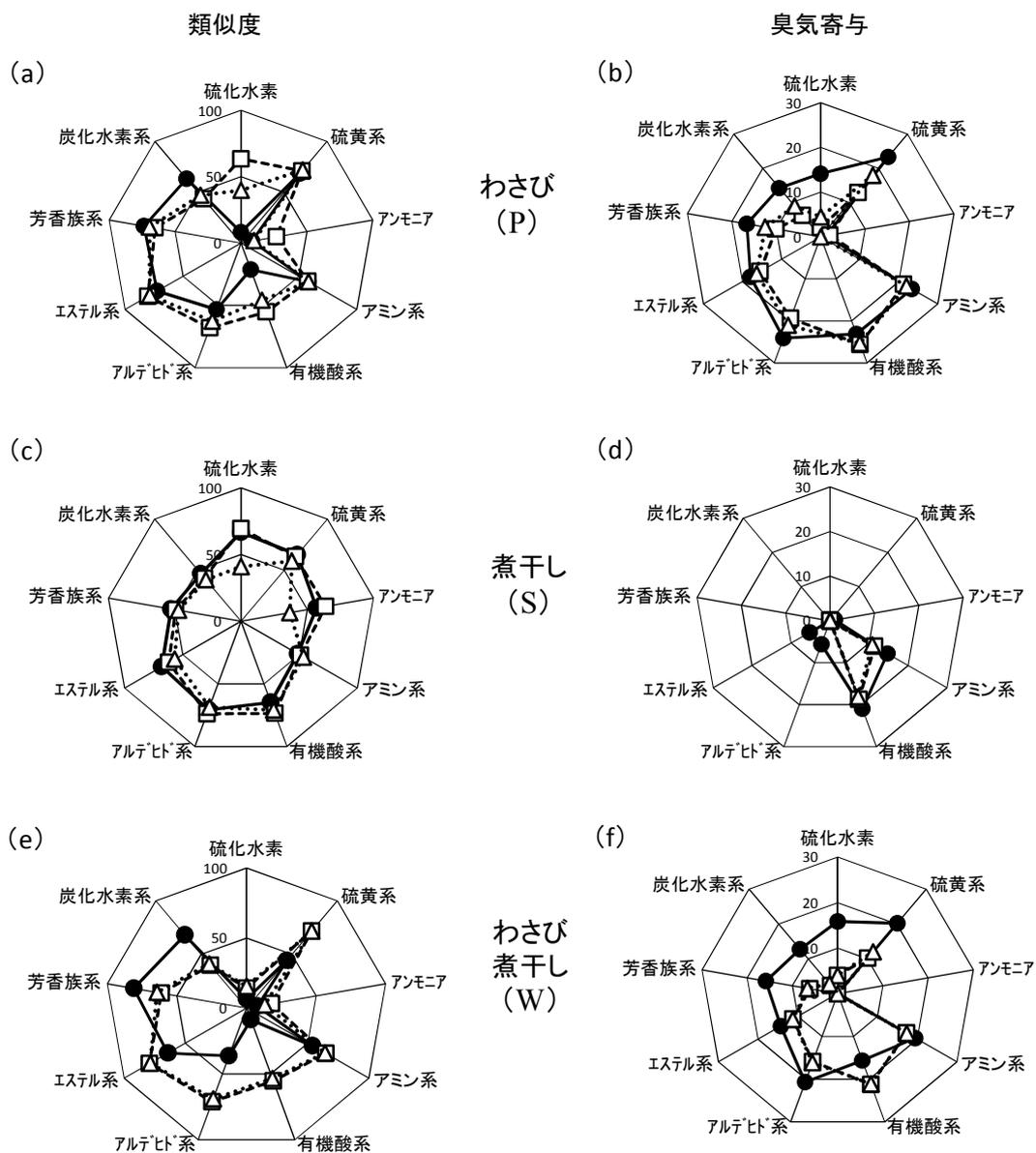


Fig.1.3.2 とろみ剤添加による静置試料のにおいの質の比較

わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) と、それぞれにとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料のにおいの質を、におい識別装置による類似度および臭気寄与で比較した。(n=3)

(a) わさびの類似度 ; (b) わさびの臭気寄与 ; (c) 煮干しの類似度 ; (d) 煮干しの臭気寄与 ; (e) わさび+煮干しの類似度 ; (f) わさび+煮干しの臭気寄与
 ● : とろみ剤無添加 (P, S, W) ; □ : とろみ剤 t 添加 (Pt, St, Wt) ; △ : とろみ剤 k 添加 (Pk, Sk, Wk)

Table 1.3.1 に類似度の実測データを示す。わさびの P・Pt 間、P・Pk 間、Pt・Pk 間、煮干しの S・Sk 間、St・Sk 間、わさび+煮干しの W・Wt 間、W・Wk 間、Wt・Wk 間に差が認められた。

Table 1.3.2 に臭気寄与の実測データを示す。わさびの P・Pt 間、P・Pk 間、煮干しの S・St 間、S・Sk 間、わさび+煮干しの W・Wt 間、W・Wk 間に差が認められたことから、わさび、煮干し、わさび+煮干し全ての試料において、とろみ剤を添加すると、人間の嗅覚で十分識別できるレベルで、においの質に差があると判定した。

また、とろみ剤添加によるにおいの質の変化は、類似度で 9 系統、臭気寄与で 6 系統に差が認められたわさび+煮干しが最も大きく、次いで、わさび（類似度 5 系統、臭気寄与 4 系統）、煮干し（類似度 3 系統、臭気寄与 3 系統）の順に、それぞれの系統数、差が認められた。

Table 1.3.3 にとろみ剤を添加した静置試料の官能評価の結果を示す。口に入れた後のわさびのにおいにおいて、W・Wt 間 ($p < 0.05$)、W・Wk 間 ($p < 0.01$) で有意差が認められたことから、食べる際に口に入れてから感知されるわさびのにおいは、とろみ剤を添加すると弱まることが確認された。

GC-MS による香気成分の分析結果を Fig.1.3.3 に示す。Fig.1.3.3 のとろみ剤を添加した静置試料の AITC 量より、わさび+煮干し (W) にとろみ剤を添加した際の AITC 量は、キサンタンガム系のとろみ剤 t 添加試料 Wt で 71.4%、寒天系のとろみ剤 k 添加試料 Wk で 65.3%、有意 ($p < 0.01$) に減

少した。この結果は、におい識別装置の臭気指数相当値の結果（Fig.1.3.1）と相関性がある結果であり、とろみ剤を添加することによる香気成分の抑制が確認された。

食品に含まれている水、炭水化物、タンパク質、脂質などの成分は、香気成分を食品内部に保持させる力（共有結合、ファンデルワールス力、水素結合、疎水性結合、イオン結合等による）が強ければ、香気フレーバーリリース量は少なくなる⁶⁾。また、キサントガムやグァーガムのようなガム類へのフレーバー化合物の結合は水素結合による⁴⁶⁾ため、キサントガム系のとろみ剤 t を添加することで、においの放散が減少したと考えられる。また、とろみ剤 t に含まれるデキストリンは、水素結合により水中のにおい分子の気-液分配係数を減少させる⁵³⁾ため、香気量の減少に寄与したことも推察される。また、寒天系のとろみ剤 k に含まれる寒天の主成分アガロースは、水素結合により二重螺旋構造をとり網目構造を形成する⁵⁴⁾ことが知られている。

わさびの主要香気成分 AITC は酵素反応により生成され⁵⁵⁾、魚の生臭いにおいを抑えることが知られている。しかし、本実験結果より、とろみ剤を加えるとわさびのにおいは弱まり質も変化することが確認されたことから、香辛料わさびのマスキング効果に影響を及ぼすことも考えられる。

Table 1.3.1 とろみ剤添加による静置試料のにおいの質（類似度）の比較

試料	基準ガス									
	硫化水素	硫黄系	アンモニア	アミン系	有機酸系	アルデヒド系	エステル系	芳香族系	炭化水素系	
わさび	P	8.2 ± 0.7	68.4 ± 2.4	8.4 ± 0.2	58.2 ± 1.5	21.3 ± 3.9	53.4 ± 1.7	72.5 ± 0.7	73.6 ± 1.2	63.4 ± 3.4
	Pt	63.6 ± 4.9*	70.9 ± 2.0	27.0 ± 7.1	57.7 ± 4.1	55.2 ± 5.0*	68.2 ± 1.5*	80.2 ± 2.2	65.2 ± 0.8	43.5 ± 2.2*
	Pk	39.7 ± 4.7*	71.9 ± 1.2	9.8 ± 0.8	58.3 ± 1.9	45.8 ± 2.5	62.7 ± 1.7	78.6 ± 1.8	69.5 ± 0.8	47.0 ± 2.4
煮干し	S	66.7 ± 9.5	65.1 ± 4.4	57.1 ± 6.7	48.8 ± 6.5	64.8 ± 6.5	70.6 ± 13.7	68.1 ± 4.8	52.8 ± 2.7	46.5 ± 9.3
	St	69.3 ± 4.3*	63.3 ± 5.2	63.8 ± 4.2	51.0 ± 1.5	73.6 ± 5.6	73.8 ± 4.3	61.9 ± 5.2*	49.3 ± 7.1	42.0 ± 7.4
	Sk	40.9 ± 18.8	58.8 ± 3.1	36.8 ± 16.9	53.7 ± 3.2	70.9 ± 3.3	68.6 ± 4.1	56.8 ± 2.6	47.2 ± 3.1	40.6 ± 4.1
わさび 煮干し	W	6.5 ± 0.4	44.5 ± 2.3	7.8 ± 0.4	53.9 ± 1.2	8.8 ± 0.2	36.3 ± 1.5	64.2 ± 0.8	81.0 ± 1.6	68.0 ± 2.0*
	Wt	14.2 ± 2.5*	71.8 ± 2.6	17.8 ± 2.8*	64.8 ± 1.6*	55.4 ± 4.3*	71.2 ± 1.4*	79.3 ± 1.9*	61.3 ± 1.7*	39.8 ± 2.0*
	Wk	15.5 ± 6.1	71.7 ± 4.0	13.0 ± 3.6*	64.1 ± 1.3	53.4 ± 5.1	69.0 ± 3.5	78.7 ± 4.2	64.4 ± 1.2	41.2 ± 2.6

平均値±標準偏差 (n=3)

* (財) 日本食品分析センターの手法により、同試料ごとの系統別の数値に 10%以上の差があることを示す。

わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) と、それぞれにとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料のにおいの質を、におい識別装置の類似度で比較した。

Table 1.3.2 とろみ剤添加による静置試料のにおいの質（臭気寄与）の比較

試料	基準ガス										
	硫化水素	硫黄系	アンモニア	アミン系	有機酸系	アルデヒド系	エステル系	芳香族系	炭化水素系		
わさび	P	14.2 ± 0.7	23.3 ± 0.5 [*]	1.2 ± 0.4	23.4 ± 0.2	23.1 ± 0.6	24.1 ± 0.4 [*]	18.0 ± 0.2	16.6 ± 0.6	14.3 ± 0.7 [*]	
	Pt	2.1 ± 3.0	13.0 ± 4.9 [*]	2.1 ± 0.7	21.3 ± 0.9	25.6 ± 0.3	19.4 ± 1.8 [*]	15.5 ± 0.9	10.1 ± 1.9 [*]	6.2 ± 2.1 [*]	
	Pk	4.5 ± 1.4	18.0 ± 0.6	0.0 ± 0.0	22.0 ± 0.2	25.4 ± 0.2	21.1 ± 0.3	16.4 ± 0.1	12.5 ± 0.3	9.0 ± 0.4	
煮干し	S	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	1.1 ± 1.7	14.7 ± 2.7 [*]	21.0 ± 3.2	5.6 ± 4.4 [*]	5.2 ± 4.1 [*]	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
	St	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	11.4 ± 0.8 [*]	18.8 ± 0.3	0.0 ± 0.0 [*]	0.0 ± 0.0 [*]	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
	Sk	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	10.8 ± 1.2	18.1 ± 0.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
わさび 煮干し	W	15.9 ± 0.6	20.2 ± 0.2 [*]	0.0 ± 0.0	19.5 ± 0.1	15.7 ± 0.1 [*]	20.7 ± 0.2 [*]	14.3 ± 0.1 [*]	15.9 ± 0.2 [*]	12.8 ± 0.2 [*]	
	Wt	4.0 ± 1.5	10.2 ± 3.6 [*]	0.0 ± 0.0	17.3 ± 0.4	21.2 ± 0.2 [*]	15.9 ± 0.9 [*]	11.2 ± 0.5 [*]	6.1 ± 0.8 [*]	2.3 ± 1.2 [*]	
	Wk	4.0 ± 2.4	12.0 ± 2.0	0.0 ± 0.0	17.4 ± 0.3	21.1 ± 0.2	16.1 ± 0.8	11.3 ± 0.4	6.7 ± 1.0	2.8 ± 1.3	

平均値 ± 標準偏差 (n=3)

* (財) 日本食品分析センターの手法により、同試料ごとの系統別（硫化水素およびアンモニア以外）の数値に 3 以上の差があることを示す。

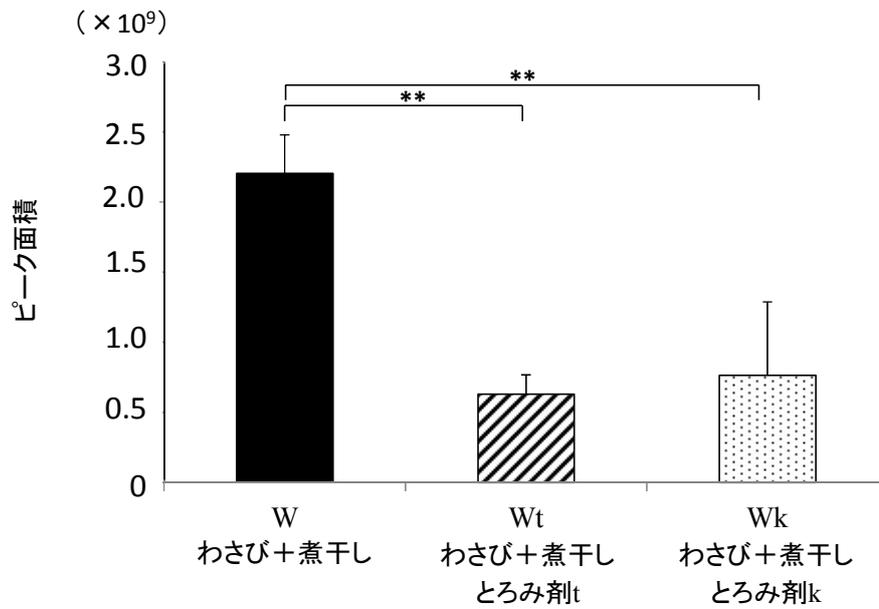
わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) と、それぞれにとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料のにおいの質を、におい識別装置の臭気寄与で比較した。

Table 1.3.3 わさび+煮干し (W) と W にキサンタンガム系と寒天系の
 とろみ剤を添加した試料 (Wt・Wk) における強さおよび
 食感の官能評価結果

評価項目	W わさび+煮干し	Wt わさび+煮干し とろみ剤 t	Wk わさび+煮干し とろみ剤 k	
口に入れる前	1. 煮干しのにおい	-0.7±0.82	-0.7±1.34	-0.3±1.49
	2. わさびのにおい	0.9±0.99	-0.1±0.88	0.2±1.14
口に入れた後	3. 軟らかさ	0.1±1.20	1.1±0.88	0.1±1.45
	4. 舌触り	0.0±0.00	0.4±1.26	-0.8±1.40
	5. わさびのにおい	1.5±0.76	0.0±0.93	-0.6±1.06
	6. 煮干しのにおい	-0.5±1.20	0.1±1.13	0.4±1.41
総合評価	7. 全体的なにおい	0.2±0.92	-0.1±1.37	0.3±0.95
	8. 全体的な食感	-0.3±0.67	0.2±1.40	-0.9±1.10

平均値±標準偏差 (n = 10)

有意差あり (** p < 0.01, * p < 0.05)



** 有意差あり($p < 0.01$)

Fig.1.3.3 とうもろこし添加による静置試料の AITC 量の比較

わさび+煮干し (W) と、W にとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料の AITC 量を GC-MS で測定し、ピーク面積の積分値を相対的に比較した。
($n = 3$)

とろみ剤無添加 ;
 とろみ剤 t 添加 ;
 とろみ剤 k 添加
 (W) (Wt) (Wk)

1.3.2 とろみ調整剤を添加した模擬咀嚼試料のにおいの変化

Fig.1.3.4 にとろみ剤を添加した静置試料および模擬咀嚼試料のにおいの強さを、におい識別装置の臭気指数相当値で示す。わさび、煮干し、わさび+煮干し全ての試料群において、静置試料よりも模擬咀嚼試料の方が高い値を示し、Pt に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。また、St、Wt、Wk で静置試料に比べて模擬咀嚼試料の方が高い傾向 ($p < 0.1$) を示した。

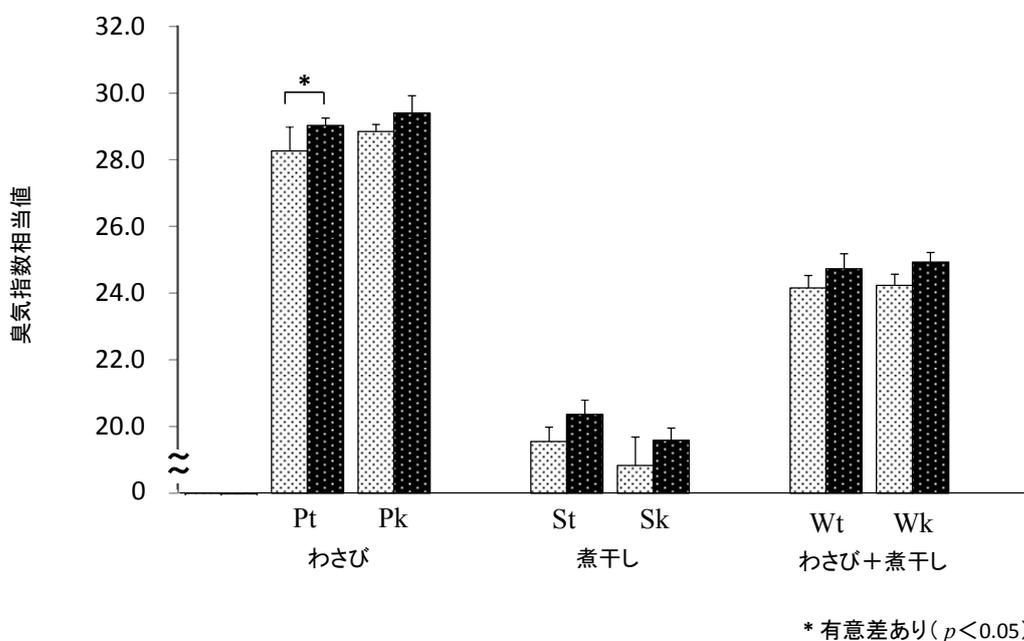


Fig.1.3.4 とろみ剤を添加した静置試料および模擬咀嚼試料のにおいの強さの比較

わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) それぞれに、とろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料および模擬咀嚼試料のにおいの強さを、におい識別装置による臭気指数相当値で比較した。 ($n = 3$)

■ 静置試料 ; ■ 模擬咀嚼試料

Table 1.3.3 にとろみ剤を添加した静置試料および模擬咀嚼試料の類似度の結果を示す。わさびにとろみ剤を添加した試料 Pt・Pk、煮干しにとろみ剤を添加した試料 St・Sk、わさび＋煮干しにとろみ剤を添加した試料 Wt・Wk 全ての試料において、静置試料と模擬咀嚼試料の間に、においの質に差が認められた。しかし、Table 1.3.4 に示すとろみ剤を添加した静置試料および模擬咀嚼試料の臭気寄与の結果より、全ての試料において、においの質に差が認められなかったことから、静置試料と模擬咀嚼試料の間のにおいの質の差は小さいと判定した。

GC-MS による香気成分の分析結果を、Fig.1.3.5 のとろみ剤を添加した静置試料および模擬咀嚼試料の AITC 量に示す。わさび＋煮干しにとろみ剤を添加した試料 Wt・Wk の静置試料と模擬咀嚼試料を比較すると、キサントガム系とろみ剤添加試料 Wt で 34%、寒天系とろみ剤添加試料 Wk で 28%、模擬咀嚼試料の方が高い値を示した。

以上より、とろみ剤添加により食品内部に保持されたにおいは、咀嚼を想定した圧縮を加えると、再び放散することが推測された。従って、とろみ剤添加食品に香辛料わさびを用いる際は、香気フレーバーリリースの抑制と、咀嚼による口中環境での新たな放散を併せて考慮し、添加量や添加方法を検討することが重要と考える。

Table 1.3.3 とろみ剤添加による静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質（類似度）の比較

試験料	基準ガス									
	硫化水素	硫黄系	アンモニア	アミン系	有機酸系	アルデヒド系	エステル系	芳香族系	炭化水素系	
わさび とろみ剤 t (Pt)	静置	63.6 ± 4.9	70.9 ± 2.0	27.0 ± 7.1	57.7 ± 4.1	55.2 ± 5.0	68.2 ± 1.5	80.2 ± 2.2	65.2 ± 0.8	43.5 ± 2.2
	模擬咀嚼	46.8 ± 5.1	72.8 ± 2.0	11.1 ± 2.3	59.7 ± 1.9	46.2 ± 2.5	63.6 ± 1.7	78.3 ± 1.9	68.3 ± 0.9	46.1 ± 2.5
わさび とろみ剤 k (Pk)	静置	39.7 ± 4.7	71.9 ± 1.2	9.8 ± 0.8	58.3 ± 1.9	45.8 ± 2.5	62.7 ± 1.7	78.6 ± 1.8	69.5 ± 0.8	47.0 ± 2.4
	模擬咀嚼	20.9 ± 10.0	72.2 ± 2.2	9.0 ± 0.5	58.4 ± 2.2	36.2 ± 7.6	58.7 ± 3.3	76.2 ± 2.6	70.8 ± 1.3	52.9 ± 5.3
煮干し とろみ剤 t (St)	静置	69.3 ± 4.3	63.3 ± 5.2	63.8 ± 4.2	51.0 ± 1.5	73.6 ± 5.6	73.8 ± 4.3	61.9 ± 5.2	49.3 ± 7.1	42.0 ± 7.4
	模擬咀嚼	77.8 ± 5.6	65.8 ± 2.4	69.8 ± 4.3	55.9 ± 0.8	77.6 ± 3.1	78.3 ± 1.6	62.5 ± 2.6	50.4 ± 4.3	39.5 ± 5.3
煮干し とろみ剤 k (Sk)	静置	40.9 ± 18.8	58.8 ± 3.1	36.8 ± 16.9	53.7 ± 3.2	70.9 ± 3.3	68.6 ± 4.1	56.8 ± 2.6	47.2 ± 3.1	40.6 ± 4.1
	模擬咀嚼	49.7 ± 13.3	61.7 ± 1.4	44.7 ± 12.7	57.3 ± 2.2	74.8 ± 1.4	73.0 ± 1.9	58.4 ± 1.1	48.9 ± 0.7	39.6 ± 1.1
わさび+煮干し とろみ剤 t (Wt)	静置	14.2 ± 2.5	71.8 ± 2.6	17.8 ± 2.8	64.8 ± 1.6	55.4 ± 4.3	71.2 ± 1.4	79.3 ± 1.9	61.3 ± 1.7	39.8 ± 2.0
	模擬咀嚼	9.2 ± 0.5	76.3 ± 3.5	11.1 ± 1.7	66.7 ± 1.6	50.2 ± 5.4	69.6 ± 1.3	80.0 ± 2.6	64.9 ± 1.1	43.0 ± 4.1
わさび+煮干し とろみ剤 k (Wk)	静置	15.5 ± 6.1	71.7 ± 4.0	13.0 ± 3.6	64.1 ± 1.3	53.4 ± 5.1	69.0 ± 3.5	78.7 ± 4.2	64.4 ± 1.2	41.2 ± 2.6
	模擬咀嚼	9.0 ± 0.5	77.1 ± 2.7	9.6 ± 0.2	66.4 ± 1.2	46.2 ± 4.5	66.9 ± 3.3	78.3 ± 4.2	65.8 ± 1.0	44.7 ± 2.9

平均値±標準偏差 (n=3)

* (財) 日本食品分析センターの手法により、同試験ごとの系統別に静置試験と模擬咀嚼試験料間の数値に 10%以上の差があることを示す。

わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) と、それぞれにとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質を、におい識別装置の類似度で比較した。

Table 1.3.4 ところみ剤添加による静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質（臭気寄与）の比較

試料	基準ガス	硫化水素	硫黄系	アンモニア	アミン系	有機酸系	アルデヒド系	エステル系	芳香族系	炭化水素系
わさび ところみ剤 t (Pt)	静置	2.1 ± 3.0	13.0 ± 4.9	2.1 ± 0.7	21.3 ± 0.9	25.6 ± 0.3	19.4 ± 1.8	15.5 ± 0.9	10.1 ± 1.9	6.2 ± 2.1
	模擬咀嚼	5.7 ± 1.0	18.5 ± 0.6	0.3 ± 0.5	22.1 ± 0.2	25.5 ± 0.2	21.3 ± 0.3	16.5 ± 0.2	12.6 ± 0.3	9.1 ± 0.5
わさび ところみ剤 k (Pk)	静置	4.5 ± 1.4	18.0 ± 0.6	0.0 ± 0.0	22.0 ± 0.2	25.4 ± 0.2	21.1 ± 0.3	16.4 ± 0.1	12.5 ± 0.3	9.0 ± 0.4
	模擬咀嚼	8.3 ± 4.4	20.5 ± 1.6	0.4 ± 0.4	22.5 ± 0.5	24.7 ± 0.7	22.3 ± 0.9	17.1 ± 0.4	14.1 ± 1.2	11.1 ± 1.6
煮干し ところみ剤 t (St)	静置	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	11.4 ± 0.8	18.8 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	模擬咀嚼	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.4	12.4 ± 0.7	19.5 ± 0.3	0.7 ± 1.1	0.7 ± 1.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
煮干し ところみ剤 k (Sk)	静置	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	10.8 ± 1.2	18.1 ± 0.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
	模擬咀嚼	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	11.8 ± 0.4	18.7 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
わさび+煮干し ところみ剤 t (Wt)	静置	4.0 ± 1.5	10.2 ± 3.6	0.0 ± 0.0	17.3 ± 0.4	21.2 ± 0.2	15.9 ± 0.9	11.2 ± 0.5	6.1 ± 0.8	2.3 ± 1.2
	模擬咀嚼	6.6 ± 2.6	14.0 ± 1.8	0.0 ± 0.0	17.9 ± 0.4	21.1 ± 0.2	17.1 ± 1.0	11.9 ± 0.6	7.7 ± 1.1	4.1 ± 1.5
わさび+煮干し ところみ剤 k (Wk)	静置	4.0 ± 2.4	12.0 ± 2.0	0.0 ± 0.0	17.4 ± 0.3	21.1 ± 0.2	16.1 ± 0.8	11.3 ± 0.4	6.7 ± 1.0	2.8 ± 1.3
	模擬咀嚼	7.7 ± 1.6	15.2 ± 1.1	0.0 ± 0.0	18.1 ± 0.2	20.9 ± 0.3	17.5 ± 0.5	12.1 ± 0.3	8.4 ± 0.7	5.0 ± 1.0

平均値±標準偏差 (n=3)

* (財) 日本食品分析センターの手法により、同試験ごとの系統別（硫化水素およびアンモニア以外）に静置試験と模擬咀嚼試験間の数値に3以上の差があることを示す。

わさび (P)、煮干し (S)、わさび+煮干し (W) と、それぞれにところみ剤 t (キサンタンガム系) およびところみ剤 k (寒天系) を添加した静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質を、におい識別装置の臭気寄与で比較した。

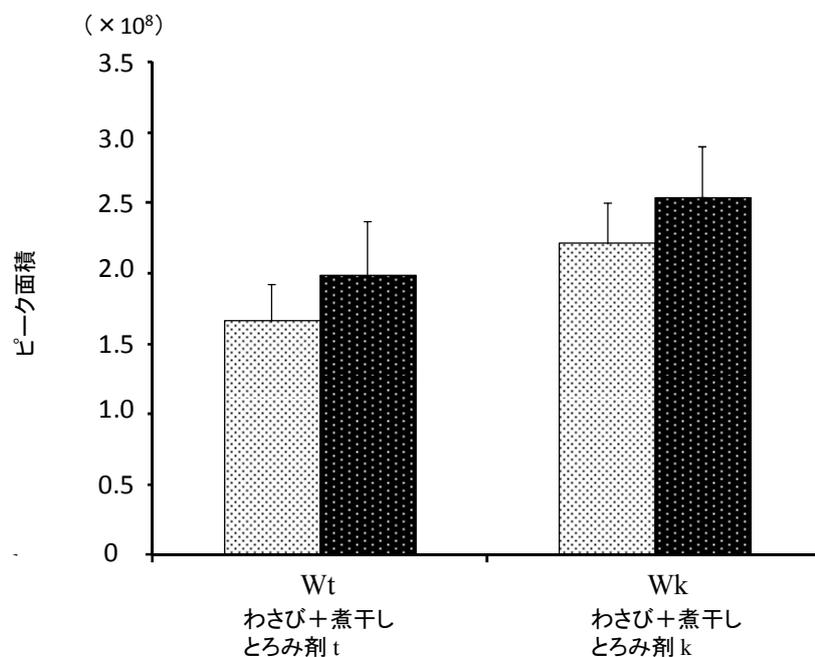


Fig.1.3.5 とろみ剤を添加した静置試料および模擬咀嚼試料の AITC 量の比較

わさび+煮干し (W) に、とろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した静置試料および模擬咀嚼試料の AITC 量を GC-MS で測定し、ピーク面積の積分値を相対的に比較した。
(n=3)

 静置試料 ;
  模擬咀嚼試料

1.4 小 括

咀嚼・嚥下困難者の食事をおいしく食する工夫を探るため、
においに特徴のある食材「わさび」と「煮干し」を対象に、
とろみ剤を添加した際の香気フレーバーリリースを追跡した。
また、咀嚼を想定した圧縮付加時のにおいを採取する新たな
測定方法を考案し、模擬咀嚼試料と静置試料のにおいを分析
し、次の知見を得た。

(1) 初めに、とろみ剤を添加した際の香気フレーバーリ
リースを観測した。におい識別装置の結果より、とろみ剤を添
加すると食品全体のおいには有意に弱まり、においの質も変
化した。においの質の変化は、わさびを加えた試料で大きい
ことが確認された。GC-MSの結果より、わさびの主要香気成
分 AITC の量はとろみ剤を添加すると有意に減少し、減少率
はキサンタンガム系とろみ剤添加試料で 71.4%、寒天系とろ
み剤添加試料で 65.3%であった。

(2) 次に、咀嚼を想定した圧縮付加時の模擬咀嚼試料の香
気フレーバーリリースを観測し、静置試料と比較した。にお
い識別装置の結果より、模擬咀嚼試料は静置試料に比べて食
品全体のおいには強まる傾向を示したが、においの質の変化
は認められなかった。官能評価の結果より、とろみ剤を添加
すると、口に入れた後のわさびのおいには有意に弱まると評
価された。GC-MSの結果より、模擬咀嚼試料は静置試料に比
べてキサンタンガム系とろみ剤添加試料で 34%、寒天系とろ
み剤添加試料で 28%、AITC の量は増加した。

これまでの結果より、とろみ剤を添加するとわさびのにおいは弱まるが、咀嚼を想定した圧縮付加時のにおいは強まると考えられた。従って、とろみ剤添加食品に香辛料わさびを用いる際は、とろみ剤添加によるにおいの抑制ばかりに捕らわれず、口腔内での新たなにおいの放散も予測して、わさびの添加量や添加時期などを調整することで、わさび本来の風味を保持できるのではないかと考えた。

第 2 章 とろみ調整剤添加食品の風味を保持するわさびの 最適添加量の検討

2.1 はじめに

第 1 章では、とろみ剤を添加すると食品全体のおいの強さは減少し、においの質の差はわさびを加えた試料で大きく、わさびの主要香気成分 AITC の量は有意に減少した。しかし、咀嚼を想定した圧縮を加えると食品全体のおいの強さおよび AITC の量は増加傾向を示し、食品内部に保持されたにおいの新たな放散が推察された。

また、AITC の量が食品全体のおいの変化と連動していたことから、引き続き香味食材のわさびに着目した。AITC は、魚の生臭さを感じにくくするマスキング効果（矯臭作用）を持っている⁵⁶⁾ ことはよく知られており、我々は、経験と嗜好により刺身などの生魚を食する際にわさびの添加量を加減している。しかし、とろみ剤を添加するとわさびのおいは変化する⁵⁷⁾ ことから、矯臭作用を含めたわさび風味の変化が懸念された。

そこで、とろみ剤添加食品をおいしく食する工夫として、風味を損なわないわさびの添加量を検討した。その結果、わさびの濃度別試料の AITC 量の分析により、とろみ剤添加食品において、わさびの風味を保持する最適添加量の目安が確認されたので、その詳細を報告する。

2.2 実験方法

2.2.1 実験材料

1.2.1 (1) (2) (3) と同様の煮干し、わさび、およびキサントランガム系と寒天系のとろみ剤を用いた。

2.2.2 試料調製

1.2.2 同様の方法でわさびの添加量のみを変化させたわさび+煮干し試料 (W) を調製した。試料名は 1.2.2 同様、わさび+煮干し試料を (W)、W にキサントランガム系とろみ剤を添加した試料を (Wt)、寒天系とろみ剤を添加した試料を (Wk) とし、以降の実験には () 内の記号で略記した。

(1) わさびの添加量基準の試料調製

第 1 章で用いたわさびの添加量を基準量と定めた各試料 W、Wt、Wk は、1.2.2 同様の方法で調製した。各材料の重量は 1.2.2 同様、煮干し : 0.5g (2.5 w/v%)、わさび : 0.05g (0.25 w/v%)、とろみ剤 t : 0.6g (3 w/v%)、とろみ剤 k : 0.2g (1 w/v%) とした。

(2) わさびの添加量 2 倍、1/2 倍、1/10 倍の試料調製

(1) のわさびの添加量 (0.25 w/v%) を基準 (100%) として、わさびの添加量のみ基準の 2 倍 (200%)、1/2 倍 (50%)、1/10 倍 (10%) に変えた 4 段階のわさびの濃度別試料を調製した。人間のにおいの感覚 (知覚強度) は、においの濃度の対数に比例すると考えられている⁵⁸⁾ ため、知覚強度で判別できる範囲を想定した 4 段階の濃度を設定した。

Table 2.2.1 にわさびの添加量 (w/v%) 別試料の構成材料と試料記号を、Fig.2.2.1 に試料調製手順を示した。

各試料は、ビーカーの口をパラフィルムで覆い、5℃の冷蔵庫で10分間保持し、常温（20±2℃）で20分間室温放置した後、実験に供した。

Table 2.2.1 わさびの添加量別試料の構成材料と試料記号

わさび添加量(w/v%)	わさび+煮干し	わさび+煮干し とろみ剤 t	わさび+煮干し とろみ剤 k	
基準	0.250	W	Wt	Wk
1/2倍	0.125	W (1/2)	Wt (1/2)	Wk (1/2)
1/10倍	0.025	W (1/10)	Wt (1/10)	Wk (1/10)
2倍	0.500	-	Wt (2)	Wk (2)

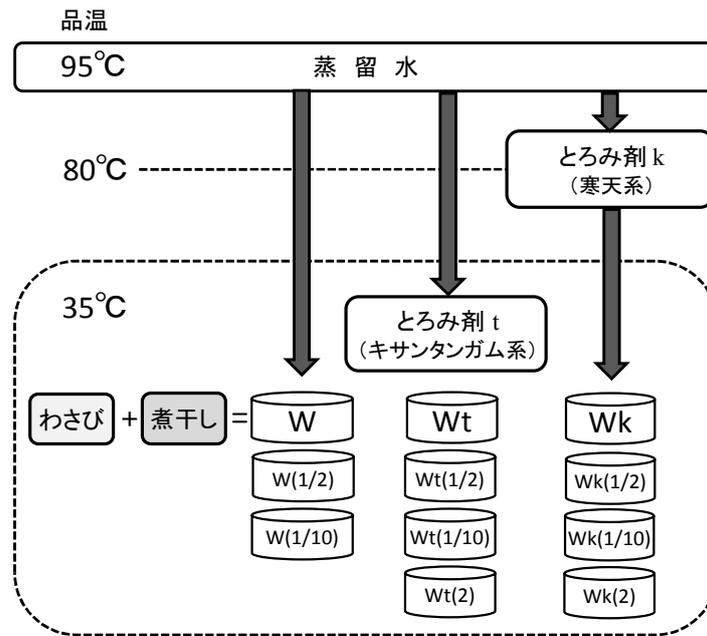


Fig.2.2.1 におい測定用試料の調製手順

わさび+煮干し (W) と W にとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した試料 (Wt ・ Wk) のわさび量のみを変化させて試料を調製した。

<p>W : わさび基準+煮干し; W(1/2) : わさび1/2 +煮干し; W(1/10): わさび1/10+煮干し</p>	<p>Wt : わさび基準+煮干し+とろみ剤t; Wt(1/2) : わさび1/2 +煮干し+とろみ剤t; Wt(1/10): わさび1/10+煮干し+とろみ剤t; Wt(2) : わさび2倍 +煮干し+とろみ剤t</p>	<p>Wk : わさび基準+煮干し+とろみ剤k; Wk(1/2) : わさび1/2 +煮干し+とろみ剤k; Wk(1/10): わさび1/10 +煮干し+とろみ剤k; Wk(2) : わさび2倍 +煮干し+とろみ剤k</p>
--	--	---

2.2.3 測定方法

第1章の測定方法に準じて、におい識別装置と官能評価により食品全体のおおいの強さと質を評価し、GC-MSによりわさびの主要香気成分 AITC の量を分析した。これら測定には、上記の調製試料を用いて、室温での喫食直前を想定した静置試料と、口腔内での咀嚼を想定した圧縮を加えた模擬咀嚼試料とを実験に供した。

最初に、わさびの添加量の異なる基準、1/2、1/10 の3試料の比較により、わさびの添加量と香気フレーバーリリース量の相関を把握した。次に、わさびの添加量2倍試料を加えた AITC 量の分析により、わさびの最適添加量の検討を試みた。詳細な測定方法を以下に記す。

(1) 静置試料のおおいの測定

(i) におい識別装置

1.2.3 (1) (i) と同様、におい識別装置 (FF-2A) と解析ソフトウェア (Asmell) を用いて、絶対値表現解析のスタンダードモードにより、においの強さと質を評価した。

測定試料は、とろみ剤無添加試料 W、とろみ剤添加試料 Wt および Wk 各々のわさびの添加量基準、1/2、1/10 の計9試料とし、測定方法および測定条件は、1.2.3 (1) (i) に準じて行った。

また、とろみ剤添加試料 Wt のわさび添加量2倍試料についても、同様の方法で測定した。

(ii) 官能評価

(a) わさびの添加量、基準、1/2 倍、1/10 倍のにおいの評価

キサントランガム系とろみ剤添加試料 Wt の口に入れる前と口に入れた後の、煮干しおよびわさびのにおいの強さを分析型 7 段階評点法で官能評価した。なお、におい識別装置の臭気指数相当値の結果より、キサントランガム系とろみ剤添加試料 Wt と寒天系とろみ剤添加試料 Wk のにおいの変化に顕著な差はみられなかったことに加え、近年、用いられているとろみ剤の主原料がグァーガムやキサントランガムを主流にしている⁵⁹⁾ ことから判断して、官能評価用試料にはキサントランガム系とろみ剤添加試料 Wt を採用した。わさびの添加量を変えた 3 試料 Wt、Wt (1/2)、Wt (1/10) を各 2.0g ずつシャーレ (φ 30mm) に採取しパラフィルムで覆い、室温 (22 ± 2°C) のオーブンブースで 3 試料を同時に提供し、その内の一つを基準 (0 : ふつう) と定めて、基準との比較により他の 2 試料のにおいの強さを 7 段階評点法で評価した。口に入れてからの時間は特に指定せず、評価項目は以下の 5 項目、①口に入れる前の煮干しのにおい、②口に入れる前のわさびのにおい、③口に入れた後の煮干しのにおい、④口に入れた後のわさびのにおい、⑤全体的なにおいとした。においの判定基準は 7 段階の数字 (-3、-2、-1、0、+1、+2、+3) で評価し、評価用紙には -3 : 弱い、0 : ふつう、+3 : 強い の尺度の言語ラベルを付記した。パネルは、摂食機能の正常な 20~60 歳代の女性 (非喫煙) で、官能評価について教育を受けた本学栄養学専攻の学生を含む調理科学研究室員と

し、実施に当たり官能評価の目的と方法を説明後、同意し参加した 13 名である。官能評価用紙を Fig.2.2.2 (a) に示す。

(b) とろみ剤無添加のわさび量基準試料とキサンタンガム系とろみ剤添加のわさび量 2 倍試料のにおいの評価

わさびの濃度別試料の AITC 量の結果より、とろみ剤無添加のわさび量基準試料 W とキサンタンガム系とろみ剤添加のわさび量 2 倍試料 Wt (2) に有意差が認められなかったことから、試料 W と Wt (2) の口に入れる前と口に入れた後の煮干しおよびわさびのにおいの強さを、においの強さの 6 段階表示法を用いて、分析型評点法で官能評価した。

とろみ剤無添加のわさび量基準試料 W とキサンタンガム系とろみ剤添加のわさび量 2 倍試料 Wt(2) の 2 試料を各 2.0g ずつシャーレ (φ 30mm) に採取しパラフィルムで覆い、室温 (22±2℃) のオーブンブースで 2 試料を同時に提供し、2 試料のにおいの強さをにおいの強さの 6 段階表示法で評価した。口に入れてからの時間は特に指定せず、評価項目は以下の 4 項目、①口に入れる前の煮干しのにおい、②口に入れる前のわさびのにおい、③口に入れた後の煮干しのにおい、④口に入れた後のわさびのにおいとした。においの判定基準は 0 から 5 までの 6 段階の数字で評価し、評価用紙には 0 : 無臭、1 : 何のにおいか解らないが、やっとかすかに感じられる程度、2 : 何のにおいか判別できる (わさびまたは煮干しの) 弱いにおい、3 : (わさびまたは煮干しの) 楽に感じるにおい、4 : (わさびまたは煮干しの) 強いにおい、5 : 耐えられないほど (わさびまたは煮干しの) 強いにおいの尺度の言

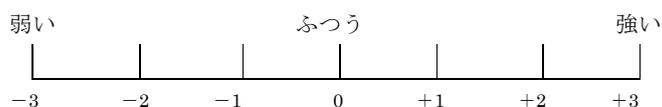
語ラベルを付記した。パネルは、摂食機能の正常な 20 歳代の女性（非喫煙）で、官能評価について教育を受けた本学栄養学専攻の学生を含む食品衛生学研究室員とし、実施に当たり官能評価の目的と方法を説明後、同意し参加した 12 名である。官能評価用紙を Fig.2.2.2 (b) に示す。

倫理的配慮は、1.2.3 (1) (ii) 同様、倫理審査を申請し承認された（東京家政大学大学院倫理審査第 1 号 承認番号 H27-22）。研究参加者には、研究目的や方法、参加は個人の自由意志であることを説明し、書面による同意を得た。

官能評価

性別（男・女） 年齢（ 才）

「煮干し」「わさび」に「とろみ調整剤」を加えた試料を3種類用意しました。
Sを基準（0：ふつう）にし、下の判定基準に従い-3から+3までの数字で
評価を記入してください。



口に入れる前のおい

項目 \ 試料	判定基準	N	J
1. 煮干しのおい	(-3 弱い ~ +3 強い)		
2. わさびのおい	(-3 弱い ~ +3 強い)		

口に入れてからのおい

項目 \ 試料	判定基準	N	J
3. 煮干しのおい	(-3 弱い ~ +3 強い)		
4. わさびのおい	(-3 弱い ~ +3 強い)		

総合評価

項目 \ 試料	判定基準	N	J
5. 全体的なおい	(-3 悪い ~ +3 良い)		

その他、お気づきの点がありましたらご記入ください。

Fig.2.2.2 (a) 官能評価用紙

わさび+煮干し (W) にとろみ剤 t (キサンタンガム系) を添加した試料 (Wt) の
わさび基準量、1/2 倍量、1/10 倍量のおいの強さを比較した。

官能評価

氏名： _____ 年齢（ ____ 歳）
性別（男・女） / 喫煙（有・無） いずれかに○印

二つの試料 417 と 835 は、「煮干し」と「わさび」を溶かしたものです。

(1) 最初に、口に入れる前に、においを嗅いで、「わさび」のにおいと「煮干し」のにおいの強さを、それぞれ下の強度指数の数字（0～5）で評価してください。

(2) 次に、どちらか片方の試料を全て口に入れ、1秒につき1回の速さで10回嚙んでから飲み込み、「わさび」のにおいと「煮干し」のにおいの強さを、それぞれ強度指数の数字（0～5）で評価してください。口をゆすいでから、もう片方の試料も同様に評価してください。嚙んでいる途中で、一部、自然に飲み込んでしまう場合は構いませんが、必ず、10回嚙んだ後に全て飲み込み、評価してください。

においの強さの6段階表示法	強度指数
無臭	0
何のにおいか解らないが、やっとかすかに何かのにおいを感じる	1
「わさび」または「煮干し」のにおいを判別できる程度の弱いにおい	2
「わさび」または「煮干し」のにおいを楽に感じる	3
「わさび」または「煮干し」のにおいを強く感じる	4
「わさび」または「煮干し」のにおいを耐えられないほど強く感じる	5

(1) 口に入れる前のにおい

項目 \ 試料	417	835
「煮干し」のにおい		
「わさび」のにおい		

(2) 口に入れた後のにおい

項目 \ 試料	417	835
「煮干し」のにおい		
「わさび」のにおい		

その他、お気づきの点がありましたらご記入下さい。

Fig.2.2.2 (b) 官能評価用紙

わさび+煮干しのわさび基準量 (W) と、Wにとろみ剤 t (キサンタンガム系) を添加したわさび 2 倍量 (Wt (2)) のにおいの強さを比較した。

(iii) GC-MS

GC-MS (Agilent 7890A GC/Agilent 5975C MSD : アジレント・テクノロジー (株) 製) を用いた SPME 法で、わさびの主要香気成分 AITC のヘッドスペース中の量を分析し、そのピーク面積の積分値を比較した。測定試料は、とろみ剤無添加試料 W のわさびの添加量、基準、1/2、1/10 の 3 試料、とろみ剤添加試料 Wt および Wk 各々のわさびの添加量、基準、1/2、1/10、2 倍の 8 試料の合計 11 試料とし、各 6.0g ずつをシャーレ (φ 30mm) に採取しバッグ内に入れ、窒素ガスで充填した直後に SPME ファイバー (85 μ m CAR/PDMS : SIGMA-ALDRICH 社製) を挿入して、常温 (20±2℃) で 60 分間香気成分を吸着させたものを分析に供した。分析条件は、1.2.3 (1) (iii) に準じて行った。

(2) 模擬咀嚼試料のにおいの測定

模擬咀嚼試料のにおいの変化を、におい識別装置と GC-MS を用いて分析し、静置試料と比較した。詳細な測定方法を以下に記す。

(i) におい識別装置による測定

測定試料は、とろみ剤添加試料 Wt および Wk 各々のわさび添加量、基準、1/2、1/10 の計 6 試料とし、測定方法および測定条件は 1.2.3 (2) (i) に準じて行った。

また、とろみ剤添加試料 Wt のわさび添加量 2 倍試料についても、同様の方法で測定した。

(ii) GC-MS

測定試料は、とろみ剤添加試料 Wt および Wk 各々のわさ

びの添加量、基準、1/2、1/10、2倍の計8試料とし、各6.0gずつをシャーレ(φ30mm)に採取しバッグ内に入れて密閉し、バッグ外側よりレオナーを用いて一次元の連続圧縮試験を実施した。その直後にバッグ内を窒素ガスで充填してSPMEファイバーを挿入し、常温(20±2℃)で60分間香気成分を吸着させたものをGC-MS分析に供し、観測されるAITCピーク面積の積分値を比較した。分析条件は静置試料と同条件とした。

2.2.4 統計処理

におい識別装置の類似度および臭気寄与以外の各測定値は、平均値±標準偏差で表わし、SPSS Ver.20を用いて一元配置分析の分散分析を行った。その後の検定では、TukeyのHSDによる多重比較を行い有意水準5%で検定した。

2.3 結果および考察

2.3.1 食品全体のおいの変化

におい識別装置と官能評価の結果より、食品全体のおいを総合的に評価した。

(1) におい識別装置による結果

におい識別装置によるおいの評価を、臭気指数相当値から得られるおいの強さと、類似度および臭気寄与で判定されるおいの質とで示した。

Fig.2.3.1にわさびの添加量別各試料の臭気指数相当値を示した。とろみ剤添加の有無や静置および模擬咀嚼の違いにかかわらず、わさびの添加量の減少に伴い臭気指数相当値は有

意 ($p < 0.05$) に減少した。また、わさびの添加量別に臭気指数相当値を比較すると、とろみ剤添加試料 (Wt・Wk) はとろみ剤無添加試料 W に比べて、基準、1/2、1/10 いずれのわさびの添加量においても、有意 ($p < 0.05$) に低い値を示した。とろみ剤添加により食品全体のおいさが弱まることは、第 1 章で確認されているが、わさびの添加量を 1/2 および 1/10 に減らした場合においても同様の結果が示された。

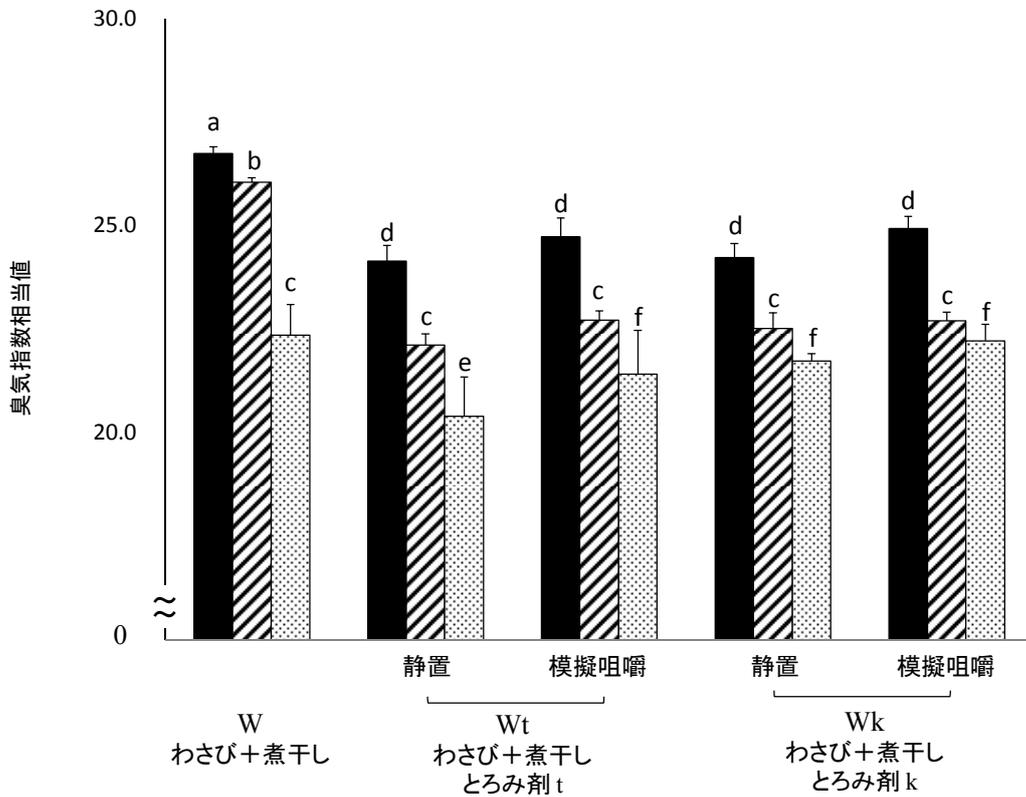
臭気指数相当値は、臭気指数に相当する尺度を示すもので、臭気指数は、そのにおいを無臭空気希釈し、無臭になるまでの希釈倍率 (臭気濃度) の対数を取り 10 倍したものと定義されている⁶⁰⁾。臭気濃度は基本的には臭気物質の濃度に正比例するが、Weber-Fechner の法則⁵⁸⁾によると、人間のにおいの感覚 (知覚強度) はにおいの濃度の対数に比例すると考えられている。そこで、わさびの濃度差と感覚的なにおいの強さ (臭気指数相当値) を、尺度を揃えて比較するために、わさびの濃度 (%) を臭気指数相当値に置き替えた。即ち、(1) 式の計算により、わさびの濃度別の臭気指数相当値をそれぞれ、基準量 (100%) = 20、1/2 倍量 (50%) = 17、1/10 倍量 (10%) = 10 とし、各試料の臭気指数相当値と比較した。

$$\text{わさび濃度の臭気指数相当値} = \log \text{わさび濃度} (\%) \times 10 \quad (1)$$

その結果、わさび濃度の臭気指数相当値の比 (20 : 17 : 10) に対して、各試料の臭気指数相当値の比率 (基準量 : 1/2 倍

量：1/10 倍量）は、とろみ剤無添加試料 W で 27：26：22、キサントガン系とろみ剤添加試料 Wt の静置試料で 24：22：20、模擬咀嚼試料で 25：23：21、寒天系とろみ剤添加試料 Wk の静置試料で 24：23：22、模擬咀嚼試料で 25：23：22 であり、Weber-Fechner の法則に従うと、わさびの添加濃度の基準量と 1/10 倍量の間を生じるにおいの差は感覚的に 2 倍あると考えられるが、各試料の臭気指数相当値の基準量と 1/10 倍量の差は 1.1～1.2 倍と顕著に小さい値を示した。このことより、感覚的なにおいの強さ（臭気指数相当値）は、わさびの濃度に依存しないと考えられた。

また、GC-MS によるわさびの濃度別試料の AITC 量の結果より、とろみ剤無添加のわさび量基準試料 W とキサントガン系とろみ剤添加のわさび量 2 倍試料 Wt (2) に有意差が認められなかったことから、同試料の食品全体のおいの強さを、臭気指数相当値で検証した結果 (Fig.2.3.2)、同様の結果が得られた。



a ~ f 異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

Fig.2.3.1 わさびの添加量別試料のにおいの強さの比較

わさび+煮干し (W) と、W にとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した Wt・Wk それぞれの、静置試料および模擬咀嚼試料のわさびの添加量のみを基準量、1/2 倍量、1/10 倍量に変えて、におい識別装置の臭気指数相当値で、においの強さを比較した。 (n=3)

わさび基準量；
 わさび 1/2 倍量；
 わさび 1/10 倍量

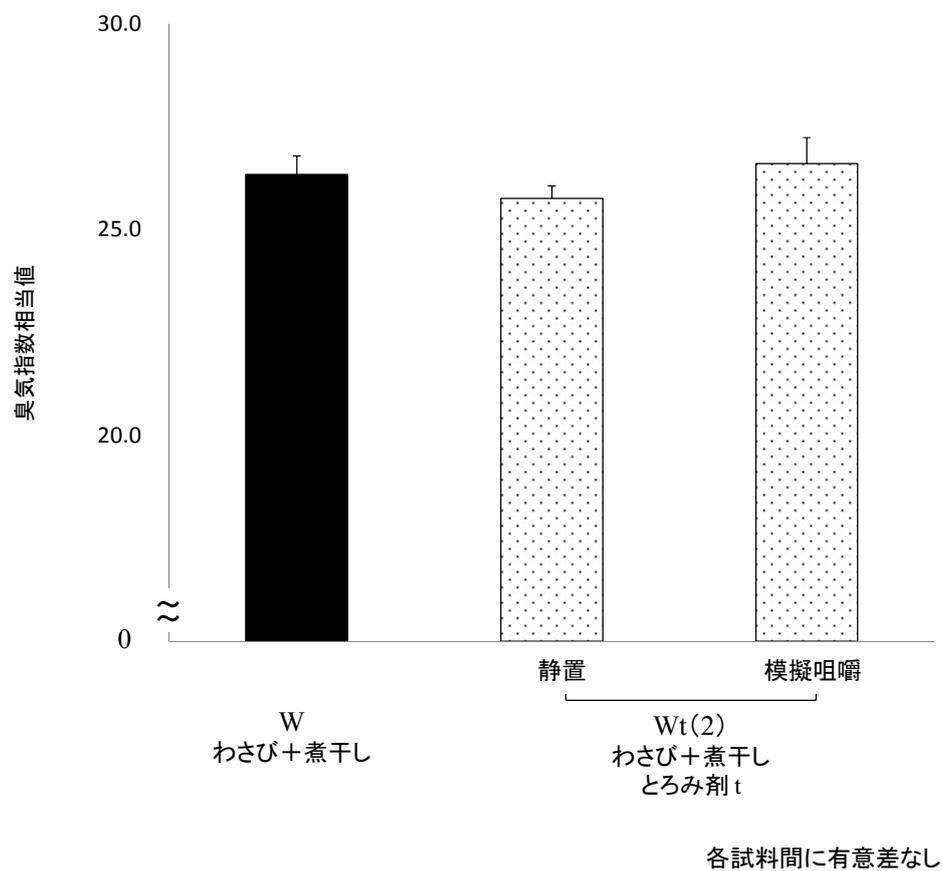


Fig.2.3.2 わさびの添加量別試料 W と Wt(2) における強さの比較

わさび+煮干しのわさび基準量 (W) と、W にとろみ剤 t (キサンタンガム系) を添加したわさび 2 倍量 (Wt (2)) の静置試料および模擬咀嚼試料のにおいの強さをにおい識別装置の臭気指数相当値で比較した。 (n=3)

- わさび+煮干しのわさび基準量 (W) ;
- (点線) わさび+煮干し+とろみ剤 t のわさび 2 倍量 (Wt (2))

Table 2.3.1 にわさびの添加量別試料の類似度の結果を示す。とろみ剤添加の有無や静置および模擬咀嚼の違いにかかわらず、わさびの添加量の異なる各試料間に 10% 以上の差のある系統が複数みられることから、食品全体のおいひの質に差があると判定した。また、わさびの添加量毎に差のある系統数が最も多いとろみ剤無添加試料 W は、おいひの質の差が最も大きいと考えられた。系統別にみると、エステル系はとろみ剤無添加試料 W においひのみ差がみられ、芳香族系はとろみ剤無添加試料 W およびとろみ剤添加試料 Wk に差が認められた。

Table 2.3.2 にわさびの添加量別試料の臭気寄与の結果を示す。とろみ剤添加の有無や静置および模擬咀嚼の違いにかかわらず、わさび量基準と 1/10 試料の間で 3 以上の差のある系統が二系統以上あることから、人間の嗅覚で十分識別できる程度においひの質に差があると判定した。わさび量基準と 1/2 試料の間では、とろみ剤添加試料 (Wt・Wk) においひのみ差がみられ、1/2 と 1/10 試料の間では、とろみ剤無添加試料 W およびとろみ剤添加試料 Wt で差が認められた。静置と模擬咀嚼の比較では、とろみ剤添加試料の Wt と Wk 共に模擬咀嚼においひのみ炭化水素系で差が認められた。また、類似度の結果同様、わさびの添加量毎に差のある系統数が最も多いとろみ剤無添加試料 W は、おいひの質の差が最も大きいと考えられた。即ち、わさびの添加量を 1/2 および 1/10 に減らした場合の食品全体のおいひの質の差は、とろみ剤を添加することで小さくなると推察された。

また、すべての試料において硫黄系、アミン系、アルデヒ

ド系、エステル系、芳香族系のわさび量基準と 1/10 試料の間で、わさびの添加量の減少に伴い臭気寄与は減少した。谷本らは、煮干しいわしの香气成分としてアルコール類 14 成分、アルデヒド類 20 成分、ケトン類 13 成分、炭化水素類 22 成分、その他の揮発性化合物 8 成分の計 77 成分を同定しており、その中でアルデヒド類は全体の 29~66% を占める主要な成分で、煮干しいわしの香气に大きく関与している⁶¹⁾と推定している。また、本実験で使用したにおい識別装置のアミン系の基準臭物質はトリメチルアミンであり、煮干しの特徴的な香气成分である⁶²⁾。これらのことから推察すると、におい識別装置の 9 種類の基準ガスは必ずしもその系統の化合物が含まれているわけではない⁶³⁾が、アルデヒド系とアミン系の臭気寄与の変化より、においの質の変化に煮干しのにおいが寄与している可能性が示唆された。

類似度および臭気寄与の結果を総合的に考察すると、とろみ剤添加の有無やとろみ剤の種類別、静置および模擬咀嚼の違いにより、差のある系統の種類や数が異なることから、わさびの添加量の違いによるにおいの質の変化は、各試料毎に異なることが推察された。

においの濃度を変えると、においの強さだけでなく質も変化する⁵⁸⁾ことは一般的に知られているが、本実験試料のように複数の食材が混在したとろみ剤添加食品においても、一食材（本実験ではわさび）の濃度を変えることで、食品全体のにおいの強さおよび質に変化を及ぼすことが確認された。

Table 2.3.1 わさびの添加量別の静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質（類似度）の比較

試験	基準ガス									
	硫化水素	硫黄系	アンモニア	アミン系	有機酸系	アルデヒド系	エステル系	芳香族系	炭化水素系	
W わさび 煮干し	基準	6.5 ± 0.4	44.5 ± 2.3	7.8 ± 0.4	53.9 ± 1.2	8.8 ± 0.2	36.3 ± 1.5	64.2 ± 0.8	81.0 ± 1.6	68.0 ± 2.0
	1/2	7.1 ± 0.5	66.6 ± 5.0	8.7 ± 0.5	61.3 ± 2.5	18.5 ± 5.2	55.2 ± 3.1	75.4 ± 0.9	72.2 ± 2.4	66.6 ± 4.1
	1/10	59.1 ± 7.9	71.2 ± 5.0	37.9 ± 5.6	55.9 ± 6.5	64.6 ± 11.8	73.9 ± 10.4	77.3 ± 2.4	59.4 ± 0.7	43.4 ± 7.3
Wt わさび 煮干し とろみ剤 t	基準	14.2 ± 2.5	71.8 ± 2.6	17.8 ± 2.8	64.8 ± 1.6	55.4 ± 4.3	71.2 ± 1.4	79.3 ± 1.9	61.3 ± 1.7	39.8 ± 2.0
	1/2	41.8 ± 14.8	66.8 ± 9.4	22.8 ± 11.2	48.6 ± 5.0	51.5 ± 16.3	63.0 ± 13.0	79.2 ± 2.9	62.6 ± 1.5	52.1 ± 6.5
	1/10	62.6 ± 9.6	71.5 ± 4.5	53.3 ± 14.6	44.3 ± 6.4	65.6 ± 13.3	72.4 ± 10.5	79.4 ± 2.0	63.0 ± 1.7	57.6 ± 6.6
模擬咀嚼	基準	9.2 ± 0.5	76.3 ± 3.5	11.1 ± 1.7	66.7 ± 1.6	50.2 ± 5.4	69.6 ± 1.3	80.0 ± 2.6	64.9 ± 1.1	43.0 ± 4.1
	1/2	36.8 ± 14.2	68.5 ± 5.2	16.9 ± 7.3	54.1 ± 3.6	54.9 ± 11.0	66.6 ± 8.1	80.5 ± 2.1	62.1 ± 0.7	46.1 ± 5.7
	1/10	58.6 ± 17.4	68.4 ± 6.0	41.9 ± 21.4	49.6 ± 7.6	61.7 ± 16.9	70.1 ± 13.7	76.9 ± 2.8	61.1 ± 0.7	51.0 ± 7.1
Wk わさび 煮干し とろみ剤 k	基準	15.5 ± 6.1	71.7 ± 4.0	13.0 ± 3.6	64.1 ± 1.3	53.4 ± 5.1	69.0 ± 3.5	78.7 ± 4.2	64.4 ± 1.2	41.2 ± 2.6
	1/2	48.8 ± 3.1	77.1 ± 1.5	38.7 ± 3.1	51.8 ± 2.0	61.3 ± 4.7	66.8 ± 3.0	81.2 ± 1.8	83.6 ± 1.9	55.1 ± 3.3
	1/10	85.9 ± 3.9	78.2 ± 0.8	78.7 ± 2.0	47.9 ± 1.7	62.1 ± 2.7	66.4 ± 2.1	80.1 ± 1.7	82.1 ± 1.7	60.8 ± 2.4
模擬咀嚼	基準	9.0 ± 0.5	77.1 ± 2.7	9.6 ± 0.2	66.4 ± 1.2	46.2 ± 4.5	66.9 ± 3.3	78.3 ± 4.2	65.8 ± 1.0	44.7 ± 2.9
	1/2	42.7 ± 8.2	74.1 ± 2.1	34.0 ± 8.9	54.0 ± 1.6	57.6 ± 5.6	64.0 ± 4.1	79.4 ± 1.9	82.9 ± 1.8	54.3 ± 2.5
	1/10	82.3 ± 4.6	75.2 ± 2.4	72.1 ± 6.1	50.6 ± 3.7	58.2 ± 6.9	62.9 ± 5.6	78.4 ± 1.7	81.7 ± 1.6	57.5 ± 4.5

平均値 ± 標準偏差 (n=3)

* (財) 日本食品分析センターの手法により、試験ごとの基準ガス（系統）別のわさび量（基準、1/2、1/10）の間に10%以上の差があることを示す。

わさび+煮干し試験（W）と、それぞれにとろみ剤 t（キサンタンガム系）およびとろみ剤 k（寒天系）を添加した静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質を、におい識別装置による類似度で比較した。

Table 2.3.2 わさびの添加量別の静置試験および模擬咀嚼試験のにおいの質（臭気寄与）の比較

試験	基準ガス わさび量		硫化水素	硫黄系	アンモニア	アミン系	有機酸系	アルデヒド系	エステル系	芳香族系	炭化水素系
	基準	1/10									
W わさび 煮干し	基準	15.9 ± 0.6	20.2 ± 0.2	0.0 ± 0.0	19.5 ± 0.1	15.7 ± 0.1	20.7 ± 0.2	14.3 ± 0.1	15.9 ± 0.2	12.8 ± 0.2	
	1/2	11.3 ± 1.1	19.3 ± 0.2	0.0 ± 0.0	19.1 ± 0.1	17.9 ± 1.2	20.2 ± 0.2	13.7 ± 0.2	12.6 ± 0.7	10.4 ± 0.6	
	1/10	0.0 ± 0.0	1.3 ± 1.1	0.0 ± 0.0	15.2 ± 0.9	20.6 ± 0.7	10.9 ± 2.5	8.5 ± 1.4	1.7 ± 1.3	0.0 ± 0.0	
Wt わさび 煮干し とろみ剤 t	基準	4.0 ± 1.5	10.2 ± 3.6	0.0 ± 0.0	17.3 ± 0.4	21.2 ± 0.2	15.9 ± 0.9	11.2 ± 0.5	6.1 ± 0.8	2.3 ± 1.2	
	1/2	0.0 ± 0.0	3.8 ± 4.7	0.0 ± 0.0	15.1 ± 0.5	19.8 ± 0.9	11.8 ± 1.8	9.5 ± 1.3	2.9 ± 2.7	1.3 ± 1.9	
	1/10	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	12.4 ± 1.5	19.3 ± 0.6	3.7 ± 4.6	4.3 ± 3.8	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
模倣咀嚼	基準	6.6 ± 2.6	14.0 ± 1.8	0.0 ± 0.0	17.9 ± 0.4	21.1 ± 0.2	17.1 ± 1.0	11.9 ± 0.6	7.7 ± 1.1	4.1 ± 1.5	
	1/2	0.0 ± 0.0	3.4 ± 1.9	0.0 ± 0.0	15.8 ± 0.3	20.4 ± 0.6	13.2 ± 0.9	10.0 ± 0.8	3.8 ± 1.5	1.1 ± 1.2	
	1/10	0.0 ± 0.0	1.3 ± 2.0	0.0 ± 0.0	14.0 ± 1.5	19.8 ± 0.7	7.3 ± 5.7	6.5 ± 4.0	1.4 ± 2.2	0.2 ± 0.4	
Wk わさび 煮干し とろみ剤 k	基準	4.0 ± 2.4	12.0 ± 2.0	0.0 ± 0.0	17.4 ± 0.3	21.1 ± 0.2	16.1 ± 0.8	11.3 ± 0.4	6.7 ± 1.0	2.8 ± 1.3	
	1/2	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	15.2 ± 0.6	20.7 ± 0.2	12.0 ± 1.7	9.1 ± 0.9	2.2 ± 1.7	0.0 ± 0.0	
	1/10	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.8 ± 0.1	14.2 ± 0.3	20.3 ± 0.1	9.2 ± 0.8	7.8 ± 0.4	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	
模倣咀嚼	基準	7.7 ± 1.6	15.2 ± 1.1	0.0 ± 0.0	18.1 ± 0.2	20.9 ± 0.3	17.5 ± 0.5	12.1 ± 0.3	8.4 ± 0.7	5.0 ± 1.0	
	1/2	0.0 ± 0.0	0.4 ± 0.4	0.0 ± 0.0	15.7 ± 0.3	20.7 ± 0.2	12.9 ± 0.9	9.5 ± 0.6	2.8 ± 2.0	0.1 ± 0.1	
	1/10	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	0.8 ± 0.1	15.0 ± 0.4	20.4 ± 0.4	11.5 ± 1.1	8.8 ± 0.6	1.6 ± 1.3	0.0 ± 0.0	

平均値 ± 標準偏差 (n=3)

* (財) 日本食品分析センターの手法により、試験ごとの硫化水素およびアンモニア以外の基準ガス（系統）別のわさび量（基準、1/2、1/10）の間に3以上の差があることを示す。

わさび+煮干し試験（W）と、それぞれにとろみ剤 t（キサントガム系）およびとろみ剤 k（寒天系）を添加した静置試験および模倣咀嚼試験のにおいの質を、におい識別装置による臭気寄与で比較した。

(2) 官能評価による結果

Table 2.3.3 (a) にわさびの添加量、基準、1/2、1/10 のキサンタンガム系とろみ剤添加試料 Wt の口に入れる前と口に入れた後の煮干しとわさびのにおいの官能評価結果を示す。口に入れる前のわさびのにおいは、わさび量 1/2 および 1/10 試料共に基準 (0 : ふつう) に比べて有意 ($p < 0.05$) に弱いと評価された。口に入れる前と口に入れた後の煮干しのにおいは、わさび量 1/2 および 1/10 試料共に基準との間に有意差は認められなかった。また、いずれの評価項目においても、わさび量 1/2 と 1/10 試料の間に有意差は認められなかった。

におい識別装置の結果を受け、キサンタンガム系とろみ剤添加試料 Wt におけるわさびの添加量の違いを、ヒトの感覚により評価したが、口に入れる前のわさびのにおい以外は、わさびの添加量の差は判別されなかった。

Table 2.3.3 (b) に、とろみ剤無添加のわさび量基準試料 W とキサンタンガム系とろみ剤添加のわさび量 2 倍試料 Wt(2) の口に入れる前と口に入れた後の煮干しとわさびのにおいの官能評価結果を示す。わさびのにおいにおいては、口に入れる前・後共に、試料 Wt (2) と試料 W との間に有意差は認められなかった。この結果は、とろみ剤無添加のわさび量基準試料 W とキサンタンガム系とろみ剤添加のわさび量 2 倍試料 Wt (2) の AITC 量に有意差が認められなかった GC-MS の結果と一致した。しかし、試料 Wt (2) の口に入れた後の煮干しのにおいは、試料 W の口に入れる前の煮干しのにおい、口に入れた後の煮干しのにおいのいずれと比較しても、有意

($p < 0.05$) に弱いと評価された。これらの結果より、とろみ剤を添加するとわさび自体の風味は弱まるが、魚の生臭さを抑えるマスキング効果（矯臭作用）に及ぼす影響は小さいことが示唆された。

Table 2.3.3 (a) わさびの添加量別試料 (Wt、Wt (1/2)、Wt (1/10)) の
 においの強さの官能評価結果

評価項目		わさび1/2+煮干し とろみ剤 Wt(1/2)	わさび1/10+煮干し とろみ剤 Wt(1/10)
口に入れる前	① 煮干しのにおい	0.05 ± 1.58	0.05 ± 1.79
	② わさびのにおい	-1.20 ± 1.15*	-1.34 ± 1.18*
口に入れた後	③ 煮干しのにおい	0.18 ± 1.48	0.14 ± 1.32
	④ わさびのにおい	-0.51 ± 1.27	-0.37 ± 1.16
総合評価	⑤ 全体的なにおい	-0.65 ± 1.16	-0.55 ± 1.16

平均値±標準偏差(n=13)

*わさび量基準「評点0」との間に有意差あり(p<0.05)

Table 2.3.3 (b) わさびの添加量別試料 (W、Wt (2)) のにおいの強さの
 官能評価結果

評価項目		わさび+煮干し W	わさび2倍+煮干し とろみ剤 Wt(2)
口に入れる前	① 煮干しのにおい	3.58 ± 0.67 ^a	2.92 ± 0.79
	② わさびのにおい	1.92 ± 1.51	2.58 ± 1.16
口に入れた後	③ 煮干しのにおい	3.25 ± 0.87 ^a	2.00 ± 1.13 ^b
	④ わさびのにおい	2.08 ± 0.90	3.08 ± 1.24

平均値±標準偏差(n=12)

a, b 異符号間に有意差あり(p<0.05)

2.3.2 わさびの香気成分 AITC の量の変化

GC-MS により、わさびの主要香気成分 AITC のヘッドスペース中の量を分析し、わさびの最適添加量を検討した。

Fig.2.3.3 にわさびの添加量別各試料の AITC 量を示す。とろみ剤無添加試料 W は基準、1/2、1/10 各試料間で、とろみ剤添加試料 Wt および Wk は 2 倍、基準、1/2 各試料間で、わさびの添加量の減少に伴い AITC の量は有意 ($p < 0.05$) に減少した。とろみ剤添加試料 Wt の 1/2 と 1/10 試料間に有意差が認められなかったことは、官能評価の結果と一致した。また、とろみ剤の種類別の比較では、キサンタンガム系とろみ剤添加試料 Wt は、寒天系とろみ剤添加試料 Wk に比べて、静置試料のわさび量 2 倍試料と基準試料、および模擬咀嚼試料のわさび量 1/2 試料で、有意 ($p < 0.05$) に低い値を示した。

香気フレーバーリリースの量は、食品に含まれている成分（水、炭水化物、タンパク質、脂質）が、フレーバー化合物を食品内部に引き止めようとする力が強ければ少なくなる⁶⁾と報告されており、その引き止めようとする力には科学的な結合として共有結合が、物理的な結合としてファンデルワールス力、水素結合、疎水性結合、イオン結合が挙げられる⁶⁾。とろみ剤 t の主原料であるキサンタンガムは、溶液中では側鎖が水素結合を介して固い剛直構造をとる⁵⁴⁾と報告されており、この固い剛直構造が AITC の保持に寄与している可能性が示唆された。また、とろみ剤 k の主原料である寒天の主成分アガロースは、水素結合により二重螺旋構造をとり網目構造を形成する⁵⁴⁾ことは知られているが、本実験に用いた

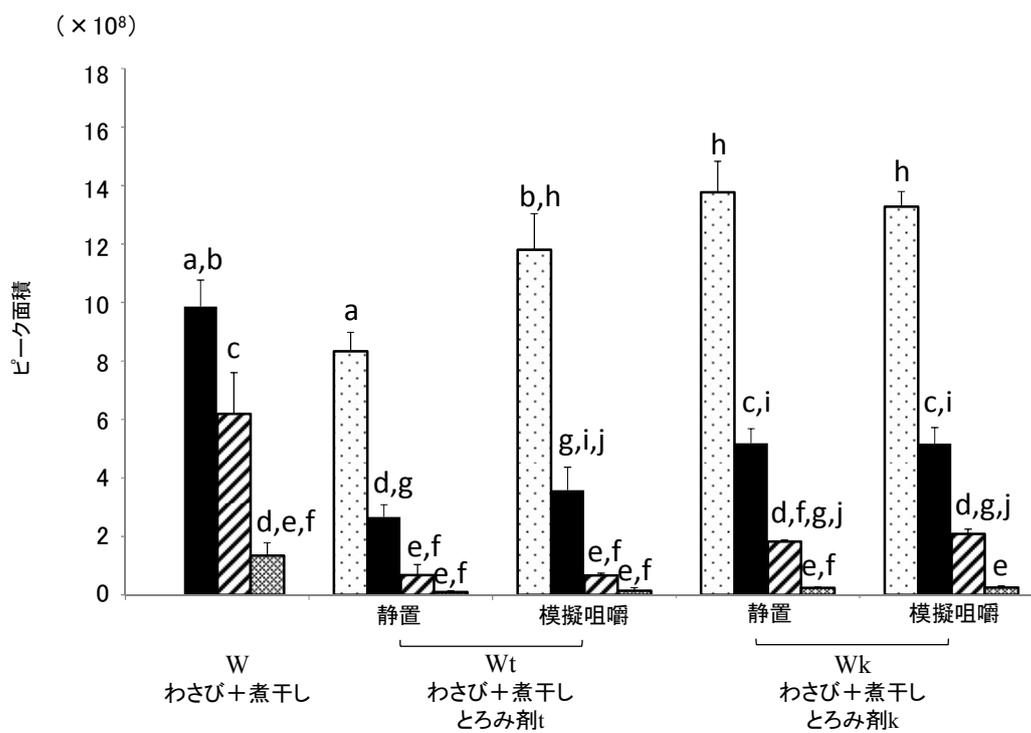
介護食用ウルトラ寒天は低強度寒天として開発されたもの⁶⁴⁾であることから、AITC を保持する力は一般的な寒天に比べて弱いことが推察される。

次に、AITC の量を、添加したわさびの濃度比 (%) で比較すると、わさび濃度の基準量 100% に対して、1/2 量は 50%、1/10 量は 10% となる。即ち、基準 : 1/2 : 1/10 = 100 : 50 : 10 という比率に対して、とろみ剤無添加試料 W のわさびの濃度別の AITC 量は 100 : 63 : 14、とろみ剤添加試料 Wt の静置試料は 100 : 25 : 3、模擬咀嚼試料は 100 : 18 : 4、Wk の静置試料は 100 : 35 : 5、模擬咀嚼試料は 100 : 45 : 5 であったことから、各試料の AITC の量はわさびの濃度に依存しないと考えられた。

これまでの結果より、食品全体における強さと AITC の量は、いずれもわさびの濃度に依存しなかったことから、わさびの濃度を基に最適添加量を予測することは困難であると判断した。そこで、食品全体における変化と連動していた AITC の量⁵⁷⁾に着目し、わさびの添加量を増やして AITC の量を観測し、最適添加量の目安を予測した。その結果、キサンタンガム系とろみ剤添加のわさび 2 倍量 (Wt (2)) と、とろみ剤無添加のわさび基準量 (W) の AITC 量に有意差は認められなかった。AITC の量が食品全体における変化と連動していたこれまでの知見に基づき、今回の実験結果からわさびの最適添加量を予測すると、とろみ剤無添加食品と同等のわさび風味を保持するためには、基準量の 2 倍が適量であると考えられた。今後、この量を一指標として、最適添加

量の検討をする必要がある。

これまでの先行研究では、市販とろみ剤添加の有無による香気成分の違いを比較した研究は少なく、更に、とろみ剤と固形食品および香辛料とを組み合わせた実践的研究は見当たらない。また、香辛料はごく僅かな量を用いるだけで食品に風味を与え、味を引き立てることから、食欲増進効果が期待でき²⁵⁾、咀嚼・嚥下困難者の QOL 向上に寄与できる食材と考える。今後、更なる実践的研究を重ね、とろみ剤添加食品をよりおいしく食するために、香辛料の添加方法を検討する必要がある。



a ~ j 異符号間に有意差あり ($p < 0.05$)

Fig.2.3.3 わさびの添加量別試料の AITC 量の比較

わさび+煮干し (W) と、W にとろみ剤 t (キサンタンガム系) およびとろみ剤 k (寒天系) を添加した試料 (Wt・Wk) それぞれの、わさびの添加量のみを 2 倍量、基準量、1/2 倍量、1/10 倍量に変えた静置試料および模擬咀嚼試料の AITC 量を GC-MS で測定し、ピーク面積の積分値を相対的に比較した。 ($n=3$)

 わさび 2 倍量；
  わさび基準量；
  わさび 1/2 倍量；
  わさび 1/10 倍量

2.4 小 括

第 1 章の結果より、とろみ剤を添加するとわさびのにおいは変化することから、矯臭作用を含めたわさび風味の変化が懸念された。そこで本章では、とろみ剤添加食品をおいしく食する工夫として、風味を損なわないわさびの最適添加量を検討した。その結果、キサンタンガム系とろみ剤添加食品において、とろみ剤無添加食品と同等のわさび風味を保持するためには、基準量の 2 倍が適量であると考えられた。

(1) 初めに、とろみ剤添加食品に加えるわさびの量を、基準量、1/2 倍量、1/10 倍量の 3 段階に分けて、わさびの添加量と香気フレーバーリリースの相関を把握した。

におい識別装置の結果より、においの強さはわさび量の減少に伴い有意 ($p < 0.05$) に減少したが、その減少率はわさびの濃度に依存しないと考えられた。また、わさび濃度の違いによる食品全体のおいひの質の変化は、とろみ剤を添加することで小さくなると推察された。官能評価の結果より、キサンタンガム系とろみ剤添加試料のわさび量を 1/2 および 1/10 に減らすと、口に入れる前のわさびのにおいは有意 ($p < 0.05$) に弱まると評価された。GC-MS の結果より、わさび量の減少に伴い AITC の量は有意 ($p < 0.05$) に減少したが、その減少率はわさびの濃度に依存しないと考えられた。

(2) これまでの結果より、食品全体のおいひの強さおよび AITC の量はわさびの濃度に依存しないことが明らかとなったため、わさびの濃度を基に最適添加量を予測することは困難であると判断した。そこで、AITC 量の観測によりわさび

の最適添加量の目安を予測した。GC-MSの結果より、キサントランガム系とろみ剤添加のわさび2倍量と、とろみ剤無添加のわさび基準量のAITC量に有意差が認められなかったことから、とろみ剤添加食品において、わさびの風味を保持する最適添加量の目安として、基準量の2倍が一指標になると考えられた。また、におい識別装置による臭気指数相当値（においの強さ）および官能評価の検証からも、同様の結果が得られた。

(3) わさびのマスキング効果については、官能評価の結果より、キサントランガム系とろみ剤添加試料のわさび量を2倍にすると、口に入れた後の煮干しにおいては有意 ($p < 0.05$) に弱まると評価されたことから、とろみ剤を添加するとわさび自体の風味は弱まるものの、魚の生臭さを抑えるマスキング効果（矯臭作用）に及ぼす影響は小さいことが示唆された。

第1章で考案した測定方法を用いて模擬咀嚼試料のにおいを測定し、喫食直前を想定した静置試料のにおいと併せて分析した結果、とろみ剤無添加食品と同等のわさび風味を保持できる、わさびの最適添加量の目安が提案できた。

第3章 とろみ調整剤の濃度および品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響

3.1 はじめに

前章までは、煮干し、わさび、とろみ剤の組み合わせによるモデル食材を用いて、喫食直前と喫食中の香気フレーバーリリースを分析し、風味を保持するわさびの最適添加量を提案した。本章では、より実践的な知見を得るため、とろみ剤の添加濃度および品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。

第1章、第2章では、室温での供食時を想定して香気フレーバーリリースを観測してきたが、病院や高齢者施設、在宅等の現場で調理された食品は、調理後直ちに喫食されることは稀であり、通常、一定の保存時間を経てから提供されている。また、わさびは幅広い温度帯の料理に用いられていることから、本章では、とろみ剤の品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討し、食品の温度特性に見合ったわさびの添加方法を探ることを目的とした。また、とろみ剤の濃度は、咀嚼・嚥下機能に合わせて分類されている³²⁾ことから、とろみ剤の添加濃度が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。

これまでに、市販のとろみ剤の濃度、温度、味と物性についての報告^{65,66)}はあるが、市販のとろみ剤と香辛料とを組み合わせ、添加濃度および品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した報告は、ほとんどない。

また、前章までは、におい識別装置と官能評価による食品全体のおいと、GC-MSによるわさびの主要香気成分 AITC の量の分析を併せて、においを総合的に評価したが、これまでの結果より、わさびの主要香気成分 AITC の量の変化が、食品全体のおいの変化と連動していたことから、本章では、AITC 以外のわさびの香気成分も指標に加え、各香気成分の量比により食品全体のおいの評価を試みた。

3.2 実験方法

3.2.1 実験材料

1.2.1 (2) (3) と同様のわさび、およびキサントガム系とろみ剤を用いた。前章までの結果より、キサントガム系と寒天系のとろみ剤の間に香気フレーバーリリースの顕著な差は見られなかったことから、本章では、近年、主流として用いられているキサントガム系のとろみ剤を用いた。

3.2.2 試料調製

上記食材を用いて、とろみ剤の濃度別・温度別試料を以下のように調製した。

蒸留水 20mL を 20mL 容のビーカーに入れ 35℃ まで加温し、わさび 0.05g (0.25 w/v%) とキサントガム系とろみ剤を加えて 2 回/秒の速さで 1 分間、手動攪拌し、ビーカーの口をパラフィルムで覆い常温 (20±2℃) で 30 分間放置した後、実験試料とした。とろみ剤濃度は、0.6g (3 w/v%)、0.8g (4 w/v%)、1.0 g (5 w/v%)、食品温度は 10℃、20℃、65℃ に設定した。

とろみ剤の濃度の設定は、学会分類 2013 (とろみ)³²⁾ を

参考に「中間のとろみ」に相当する 3 w/v%、「濃いとろみ」に相当する 4 w/v%、「濃いとろみ」よりも更に濃い 5 w/v% とした。食品温度は、HACCP システムの大量調理施設衛生管理マニュアル⁶⁷⁾の「調理後直ちに提供される食品以外の食品は、病原菌の増殖を抑制するために、10℃以下または 65℃以上で管理することが必要である。」を参考に、冷たくして食する食品を 10℃、常温で食する食品を 20℃、温かくして食する食品を 65℃と想定した。

3.2.3 測定方法

(1) 香気成分の測定

1.2.1 (1) (iii) に準じて、GC-MS を用いた SPME 法により、わさびの香気成分を分析した。

(i) 香気成分の抽出および同定

GC-Olfactometry を用いて感知された三つの香気成分 AITC、3-ブテニルイソチオシアネート (3-Butenyl isothiocyanate)、 β -フェネチルイソチオシアネート (β -Phenethyl isothiocyanate) を本実験におけるにおい評価の指標と定め、これら 3 成分のトータルイオンクロマトグラム (Total Ion Chromatogram : 以降 TIC と略称) と質量スペクトルを標準品と照合し、保持時間 (Retention Time : 以降 RT と略称) の一致も確認して同定した。

標準試薬 : AITC (イソチオシアン酸アリル : 純度 99%、特級 Lot. TLK 3821) は和光純薬 (株) 製、3-ブテニルイソチオシアネート (イソチオシアン酸 3-ブテニル 1-イル : 純度 95%、Lot. EVUVB-FC) は東京化成工業 (株) 製、 β -フェネ

チルイソチオシアネート（フェネチルイソチオシアン酸：純度 99%、Lot.MKBR2547V）は SIGMA-ALDRICH 製を用いた。

（ii）香気成分の測定

測定試料は、とろみ剤濃度 3 %、4 %、5 % の 3 試料を、それぞれ食品温度 10℃、20℃、65℃ の 3 品温に設定した計 9 試料を用いた。各試料を 6.0g ずつ 20mL のバイアルビンに入れ、SPME のファイバーをバイアルビンのヘッドスペースに挿入し、上記 3 種の温度に設定した恒温槽でおい成分を 30 分間静置状態で吸着させた後、GC-MS を用いた SPME 法で香気成分の質量分析を各試料それぞれ 3 回行った。

分析条件は 1.2.3 (1) (iii) に準じて行い、試料のピーク面積の積分値を相対的に比較した。

（iii）超音波の振動付加時の香気成分の測定

品温別試料の香気成分量の結果を受け、65℃ 試料で顕著な増加が認められた β -フェネチルイソチオシアネートの香気フレーバーリリースをより詳細に分析するため、物理的刺激として超音波の振動を加えた際の香気成分量を分析した。

測定試料は、とろみ剤濃度 3 % を用いて、試料名は第 1 章に準じて、わさびのみの試料を (P)、わさびにキサントガム系とろみ剤 (t) を加えた試料を (Pt)、Pt に超音波の振動を加えた試料を (Ptu) のように、() 内の記号で略記した。試料 P、Pt、Ptu の 3 試料を、それぞれ 20℃、40℃、65℃ の品温に設定した計 9 試料を用いて、各試料を 6.0g ずつ 50mL のバイアルビンに入れ、SPME のファイバーをバイアルビンのヘッドスペースに挿入し、試料 P および試料 Pt は、上記 3

種の温度に設定した恒温槽中での成分を 20 分間静置状態で吸着した。試料 Pt_u は、上記 3 種の温度に設定した超音波清浄器（発振周波数 42kHz、出力 80w、ASU-3：アズワン製）中で 20 分間、においを吸着した。その後、GC-MS を用いた SPME 法で香気成分の質量分析を各試料それぞれ 3 回行った。食品温度は、20℃ 試料との間に顕著な差が認められなかった 10℃ 試料は割愛し、新たに 40℃ 試料を加えた 3 品温に設定した。

(2) 物性の測定

(i) テクスチャー試験

とろみ剤の濃度別試料のテクスチャー特性を知るため、消費者庁のえん下困難者用食品表示の許可基準⁴⁷⁾ に準じてレオナー（RHEONER II CREEP METER RE2-33005S：山電（株）製）を用いてテクスチャー試験を実施し、得られた波形より代表的なテクスチャー特性値である硬さ、付着性、凝集性を求めた。測定試料は、3.2.3 (ii) 同様の 9 試料を用いた。

(ii) 動的粘弾性試験

品温別試料の香気分量の結果を受け、65℃ 試料の香気分量の変化に物性が関与していると推察し、動的粘弾性解析装置レオメーター（MARS II：HAAKE 製）、温度制御装置（C25P：HAAKE 製）を用いて、以下の条件で、動的粘弾性試験のひずみ依存性測定を行った。

測定試料は、初めに、とろみ剤濃度 3 %を用いて、10℃、20℃、65℃の恒温槽で 30 分間静置した 3 試料について、各温度を保持しながらひずみ依存性測定を行った。次に、各温

度別試料を 40℃に変化させた試料を用いて、ひずみ依存性測定を行った。口腔内に取り込まれた食品は、体温に近い 40℃に変化することを想定して、予め、レオメーターの測定温度を 40℃に設定して各温度別試料をプレートにはさみ、試料温度が 40℃になってから測定が始まるように機器設定をした。

測定条件は、平行プレート直径 35mm を用いて、プレートステージ間ギャップ 1mm、測定周波数 1Hz、測定ひずみ 0.01～10%、測定温度 10℃、20℃、65℃とし、各試料それぞれ 3～4 回測定した。

(3) 官能評価

分析型 5 段階評点法を用いて、とろみ剤濃度 3 % の品温別試料の口に入れる前後のにおいの強さとテクスチャーを官能評価した。品温別（10℃、20℃、65℃）の 3 試料を各 3.0g ずつプラスチック容器（φ 30mm）に採取し蓋をして、室温（20±2℃）のオーブンブースで 41、85、37 と明記した 3 試料を同時に提供し、一試料ずつ口に入れる前のにおいを評価し、次に、口に入れた後のにおいの強さおよびテクスチャーを評価した。試料ごとに全量口に入れ、1 回/秒の速さで 10 回、舌でつぶしてから飲み込むように指示をした。二つ目、三つ目の試料を評価する際は、その都度、口をゆすいで吐き出してから、次の試料を口に入れて評価した。舌でつぶしている途中、自然に飲み込んでしまった場合以外は、必ず 10 回、舌でつぶした後に、全て飲み込んでから評価を行った。

においの評価項目は、口に入れる前後共に以下の 4 項目、①ツーンと鼻に抜けるにおい、②青くさいにおい、③生のカ

ブのようなにおい、④全体のおいとした。①～③の評価項目については、日本加工わさび協会⁶⁸⁾の評価用語を参考にして、GC-Olfactometryで感知された三つのわさびの香気成分①AITC、②3-ブテニルイソチオシアネート、③ β -フェネチルイソチオシアネートの特徴的なにおいを言語に置き換えた。また、口に入れた後のテクスチャーの評価項目は、以下の3項目、⑤硬さ、⑥付着性、⑦凝集性とした。

判定基準は、1から5までの数字で評価した。評価用紙に付記した尺度の言語ラベルは、においの強さの場合、非常に弱い←1・2・3・4・5→非常に強いとし、テクスチャーの場合は、硬さ：非常に軟らかい←1・2・3・4・5→非常に硬い、付着性：べたつきにくい←1・2・3・4・5→べたつき易い、凝集性：まとまりにくい←1・2・3・4・5→まとまり易いとした。

パネルは、摂食機能の正常な20歳代の女性（非喫煙）で、官能評価について教育を受けた本学栄養学専攻の学生を含む食品衛生学研究室員とし、実施に当たり官能評価の目的と方法を説明後、同意し参加した20名である。官能評価用紙をFig.3.2.1に示す。

（4）舌圧測定

本研究の官能評価のパネルは、被験者の安全性を考慮して、本研究の対象である咀嚼・嚥下困難な高齢者ではなく、摂食機能の正常な20～60歳代の女性を対象に行った。また、先行研究^{69,70)}により食形態と舌圧の関係が明らかになっていることから、本章では、パネル選定の基準として舌圧測定を

取り入れた。

【舌圧の測定方法】

デジタル舌圧計 TPM-01 ((株) ジェイ・エム・エス製) を用いて、口腔外でバルーン内圧を所定圧に自動的に与圧後、バルーンを口腔内に挿入し、舌圧プローブを前歯で軽くはさんで固定し、唇を閉じ、舌を最大の力で口蓋皺壁に向けて挙上することで、バルーンを 5～7 秒間押し潰させた。これを一人につき 3 回繰り返し、その測定平均値を最大舌圧とした。

倫理的配慮は、1.2.3 (1) (ii) と同様、倫理審査を申請し承認された (東京家政大学大学院倫理審査第 1 号 承認番号 H28-1)。研究参加者には、研究目的や方法、参加は個人の自由意志であることを説明し、書面による同意を得た。

官能評価

氏名： _____ 年齢（ ____ 歳）
性別（男・女） / 喫煙（有・無） いずれかに○印

わさびの「におい」について、該当するものに○を付けてください。

1. 好 き 2. 嫌 い 3. どちらでもない

三つの試料 41 と 85 と 37 は、粉わさびを溶かした「とろみ調整剤添加食品」です。

まず初めに、口に入れる前の「におい」を評価してください。

各試料ごとに「におい」を嗅ぎ、「においの強さ」を 1～5 の数字で評価してください。

なお、試料ごとに容器のフタをしてから、次の試料を評価してください。

(1) 口に入れる前の「におい」

項目	試料	41	85	37
① ツーンと鼻に抜けるにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				
② 青くさいにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				
③ 生のカブのようなにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				
④ 全体のにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				

次に、口に入れた後の「テクスチャー」と「におい」を評価してください。

各試料ごとに全量口に入れ、1回/秒の速さで 10 回、舌でつぶしてから飲み込んでください。

二つ目、三つ目の試料を評価する際は、その都度、口をゆすいで吐き出してから、次の試料を口に入れて評価してください。舌でつぶしている途中、自然に飲み込んでしまった場合は仕方ありませんが、必ず 10 回、舌でつぶした後に、全て飲み込んでから評価を行なってください。

(2) 口に入れた後の「テクスチャー」

項目	試料	41	85	37
⑤ 硬 さ (非常に軟らかい ← 1・2・3・4・5 → 非常に硬い)				
⑥ 付着性 (べたつきにくい ← 1・2・3・4・5 → べたつき易い)				
⑦ 凝集性 (まとまりにくい ← 1・2・3・4・5 → まとまり易い)				

(3) 口に入れた後の「におい」

項目	試料	41	85	37
⑧ ツーンと鼻に抜けるにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				
⑨ 青くさいにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				
⑩ 生のカブのようなにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				
⑪ 全体のにおい (非常に弱い ← 1・2・3・4・5 → 非常に強い)				

その他、お気づきの点がありましたら、記入して下さい。ご協力、ありがとうございました。

Fig.3.2.1 官能評価用紙

わさびにとろみ剤 t(キサンタンガム系)を 3w/v% 添加した試料 (Pt) の、品温別 (10℃、20℃、65℃) のにおいとテクスチャーを比較した。

3.2.4 統計処理

上記の各測定値は、平均値±標準偏差で表わし、SPSS Ver.20 を用いて一元配置分析の分散分析を行った。その後の検定では、Tukey の HSD による多重比較を行い、有意水準 1% および 5% で検定した。

3.3 結果および考察

3.3.1 香気成分の評価

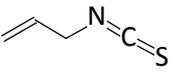
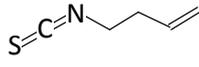
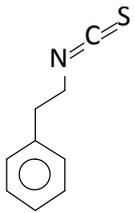
(1) GC-Olfactometry による香気成分の評価

GC-Olfactometry により、以下三つのわさびの香気成分が感知された。それぞれの化学構造を Table 3.3.1 に示す。

保持時間 (RT) 6.5 分で感知された AITC は、わさび、からし、大根などアブラナ科の植物に含まれる辛味成分で、わさびの主要香気成分として知られている⁷¹⁾。RT7.5 分の 3-ブテニルイソチオシアネートは、青くさい香気が感じられた。RT13.3 分の β -フェネチルイソチオシアネートは、生のカブのような香気を感知した。いずれも、既報^{71,72)} により報告されている西洋わさびの代表的な香気成分である。伊奈ら⁷³⁾ は、西洋わさびの根に含まれる主なイソチオシアネートの相対含有量で最も多い香気成分を AITC、2 番目に多い香気成分を β -フェネチルイソチオシアネートと報告している。

各香気成分の標準品と測定試料のトータルイオンクロマトグラム (TIC) と質量スペクトルを Fig.3.3.1~3.3.3 に示す。

Table 3.3.1 GC-Olfactometry により感知された、わさびの香気成分の化学構造

保持時間(RT) (min)	香気成分	分子式	分子量	構造式
6.5	アリルイソチオシアネート(AITC) (Allyl isothiocyanate)	C_4H_5NS	99.15	
7.5	3-ブテニルイソチオシアネート (3-Butenyl isothiocyanate)	C_5H_7NS	113.18	
13.3	β -フェネチルイソチオシアネート (β -Phenethyl isothiocyanate)	C_9H_9NS	163.24	

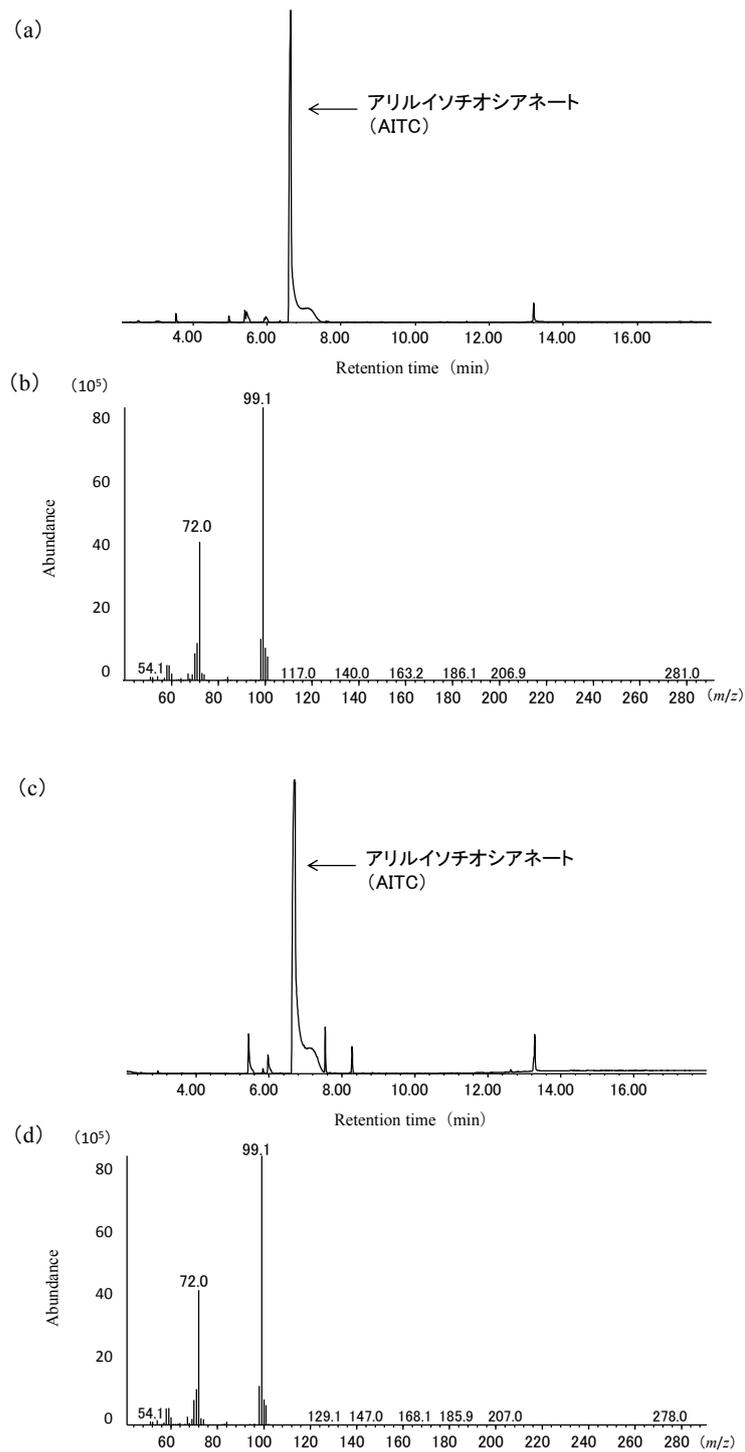


Fig.3.3.1 AITC のトータルイオンクロマトグラムと質量スペクトル

- (a) 標準品のトータルイオンクロマトグラム；
- (b) 標準品の質量スペクトル；
- (c) 試料のトータルイオンクロマトグラム；
- (d) 試料の RT6.5 分の質量スペクトル

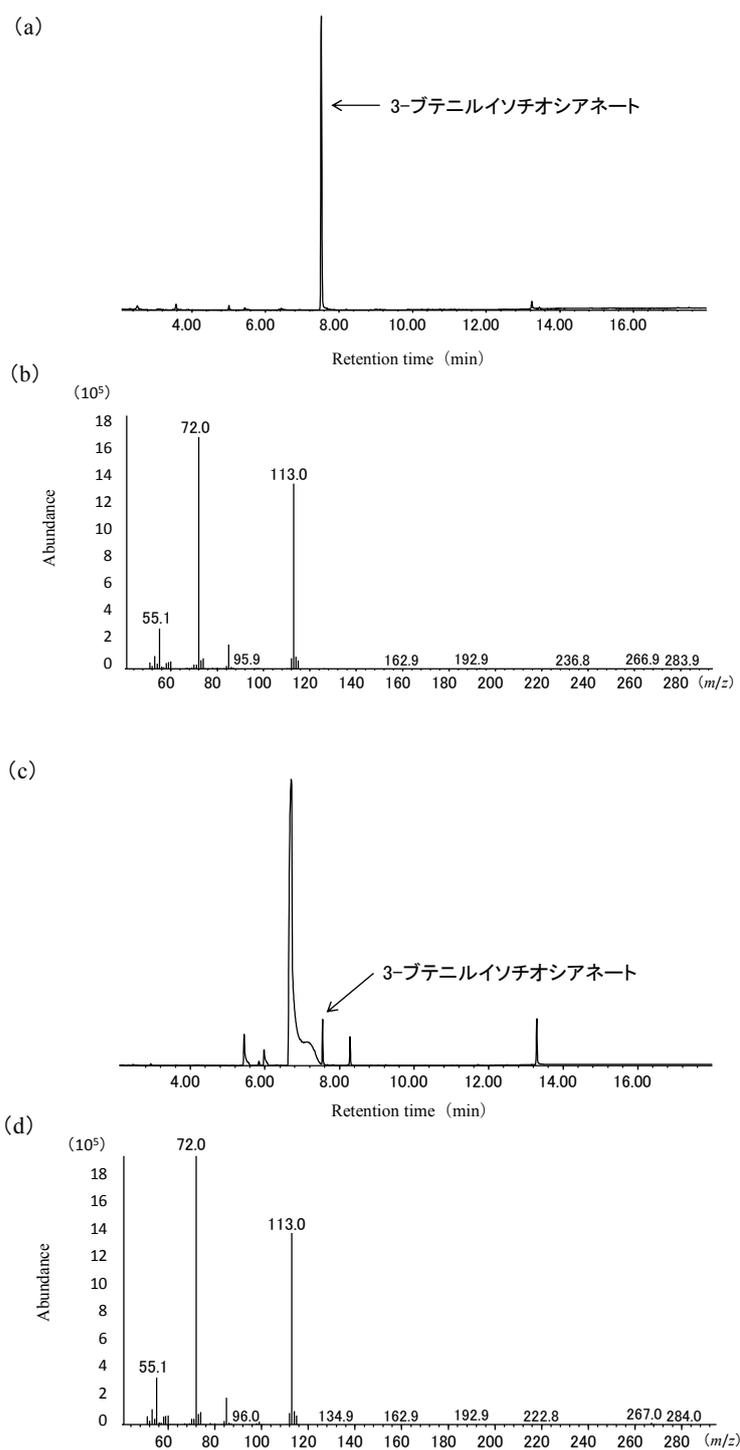


Fig.3.3.2 3-ブテニルイソチオシアネートのトータルイオンクロマトグラムと質量スペクトル

- (a) 標準品のトータルイオンクロマトグラム；
- (b) 標準品の質量スペクトル；
- (c) 試料のトータルイオンクロマトグラム；
- (d) 試料の RT7.5 分の質量スペクトル

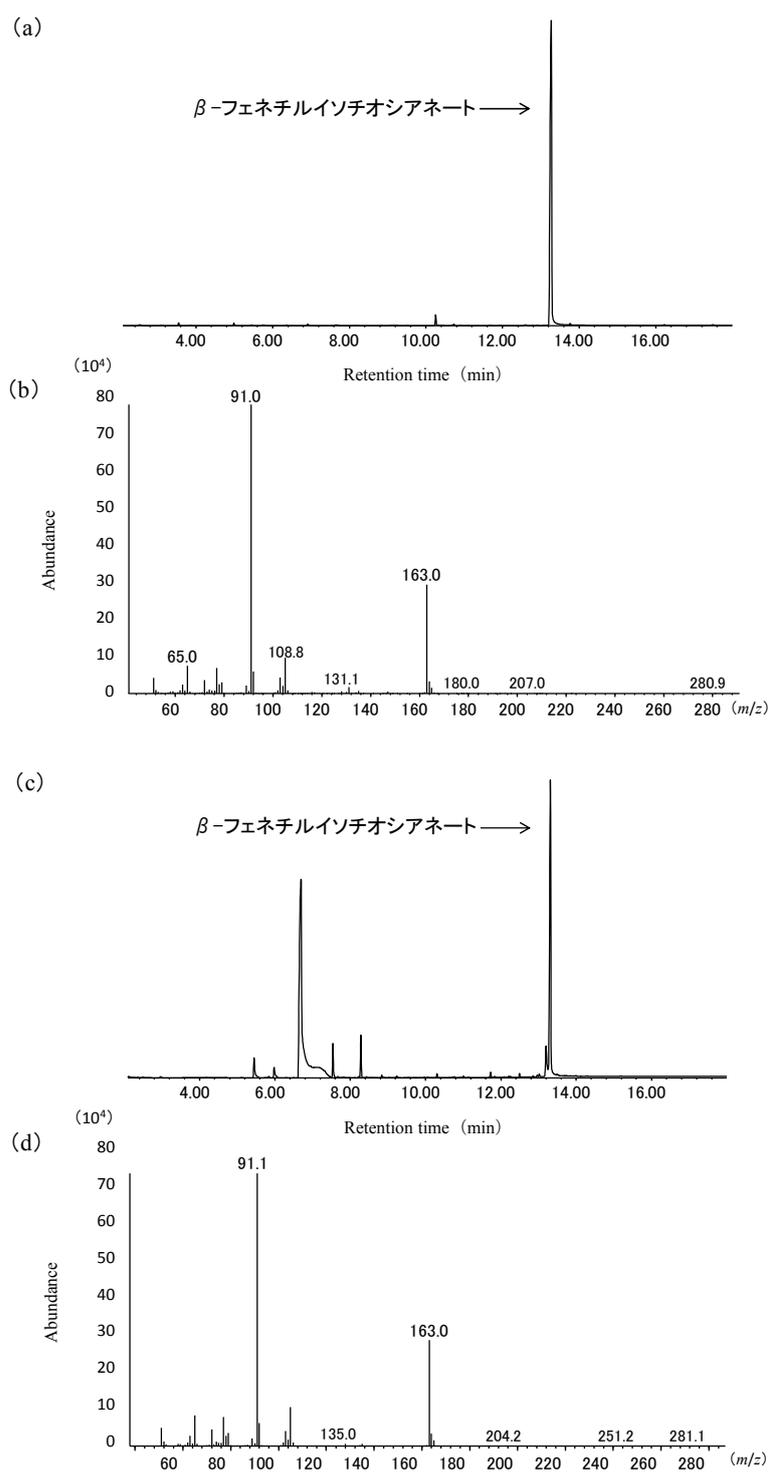


Fig.3.3.3 β -フェネチルイソチオシアネートのトータルイオンクロマトグラムと質量スペクトル

- (a) 標準品のトータルイオンクロマトグラム；
- (b) 標準品の質量スペクトル；
- (c) 試料のトータルイオンクロマトグラム；
- (d) 試料の RT13.3 分の質量スペクトル

Fig.3.3.4 にとろみ剤濃度 5% 試料の品温別トータルイオンクロマトグラム (TIC) を示した。品温 10℃、20℃ に比べて 65℃ 試料で β -フェネチルイソチオシアネートのピークが顕著に増加していることがわかる。また、とろみ剤濃度 3% および 4% 試料においても同様の挙動を示した。

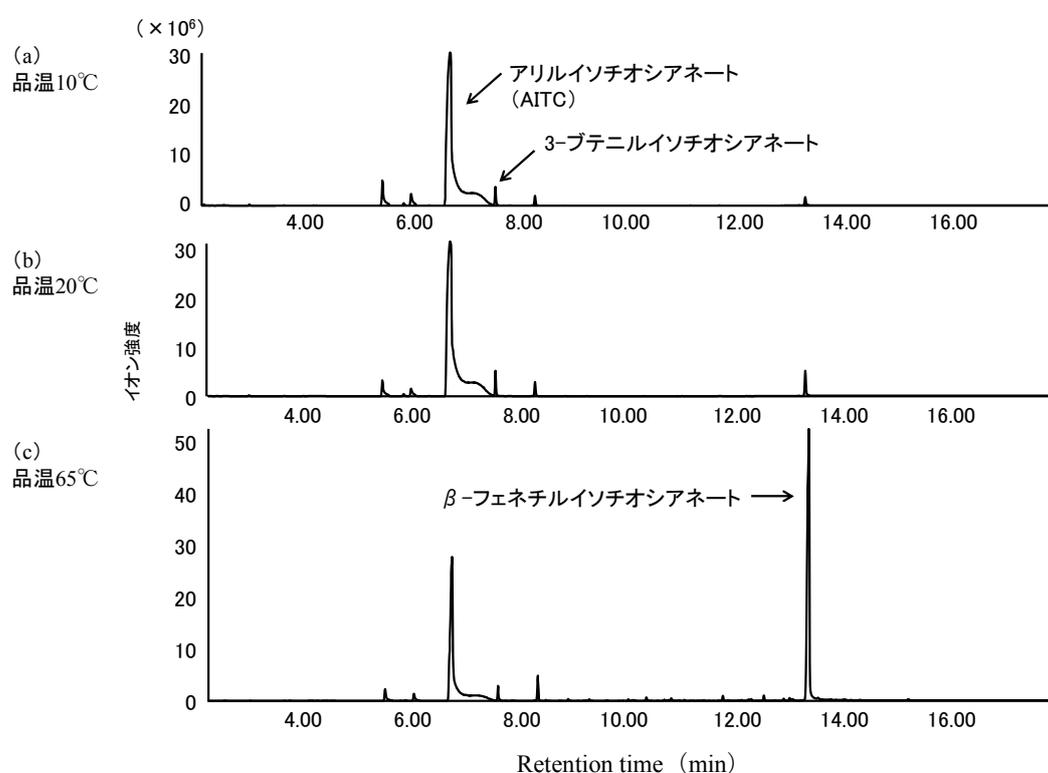


Fig.3.3.4 とろみ剤添加試料の品温別トータルイオンクロマトグラムの比較

わさびにとろみ剤 t (キサンタンガム系) を 5w/v% 添加した試料 (Pt) のトータルイオンクロマトグラムを品温別 (10℃、20℃、65℃) に比較した。

(a) 品温 10℃ ; (b) 品温 20℃ ; (c) 品温 65℃

(2) とろみ調整剤の濃度別・品温別の香気成分量

Fig.3.3.5～Fig.3.3.7 にとろみ剤濃度別・品温別試料のわさびの香気成分量を示した。

Fig.3.3.5 の AITC 量を見ると、温度別の各試料間に有意差は認められなかったものの、いずれのとろみ剤濃度においても品温 10℃、20℃に比べて 65℃試料は低い値を示した。AITC は分子量が小さく気化し易い^{72,74)} 特性を持ち、更に品温 65℃試料では温度上昇に伴い分子運動が盛んになることが推察される。

Fig.3.3.6 の 3-ブテニルイソチオシアネート量を見ると、とろみ剤濃度 4%の 10℃試料と 65℃試料以外に、温度別の各試料間に有意差は認められなかったが、いずれのとろみ剤濃度においても、品温が高くなるほど高い値を示した。

Fig.3.3.7 の β -フェネチルイソチオシアネート量を見ると、いずれのとろみ剤濃度においても品温 65℃試料で有意 ($p < 0.01$) に高い値を示した。 β -フェネチルイソチオシアネートは、ベンゼン環を有する芳香族化合物であり、分子量は AITC の約 1.6 倍大きい (Table 3.3.1) ことから、常温以下ではとろみ剤の中に安定して取り込まれているが、温度上昇に伴い分子運動が盛んになり、食品から放散したのではないかと推察される。

また、AITC、3-ブテニルイソチオシアネート、 β -フェネチルイソチオシアネートいずれの香気成分においても、とろみ剤濃度の違いによる香気成分量の差は認められなかった。

香気成分には各々閾値はあるものの、濃度を変えるとにお

いの強さだけでなく質も変化する⁵⁸⁾と言われており、わさびを加えたとろみ剤添加食品を65℃で保存すると、AITCの減少と、 β -フェネチルイソチオシアネートの増加により、喫食直前に感じるにおいに影響を及ぼす可能性が示唆された。

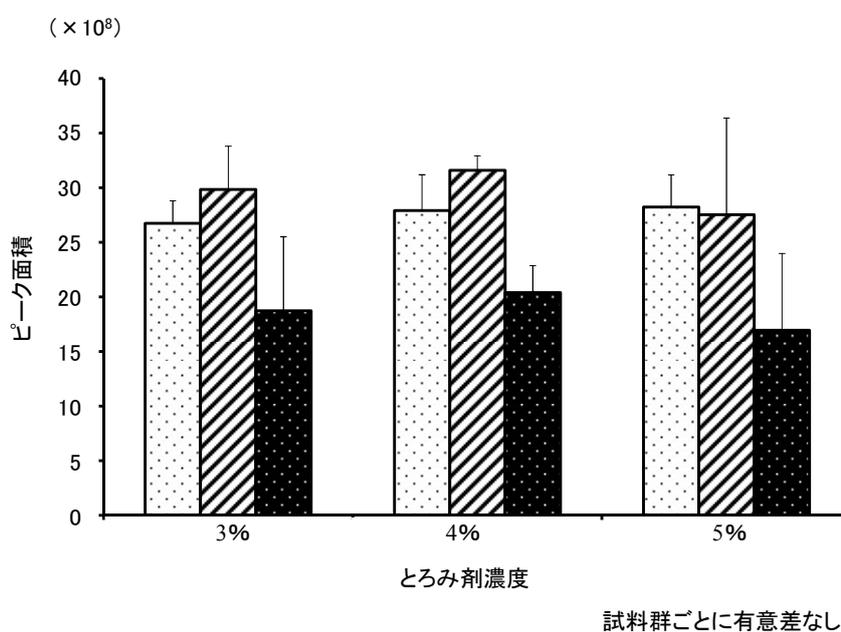
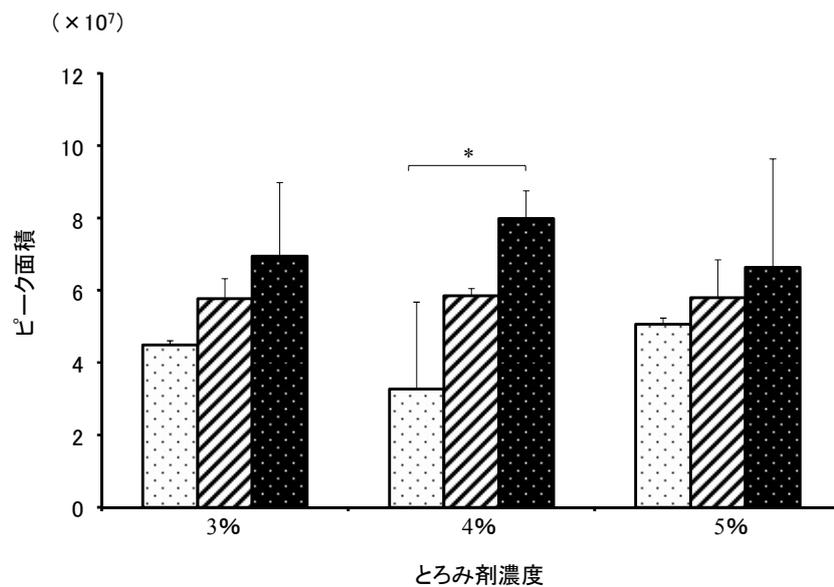


Fig.3.3.5 とろみ剤添加試料の濃度別、品温別の AITC 量の比較

わさび+とろみ剤 t (キサンタンガム系) 試料 (Pt) の AITC 量を、とろみ剤の濃度別 (3%、4%、5%)、品温別 (10℃、20℃、65℃) に、ピーク面積の積分値により相対的に比較した。 (n=3)

食品温度  10℃ ;  20℃ ;  65℃

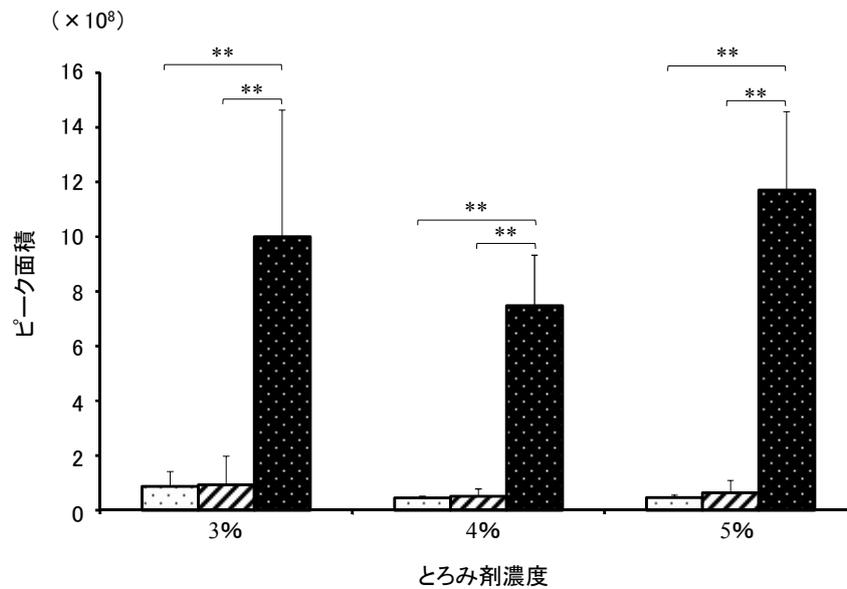


* 試料群ごとに有意差あり($p < 0.05$)

Fig.3.3.6 とろみ剤添加試料の濃度別、品温別の 3-ブテニルイソチオシアネート量の比較

わさび+とろみ剤 t (キサンタンガム系) 試料 (Pt) の 3-ブテニルイソチオシアネート量を、とろみ剤の濃度別 (3%、4%、5%)、品温別 (10°C、20°C、65°C) に、ピーク面積の積分値により相対的に比較した。 (n=3)

食品温度  10°C ;  20°C ;  65°C



** 試料群ごとに有意差あり($p < 0.01$)

Fig.3.3.7 とろみ剤添加試料の濃度別、品温別の β -フェネチルイソチオシアネート量の比較

わさび+とろみ剤 t (キサンタンガム系) 試料 (Pt) の β -フェネチルイソチオシアネート量を、とろみ剤の濃度別 (3%、4%、5%)、品温別 (10°C、20°C、65°C) に、ピーク面積の積分値により相対的に比較した。 (n=3)

食品温度  10°C ;  20°C ;  65°C

(3) 超音波の振動付加時の品温別の香気成分量

Fig.3.3.8～Fig.3.3.9 に、超音波の振動を加えた際のとろみ剤添加試料の品温別のわさびの香気成分量を示す。

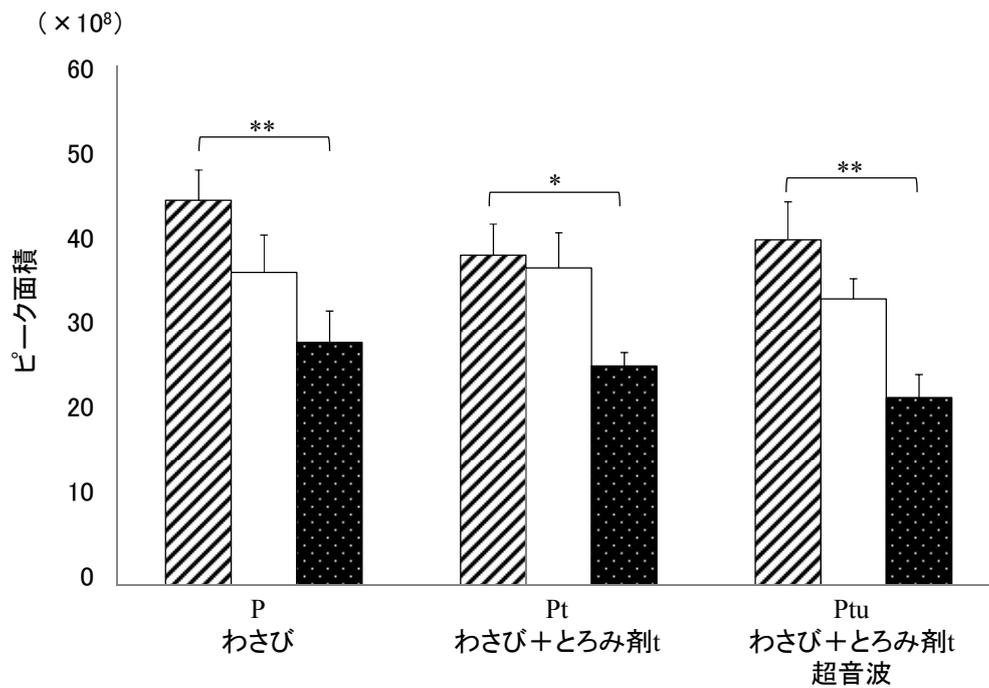
Fig.3.3.8 の超音波の振動を加えた際の AITC 量を見ると、とろみ剤を加えないわさびのみの試料 P、P にとろみ剤を加えた試料 Pt、Pt に超音波の振動を加えた試料 Pt_u のいずれの試料群においても、65℃試料は 20℃試料に比べて有意に少ない値を示し、試料 P と試料 Pt_u で $p < 0.01$ 、Pt で $p < 0.05$ の有意差が認められた。20℃と 40℃試料の間に有意差は認められなかったものの、品温が高くなるにつれて AITC の量は少なくなると考えられた。また、温度別の各試料間に有意差は認められなかった。

Fig.3.3.9 の超音波の振動を加えた際の β -フェネチルイソチオシアネート量を見ると、とろみ剤を加えないわさびのみの試料 P、P にとろみ剤を加えた試料 Pt、Pt に超音波の振動を加えた試料 Pt_u のいずれの試料においても、65℃試料は 20℃および 40℃試料に比べて有意 ($p < 0.01$) に高い値を示した。また、温度別の各試料間では、65℃試料において、とろみ剤を加えた試料 Pt は、とろみ剤を加えないわさびのみの試料 P に比べて有意 ($p < 0.01$) に低い値を示した。

AITC に代表されるわさびの香気成分イソチオシアネート類は、水の存在下で細胞が破壊されグルコシノレート（カラシ油配糖体）に酵素のミロシナーゼが作用して生成される⁵⁵⁾。本実験における超音波の振動が、わさびの細胞破壊に与える影響は確認できていないが、超音波の振動が温度上昇と相ま

って、分子運動を盛んにしたことは予測される。また、生成されたイソチオシアネート類は、揮発性が大きいと共に水溶液中では不安定であり、水に対する溶解度が比較的低いことも加わり、時間経過とともに AITC の減少に影響を与えたと考えられる。

これらの結果より、分子量が小さく揮発し易い香気成分 (AITC) は、65℃で保存すると、一旦とろみ剤に取り込まれた香気成分は分子運動の活性化により揮散し、保存中に減少する可能性が示唆された。しかし、分子量の大きい香気成分 (β -フェネチルイソチオシアネート) は、とろみ剤に取り込まれたまま保持され、温度上昇と口腔内での物理的刺激により新たに放散すると推察された。



有意差あり(** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

Fig.3.3.8 とろみ剤添加試料に超音波の振動を加えた際の品温別の AITC 量の比較

とろみ剤無添加のわさび試料 (P)、P にとろみ剤 t (キサンタンガム系) を 3w/v% 添加した (Pt)、Pt に超音波の振動を加えた (PtU) の AITC 量を、品温別 (20°C、40°C、65°C) に GC-MS で測定し、ピーク面積の積分値を相対的に比較した。(n=3)

食品温度  20°C ;  40°C ;  65°C

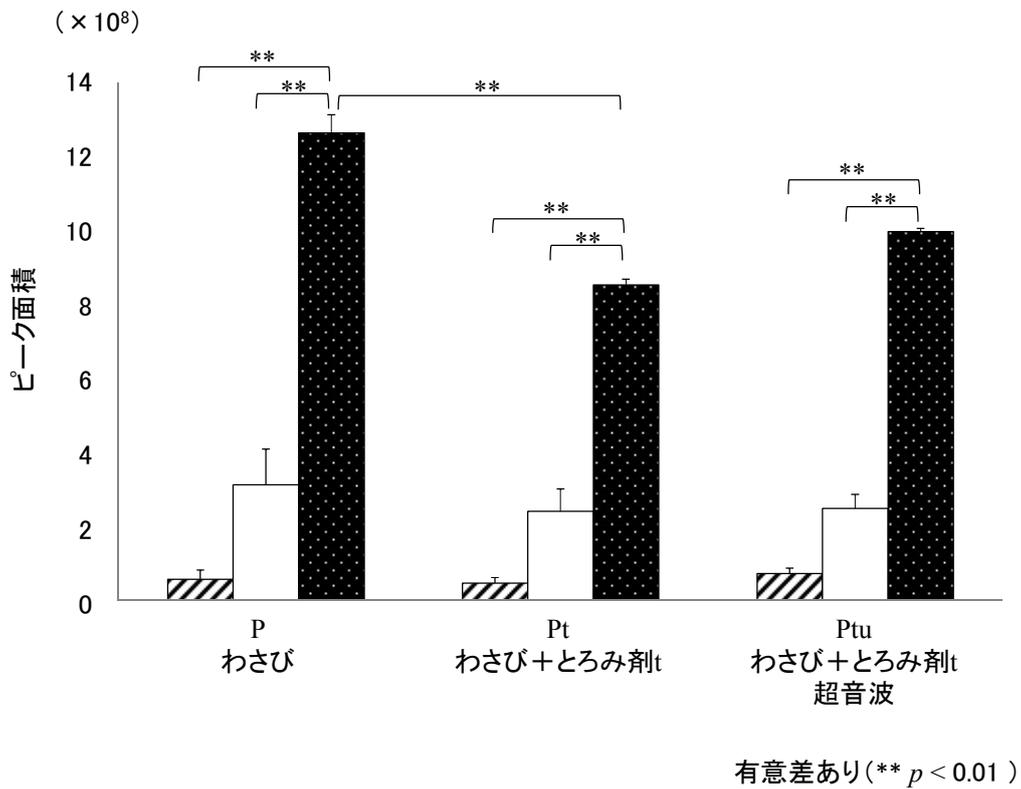


Fig.3.3.9 とろみ剤添加試料に超音波の振動を加えた際の品温別のβ-フェネチルイソチオシアネート量の比較

とろみ剤無添加のわさび試料 (P)、P にとろみ剤 t (キサンタンガム系) を 3w/v% 添加した (Pt)、Pt に超音波の振動を加えた (PtU) の β-フェネチルイソチオシアネート量を、品温別 (20°C、40°C、65°C) に GC-MS で測定し、ピーク面積の積分値を相対的に比較した。 (n=3)

食品温度  20°C ;  40°C ;  65°C

3.3.2 物性の評価

(1) テクスチャー試験による結果

Fig.3.3.10～Fig.3.3.12 にテクスチャー試験によるとろみ剤の濃度別・温度別試料の硬さ、付着性、凝集性の測定結果を示す。

Fig.3.3.10 の硬さをみると、いずれの品温においてもとろみ剤濃度が高くなるほど硬くなり、品温別試料群のとろみ剤濃度 3%と 5%試料の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

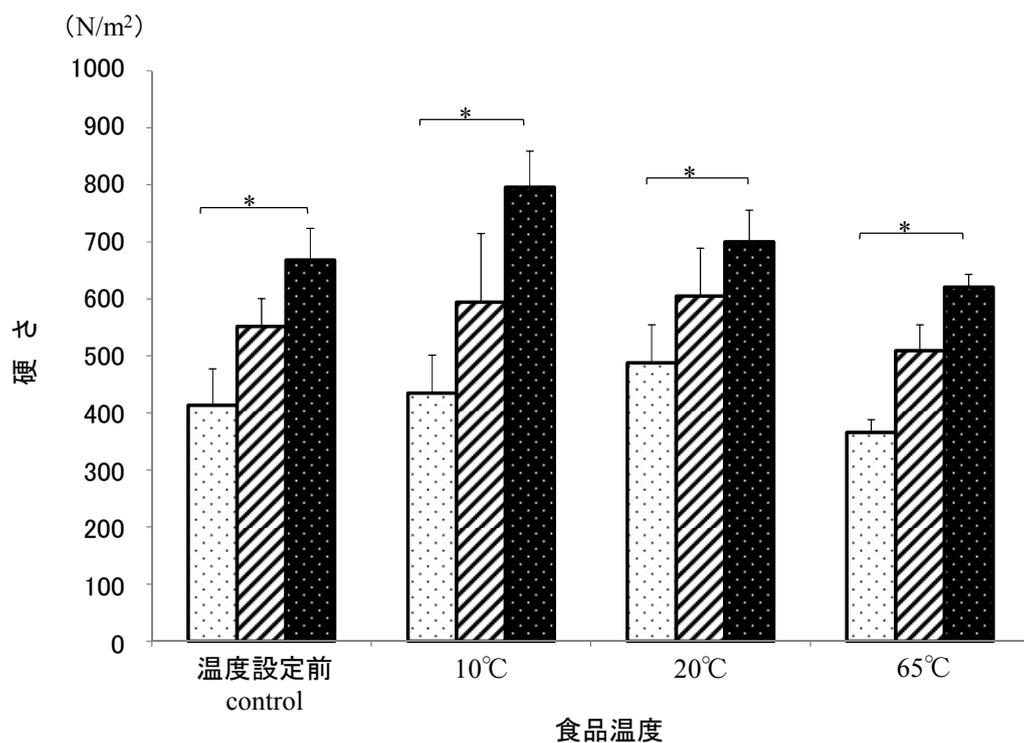
Fig.3.3.11 の付着性をみると、いずれの品温においてもとろみ剤濃度が高くなるほど高い値を示し、硬さと同様の挙動を示した。また、温度設定前 control と品温 10℃試料のとろみ剤濃度 3%と 5%の間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。

Fig.3.3.12 の凝集性をみると、とろみ剤濃度および品温の違いによる凝集性の差は認められなかった。

本実験に用いたとろみ剤の主原料であるキサントガムは、分子構造上、長い側鎖を持つため、水分子がキサントガムの分子間に取り込まれることで分子同士が会合してネットワークを形成し粘度が高くなり⁷⁵⁾、このネットワーク構造は温度の上昇に従いヘリックス状態がコイル状態に転移する⁵⁹⁾と報告されている。これらキサントガムの物理的特性が、本テクスチャー試験の結果に影響を及ぼしたと考えられる。

本実験試料のテクスチャーを以下 3 種類の基準で分類すると、消費者庁のえん下困難者用食品たる表示の許可基準⁴⁷⁾ 分類では、硬さ：許可基準Ⅲ、付着性：許可基準Ⅰ、凝集性：

許可基準Ⅱの食品に、学会分類 2013³²⁾では、硬さ：嚥下調整食 2、付着性：嚥下調整食 1j、凝集性：嚥下訓練食 0j（jはゼリーを意味する³²⁾）に、2015年11月に策定された農林水産省の新しい介護食品（スマイルケア食）の選び方基準では、硬さ：赤 A（ペースト状の食品）、付着性：赤 B（ムース状の食品）、凝集性：赤 C（ゼリー状の食品）に相当した。

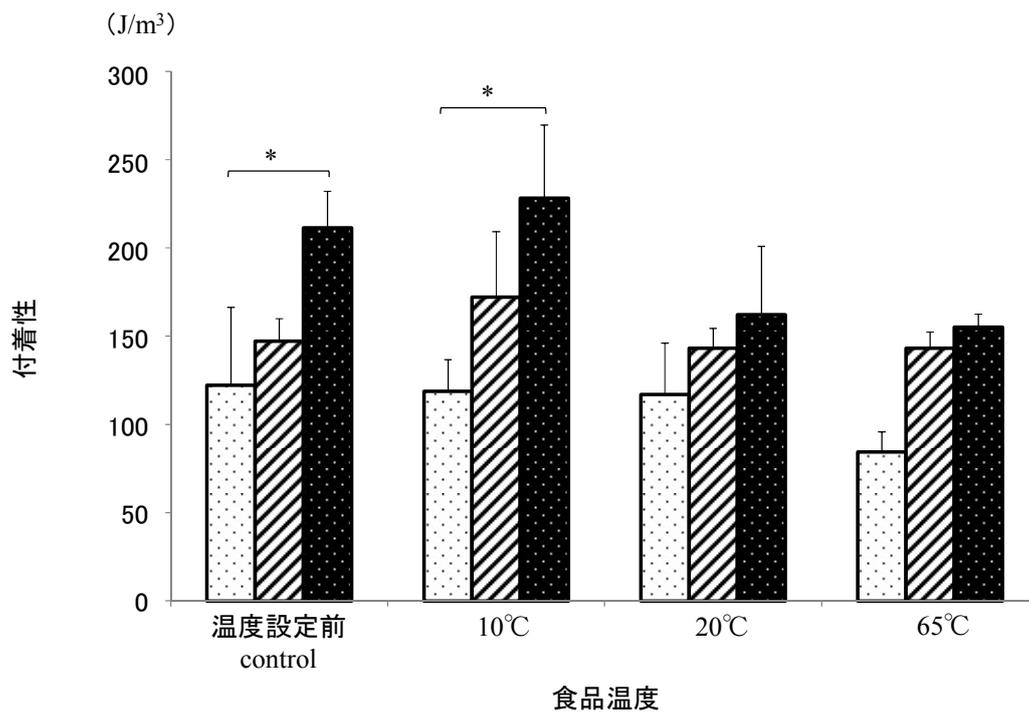


* 試料群ごとに有意差あり ($p < 0.05$)

Fig.3.3.10 とろみ剤添加試料の品温別、濃度別の硬さの比較

わさび+とろみ剤 t(キサンタンガム系)試料(Pt)の硬さを、とろみ剤の濃度別(3%、4%、5%)、品温別(10°C、20°C、65°C)に比較した。(n=3)

とろみ剤濃度  3% ;  4% ;  5%

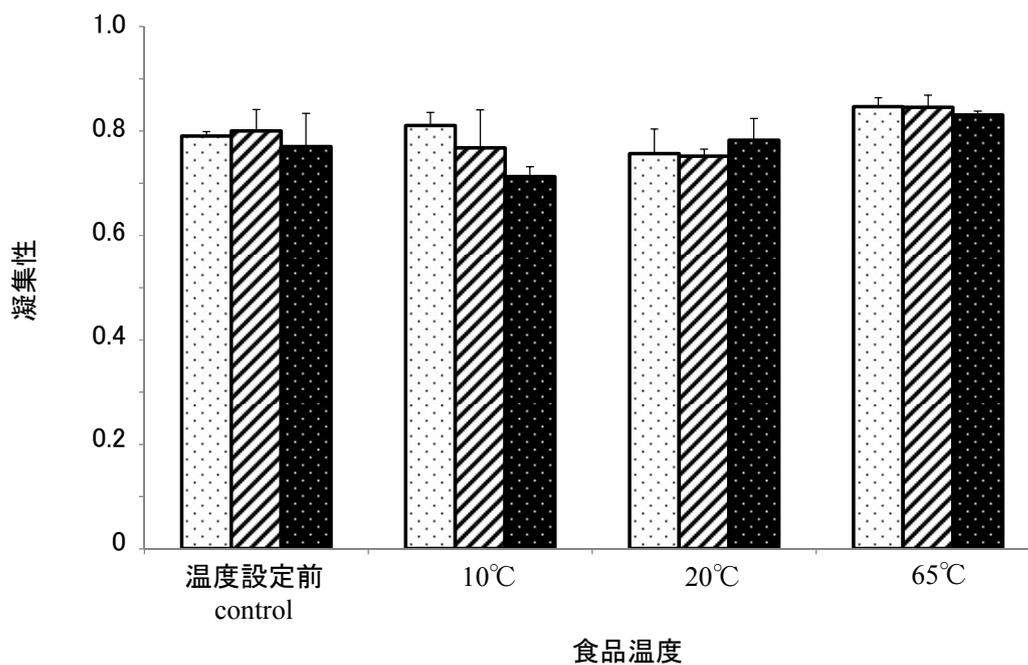


* 試料群ごとに有意差あり($p < 0.05$)

Fig.3.3.11 とろみ剤添加試料の品温別、濃度別の付着性の比較

わさび+とろみ剤 t (キサンタンガム系) 試料 (Pt) の付着性を、とろみ剤の濃度別 (3%、4%、5%)、品温別 (10°C、20°C、65°C) に比較した。 (n=3)

とろみ剤濃度  3% ;  4% ;  5%



試料群ごとに有意差なし

Fig.3.3.12 とろみ剤添加試料の品温別、濃度別の凝集性の比較

わさび+とろみ剤 t (キサントタンガム系) 試料 (Pt) の凝集性を、とろみ剤の濃度別 (3%、4%、5%)、品温別 (10°C、20°C、65°C) に比較した。 (n=3)

とろみ剤濃度  3% ;  4% ;  5%

(2) 動的粘弾性試験による結果

品温別のにおいの変化とテクスチャーの結果を受け、品温 65℃ 試料の香気分量の変化に物性が関与していると推察し、動的粘弾性試験により物性を評価した。

(i) 温度別試料の物性評価

Fig.3.3.13 に 10℃、20℃、65℃の温度別のとろみ剤添加試料の貯蔵弾性率 (G' 値) の結果を示す。弾性要素を示す G' 値は、10℃および 20℃試料においては、ほぼ同じラインをたどり、ひずみ 0.3%付近から急激に落ち始めた。65℃試料においては、ひずみ 0.3%付近から徐々に低下して緩やかに下降した。また、65℃試料は線形領域において、10℃および 20℃試料に比べて低い値を示した。

Fig.3.3.14 に、10℃、20℃、65℃の温度別のとろみ剤添加試料の損失弾性率 (G'' 値) の結果を示す。粘性要素を示す G'' 値の 10℃および 20℃試料は、Fig.3.3.13 の G' 値の結果と同様、ほぼ同じラインをたどり、ひずみ 1%付近でピークが発現し、その後、徐々に低下した。65℃試料は、10℃および 20℃試料に比べて低い値を示し、ひずみ 3%付近から緩やかに低下した。

Fig.3.3.13 および Fig.3.3.14 の物性評価をまとめると、10℃および 20℃試料は、弾性要素を示す G' 値、粘性要素を示す G'' 値共に差は認められなかったが、65℃試料は、 G' 値、 G'' 値いずれにおいても、10℃および 20℃試料に比べて低い値を示した。特に、弾性要素を示す G' 値の差が大きかったことから、とろみ剤添加食品を 65℃で保存した場合、軟らかく、流れや

すい物性に変化することが確認された。

品温 65°C 試料において、わさびの香気成分量と物性の変化が認められたこれまでの結果より、香気フレーバーリリースの量は、食品内部にフレーバー化合物を引き止めようとする力に依存すると考えられていることから、65°C 試料では、とろみ剤の主原料であるキサンタンガムの 2 重らせん構造が緩み、フレーバー化合物を引き止めようとする力が弱まり、香気フレーバーリリースに影響を及ぼすと考えられた。

(ii) 口腔内を想定した 40°C 試料の物性評価

これまでは、喫食直前の食品を想定して物性を評価したが、次に、口腔内に入った食品の環境変化の内、特に温度変化に着目して物性を評価するため、これまでの温度別試料を体温に近い 40°C に設定して、ひずみ依存性測定を行った。

Fig.3.3.15 に、20°C 試料を 40°C に昇温した場合の貯蔵弾性率 (G' 値) と損失弾性率 (G'' 値) の結果を示す。●および▲が 20°C 試料で、○および△が 20°C 試料を 40°C に昇温した結果である。G' 値および G'' 値いずれにおいても、40°C に昇温した試料は、20°C のままの試料に比べて、やや低い値を示したが、大きな差は認められなかった。

10°C 試料においては、20°C 試料と同様の挙動を示したので、結果は割愛した。

Fig.3.3.16 に、品温 65°C 試料を 40°C に降温した場合の貯蔵弾性率 (G' 値) と損失弾性率 (G'' 値) の結果を示す。●および▲が 65°C 試料で、○および△が 65°C 試料を 40°C に降温した結果である。G' 値をみると、40°C に降温した試料は 65°C の

ままの試料に比べて高い値を示した。また G'' 値をみると、 40°C に降温した試料は 65°C 試料と、ほぼ同じラインを示した。

口腔内での温度変化を想定して、各温度別試料を体温に近い 40°C に変化させて物性を評価した結果、 10°C および 20°C 試料の G' 値および G'' 値に大きな差は認められなかったが、 65°C 試料において、 40°C に降温した試料の G' 値が高い値を示した。

これまでの物性評価を併せて考察すると、温かいとろみ剤添加食品を 65°C で保存した場合、喫食直前までは、流れ易い物性に变化しているものの、口腔内で体温に近い温度まで品温が低下すると、再び弾性要素が高まると考えられた。

本章の物性評価と香気成分の測定結果を併せて考察すると、温度上昇に伴いとろみ剤のネットワークが緩み食品は軟らかくなり、それと同時に香気成分の分子運動が盛んになることが予測される。そのため、とろみ剤添加食品中に取り込まれた香気成分の内、分子量の大きい香気成分は温度上昇に伴い固体から新たに放散し、食品全体の香気フレーバーリリースに変化を及ぼすことが示唆された。

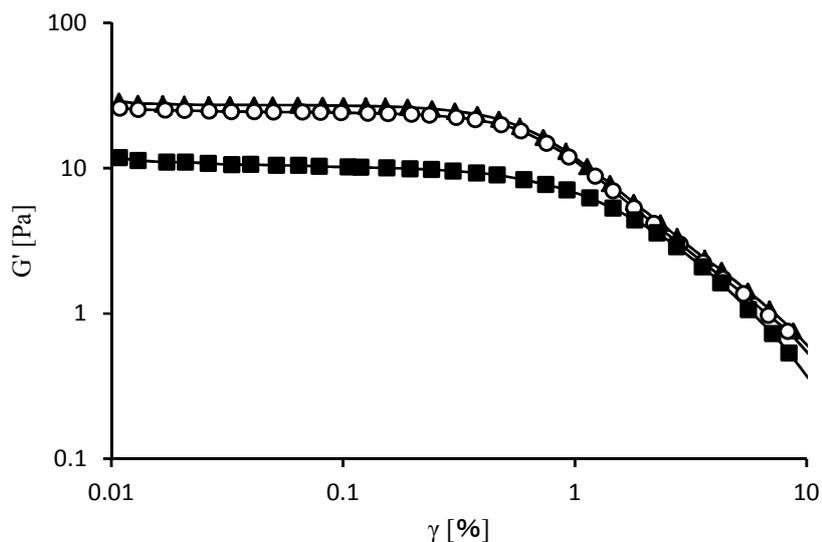


Fig.3.3.13 とろみ剤添加試料の品温別の貯蔵弾性率 (G' 値) の比較

わさびにとろみ剤 t(キサンタンガム系)を 3w/v%添加した試料(Pt)の品温別(10°C、20°C、65°C)の物性を、動的粘弾性試験によるひずみ依存性測定貯蔵弾性率 (G' 値)で比較した。($n=3\sim 4$)

- ▲ : 品温 10°C 試料の貯蔵弾性率 (G' 値) ;
- : 品温 20°C 試料の貯蔵弾性率 (G' 値) ;
- : 品温 65°C 試料の貯蔵弾性率 (G' 値)

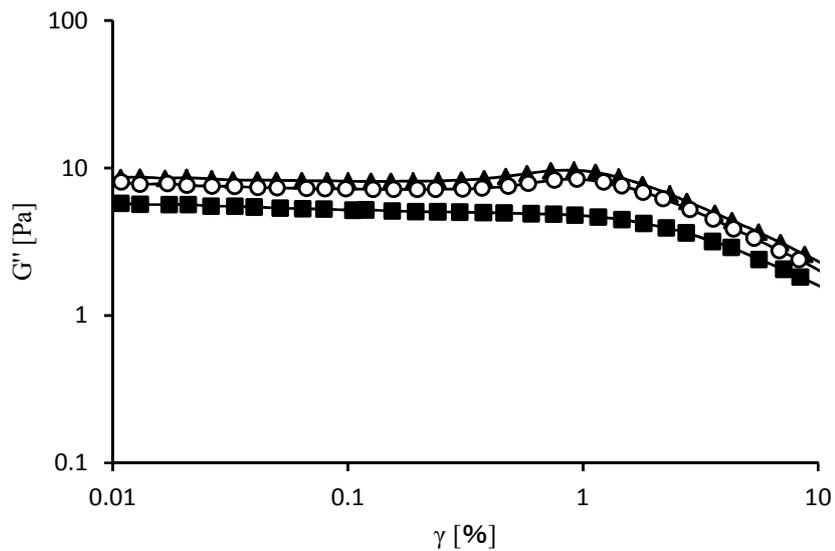


Fig.3.3.14 とろみ剤添加試料の品温別の損失弾性率 (G'' 値) の比較

わさびにとろみ剤 t(キサンタンガム系)を 3w/v%添加した試料(Pt)の品温別(10°C、20°C、65°C)の物性を、動的粘弾性試験によるひずみ依存性測定 of 損失弾性率 (G'' 値) で比較した。
($n=3\sim4$)

- ▲ : 品温 10°C 試料の損失弾性率 (G'' 値) ;
- : 品温 20°C 試料の損失弾性率 (G'' 値) ;
- : 品温 65°C 試料の損失弾性率 (G'' 値)

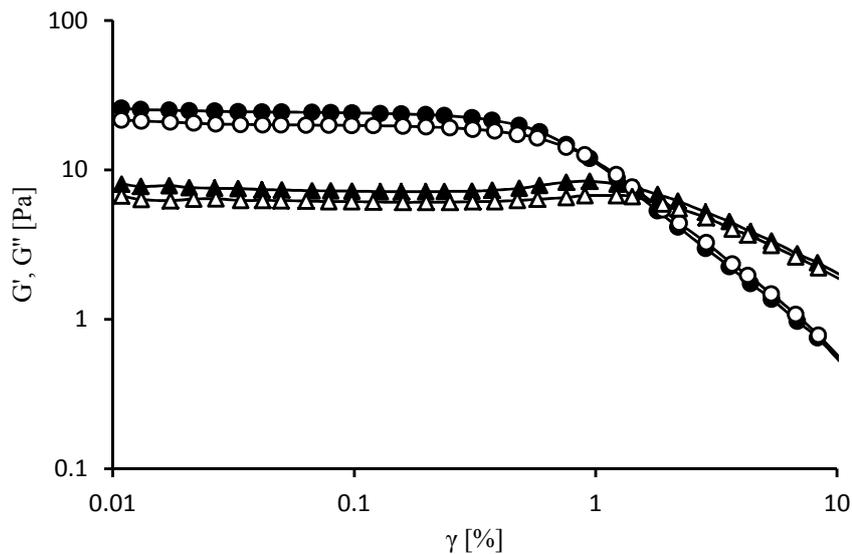


Fig.3.3.15 品温 20°Cのとりみ剤添加試料を 40°Cに昇温した際の貯蔵弾性率 (G'値) と損失弾性率 (G''値) の比較

わさびにとりみ剤 t (キサントタンガム系) を 3w/v% 添加した試料 (Pt) の品温 20°C 試料を、口腔内を想定して体温に近い 40°C に昇温した際の物性を、動的粘弾性試験によるひずみ依存性測定 of 貯蔵弾性率 (G'値) と損失弾性率 (G''値) で比較した。

(n = 3)

- : 品温 20°C 試料の貯蔵弾性率 (G'値) ;
- : 品温 20°C 試料を 40°C に昇温した際の貯蔵弾性率 (G'値) ;
- ▲ : 品温 20°C 試料の損失弾性率 (G''値) ;
- △ : 品温 20°C 試料を 40°C に昇温した際の損失弾性率 (G''値)

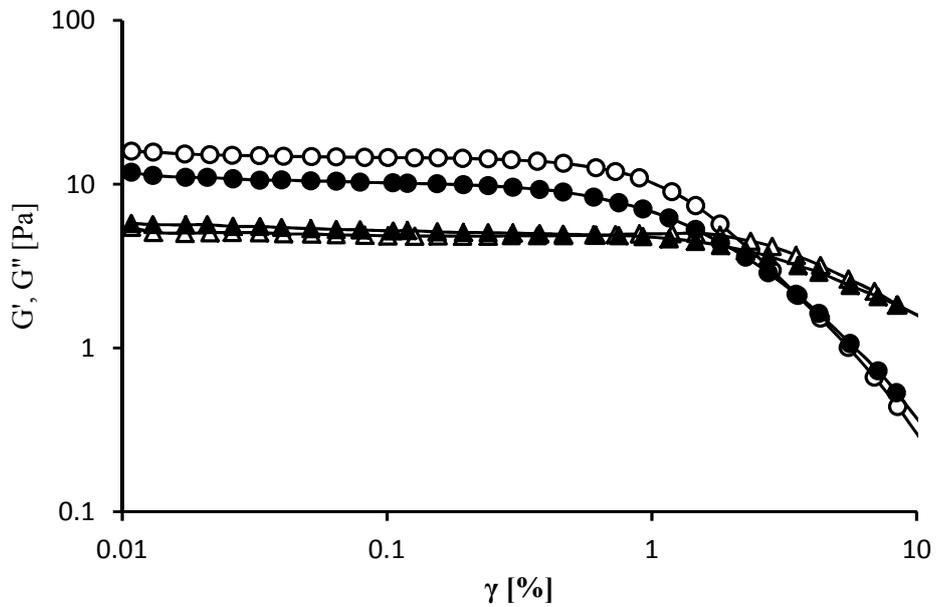


Fig.3.3.16 品温 65°Cのとろみ剤添加試料を 40°Cに降温した際の貯蔵弾性率 (G'値) と損失弾性率 (G''値) の比較

わさびにとろみ剤 t (キサンタンガム系) を 3w/v% 添加した試料 (Pt) の品温 65°C 試料を、口腔内を想定して体温に近い 40°C に降温した際の物性を、動的粘弾性試験によるひずみ依存性測定 of 貯蔵弾性率 (G'値) と損失弾性率 (G''値) で比較した。

(n = 3)

- : 品温 65°C 試料の貯蔵弾性率 (G'値) ;
- : 品温 65°C 試料を 40°C に降温した際の貯蔵弾性率 (G'値) ;
- ▲ : 品温 65°C 試料の損失弾性率 (G''値) ;
- △ : 品温 65°C 試料を 40°C に降温した際の損失弾性率 (G''値)

3.3.3 官能評価による結果

Table 3.3.2 に 10℃、20℃、65℃ の品温別のキサントランガム系とろみ剤添加試料の口に入れる前後のにおいの強さ、およびテクスチャーの官能評価結果を示す。

(1) においの強さの官能評価結果

品温別のとろみ剤添加試料の口に入れる前後のにおいの強さを官能評価した結果、いずれの評価項目においても品温の違いによる有意差は認められなかったが、口に入れる前の65℃試料において、AITC を代表する「ツーンと鼻に抜けるにおい」は 10℃、20℃試料に比べて低い値を示し、β-フェネチルイソチオシアネートを代表する「生のカブのようなにおい」は 10℃、20℃に比べて高い値を示したことは、GC-MS による香気成分量の分析結果と一致した。また、全体的なにおいの強さは、口に入れる前後ともに品温による差は認められなかった。

(2) テクスチャーの官能評価結果

温度別のとろみ剤添加試料の口に入れた後のテクスチャー（硬さ、付着性、凝集性）を官能評価した結果、硬さについては、10℃および20℃試料に比べて65℃試料は有意（ $p < 0.01$ ）に軟らかいと評価された。凝集性については、10℃および20℃試料に比べて65℃試料は有意（ $p < 0.05$ ）にまとまり難いと評価された。付着性については、20℃試料に比べて65℃試料はべたつき難い傾向（ $p < 0.1$ ）を示した。また、硬さと付着性については、レオナーを用いたテクスチャー試験の結果と同様の挙動を示した。キサントランガム系とろみ剤添

加試料を 65℃ の高温で保存すると、軟らかく、まとまり難くなり、べたつき難くなる傾向を示したこれらの結果より、温かくして食する食品として 65℃ で保存されたとろみ剤添加食品は、保存中に物性の変化が予測され、香気フレーバーリリースに影響を及ぼすことが示唆された。

(3) 舌圧の測定結果

舌圧と食形態の関連性が明らかになっていることから、分析型官能評価におけるパネル選定の基準として舌圧測定を取り入れた。その結果、本官能評価のパネル 20 名の最大舌圧の平均値は $26.1 \pm 5.8 \text{ kPa}$ であった。

咀嚼・嚥下困難者の食事における食形態の調整は、誤嚥防止のため必要不可欠であり、食形態と舌圧の関係は、先行研究により明らかとなっている。津賀ら⁶⁹⁾は、介護老人保健施設 61 名の高齢者を対象に調査した結果、食形態と ADL (日常生活活動)、HDS-R (長谷川式簡易知能評価スケール)、最大舌圧の間に有意な関連性を認め、最大舌圧が高齢者の食形態を決定する際の一つの目安となることを示唆している。田中ら⁷⁰⁾は、入院患者および介護老人福祉施設の高齢者 201 名を対象に調査した結果、舌圧および握力と食形態の関連性を明らかにし、年齢や性別を考慮する必要がない舌圧が、食形態を判断する際の簡便な指標として利用可能であることを示唆している。また、児玉ら⁷⁶⁾は、特別養護老人ホームに入居する要介護高齢者 83 名を対象に最大舌圧を計測した結果、舌圧や舌の運動機能は、食形態や食事の際に見られる観察項目 (むせ、食べこぼし、流涎) と関連を示し、常食を

摂取している者の舌圧は $22.1 \pm 9.3 \text{ kPa}$ 、調整食を摂取している者の舌圧は $18.3 \pm 7.6 \text{ kPa}$ で有意差が認められたと報告している。

本パネル（20歳代女性）の最大舌圧の平均値 $26.1 \pm 5.8 \text{ kPa}$ は、健常成人 853 名を対象とした最大舌圧の大規模調査⁷⁷⁾ による成人女性（20～59歳）の平均値 $37 \pm 9 \text{ kPa}$ と比べて、大幅に低い値であり、むしろ、児玉らの報告⁷⁶⁾ による常食を摂取している要介護高齢者の平均値 $22.1 \pm 9.3 \text{ kPa}$ に近い値であった。

わさびの代表的な香気成分 AITC は、水を加えて練ることでミロシナーゼという酵素が働き、からし油配糖体（シニグリン）が加水分解され、特有の香りが生成される⁵⁵⁾。すなわち、練る、すり潰すなどの物理的な刺激により生成される AITC の量は、押し潰す力に相当する舌圧との関連が推察される。今後、舌圧を指標とした官能評価のパネル選定は、口腔内に食品を入れて評価することが難しい、認知症や咀嚼・嚥下障害を持つ高齢者の官能評価パネルの代替えとして応用できるのではないかと考える。

食品においては、味、食感とともに食品の嗜好性を決定づける重要な因子である。また、におい物質にはそれぞれ閾値があり、ヒトの嗅覚閾値は人種、年齢、性別、個人差などにより異なることは充分考慮すべき要因である。更に、これまでに得られた我々の知見から、とろみ剤添加食品を調製する際は、とろみ剤添加による香気フレーバーリリースの抑制と保存温度による香気分量の変化を考慮し、わさびを添加す

る時期を計る必要性が示唆された。今後、更なる実践的研究を重ね、とろみ剤添加食品をおいしく食するための香辛料の添加方法を検討する必要があると考える。

Table 3.3.2 とろみ剤添加試料 (Pt) の品温別 (10℃、20℃、65℃) の
 においの強さとテクスチャーの官能評価結果

(1)においの強さ

評価項目	41 わさび+とろみ剤 t 10℃	85 わさび+とろみ剤 t 20℃	37 わさび+とろみ剤 t 65℃
① ツーンと鼻に抜けるにおい	3.40 ± 1.19 ^a	3.65 ± 1.04 ^a	3.05 ± 1.15
② 青臭いにおい	2.70 ± 0.73	2.80 ± 1.11 ^b	2.80 ± 1.44
③ 生のカブのようなにおい	3.05 ± 1.00 ^a	3.05 ± 1.15	3.35 ± 1.35
④ 全体的なにおい	3.50 ± 0.89	3.55 ± 0.69	3.20 ± 1.11
⑧ ツーンと鼻に抜けるにおい	2.95 ± 1.05 ^a	3.25 ± 1.02	3.15 ± 1.31
⑨ 青臭いにおい	2.10 ± 0.97 ^b	2.65 ± 1.14	2.45 ± 0.83
⑩ 生のカブのようなにおい	2.50 ± 1.05	2.85 ± 1.23	2.90 ± 1.07
⑪ 全体的なにおい	2.95 ± 1.05	3.30 ± 0.98	3.20 ± 1.11

平均値 ± 標準偏差 (n=20)
 温度別の各項目間でa, b 異符号に有意差あり

(2)テクスチャー

評価項目	41 わさび+とろみ剤 t 10℃	85 わさび+とろみ剤 t 20℃	37 わさび+とろみ剤 t 65℃
⑤ 硬 さ	2.60 ± 1.10	2.80 ± 0.83	1.70 ± 0.86
⑥ 付 着 性	3.00 ± 1.21	3.30 ± 0.80	2.50 ± 1.15
⑦ 凝 集 性	3.20 ± 1.11	3.15 ± 0.99	2.30 ± 1.22

平均値±標準偏差 (n=20)
 有意差あり(**p<0.01, *p<0.05)

3.4 小 括

本章では、香辛料わさびとキサンタンガム系のとろみ剤を用いて、より実践に即した知見を得るため、咀嚼・嚥下機能に合わせて分類されているとろみ剤の濃度と、調理から喫食までの保存温度に着目し、とろみ剤の添加濃度および品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。また、AITC 以外のわさびの香気成分を評価の指標に加え、香気成分の量比により食品全体の総合的なおいを評価した。

初めに、GC-Olfactometry により感知された三つの香気成分 AITC、3-ブテニルイソチオシアネート、 β -フェネチルイソチオシアネートをにおい評価の指標に定めた。

(1) とろみ剤の濃度別の GC-MS の結果より、AITC、3-ブテニルイソチオシアネート、 β -フェネチルイソチオシアネートいずれの香気成分においても、とろみ剤の添加濃度の違いによる香気分量の差は認められなかった。テクスチャー試験の結果より、硬さは、10℃、20℃、65℃いずれの品温においても、とろみ剤の濃度が高くなるほど高い値を示し、付着性においても同様の挙動を示した。凝集性については、10℃、20℃、65℃いずれの品温においても、とろみ剤の添加濃度による差は認められなかった。

(2) とろみ剤の品温別の GC-MS の結果より、65℃試料において AITC の減少と β -フェネチルイソチオシアネートの有意 ($p < 0.01$) な増加が認められた。超音波の振動付加時の香気分量では、AITC 量の 65℃試料は 20℃試料に比べて有意 ($p < 0.05$) に低い値を示し、 β -フェネチルイソチオシアネ

一ト量の 65℃ 試料は 10℃、20℃ 試料に比べて有意 ($p < 0.01$) に高い値を示した。テクスチャー試験の結果より、硬さ、付着性、凝集性いずれにおいても、品温の違いによる差は認められなかった。官能評価の結果より、65℃ 試料は 10℃、20℃ 試料に比べて軟らかく、まとまり難くなると評価された。動的粘弾性試験の結果より、65℃ 試料で弾性要素を示す G' 値が低い値を示したが、口腔内を想定して体温に近い 40℃ に設定した試料では G' 値が再び増加したことから、温かくして食する食品を想定して 65℃ で保存したとろみ剤添加食品は、喫食直前までは流れ易い物性に変化するが、口腔内で体温に近い温度まで品温が低下すると、再び弾性が高まると考えられた。

これまでの結果より、保存温度の違いにより、とろみ剤添加食品中のわさびの香気成分量に変化が認められたことから、分子量が小さく揮発し易い香気成分 (AITC) は、常温以下で保存された場合は、口腔内での圧縮付加により新たに放散することが推察されるが、65℃ で保存された場合には、一旦とろみ剤に取り込まれた香気成分は、分子運動の活性化により揮散し、減少している可能性が示唆された。しかし、分子量の大きい香気成分 (β -フェネチルイソチオシアネート) は、65℃ で保存した場合、香気成分量が増加することから、口腔内での新たな放散が推察された。従って、温かくして食するとろみ剤添加食品にわさびを用いる際は、可能な限り保存時間を短縮し、食べる直前に添加した方が、AITC 特有のわさび風味を保持できるのではないかと提案できた。

総 括

口から食物を取り入れ、その栄養素を消化吸収するという日々繰り返される機能は、生命維持のためだけでなく、それに伴うおいしさの体験が身体や生活に活力を与えてくれる。口から腸に至る各ステージで消化吸収機能のいずれか一つでも障害が起こると、健全な消化吸収機能が損なわれるばかりでなく、全身の健康と生活の質（QOL：Quality of Life）の低下も招くことになる。

この消化吸収機能の入り口に当たる咀嚼・嚥下機能が衰えると、誤嚥を防止する目的で食物の形態調整が行われることになる。即ち、口から取り入れる食品には、飲み込むのに適した物性が求められるため、病院や高齢者施設をはじめ、在宅医療の現場では、食品に適度な粘度を付与できる「とろみ剤」が用いられ、まとまり易く、飲み込み易い食塊形成を助けている。しかし、これらの添加により呈味特性や香味特性に影響を及ぼすと言われており、食品本来の風味が損なわれ、食欲不振に陥ることが問題となっている⁸⁾。

そこで本研究では、咀嚼・嚥下困難者の食事をおいしく食する工夫を探るため、香りの心理的・生理的効果に着目し、においに特徴のある「わさび」と「煮干し」をモデル食材に選び、とろみ剤添加食品のにおいの変化の基礎研究を行った。

なお、本研究に用いた香辛料「わさび」は、ごく僅かな量で食品に風味を与え、咀嚼・嚥下困難者の QOL 向上ならびに嚥下機能改善に有効であるという見解に基づき検討を行

った。以下に、本研究での検討事項と得られた知見について総括する。

1. とろみ剤を添加した際の香気フレーバーリリース

初めに、咀嚼・嚥下困難者の食事において、誤嚥のリスクを低減するため付与される「とろみ剤」は、におい成分の遊離を抑制する傾向にあると考えられている。そこで、とろみ剤添加によるにおいへの影響を明らかにするため、におい特徴のある「わさび」と「煮干し」を対象試料に選び、香気フレーバーリリースを分析した。キサンタンガム系と寒天系の2種類のとろみ剤を用いて、におい識別装置と官能評価で食品全体のにおいの質と強さを確認した後、GC-MSでわさびの香気成分の質量分析を行った。

におい識別装置の結果より、とろみ剤を添加すると食品全体のにおいは有意 ($p < 0.05$) に弱まり、においの質も変化した。においの質の変化は、わさびを加えた試料で大きいことが確認された。GC-MSの結果より、わさびの主要香気成分アリルイソチオシアネート (AITC) の量は、とろみ剤を添加すると有意 ($p < 0.01$) に減少し、減少率はキサンタンガム系のとろみ剤添加試料で71%、寒天系のとろみ剤添加試料で65%であった。

これらの結果より、とろみ剤を添加した際の香気フレーバーリリースの抑制現象が、食品全体のにおいの評価と特定香気成分量の分析により明らかとなった。とろみ剤を添加すると、食品全体のにおいが抑制されたことから、煮干しの生臭

みと同時に、わさび特有の風味と生臭みのマスキング効果も減少することが予測された。

本研究における試料調製では、わさびおよび煮干しはとろみ剤と同時に加えるため、試料が液体からゾル状に転換する過程で形成される骨格構造に香気成分が束縛され、においの強さおよび質に変化を及ぼすと考えられた。

2. 咀嚼を想定した圧縮付加時の香気フレーバーリリース

次に、食品を口に入れて咀嚼するときの“鼻に抜けるにおい”を想定して、静置された食品から立ち上るにおいと比較した。この鼻に抜けるにおい（レトロネーザルアロマ）は、おいしさを決める際の最終的かつ決定的な要因と言われており、そのことは、風邪をひいて鼻がつまったときに味がわからなくなる事実からも確認できる。

本研究では、テクスチャー試験機を用いて、咀嚼を想定した連続圧縮を加え、模擬咀嚼試料のにおいを採取する測定方法を考案し、静置試料と比較した。

その結果、とろみ剤添加試料に咀嚼を想定した圧縮を加えると、食品全体のにおいは強まる傾向を示したが、においの質の変化は認められなかった。官能評価の結果より、口に入れた後のわさびのにおいは、とろみ剤を添加することで有意 ($p < 0.05$) に弱まると評価された。GC-MSの結果より、とろみ剤を添加した試料に咀嚼を想定した圧縮を加えると、キサンタンガム系とろみ剤添加試料で 34%、寒天系とろみ剤添加試料で 28%、AITC の量は増加した。

これまでの結果より、とろみ剤を添加するとわさびのにおいは弱まるが、咀嚼を想定した圧縮を加えるとおいは強まることが示唆された。従って、とろみ剤添加食品に香辛料わさびを用いる際は、とろみ剤添加によるにおいの抑制ばかりに捕らわれず、口腔内での新たなにおいの放散も予測して、わさびの添加量や添加時期などを調整することで、わさび本来の風味を保持できるのではないかと考えた。

3. 風味を保持するわさびの最適添加量の検討

これまでの結果より、とろみ剤を添加するとわさびのにおいは変化することから、矯臭作用を含めたわさび風味の変化が懸念された。そこで、とろみ剤添加食品をおいしく食する工夫として、風味を損なわないわさびの添加量を検討した。その結果、キサンタンガム系とろみ剤添加食品において、とろみ剤無添加食品と同等のわさび風味を保持するためには、基準量の2倍が適量であると考えられた。

初めに、とろみ剤添加食品に加えるわさびの量を、基準量、1/2 倍量、1/10 倍量の3段階に分けて、わさびの添加量と香りフレーバーリリースの相関を把握した。におい識別装置と官能評価による食品全体のおいしの分析結果より、キサンタンガム系とろみ剤添加試料の喫食前のおいしの強さは、わさび量の減少に伴い有意 ($p < 0.05$) に減少したが、減少率はわさびの濃度に依存しないと考えられた。また、GC-MSによるわさびの主要香り成分 AITC 量の分析では、わさび量の減少に伴い AITC 量は有意 ($p < 0.05$) に減少したが、その減少率

はわさびの濃度に依存しないと考えられた。これらの結果より、わさびの濃度を基に最適添加量を予測することは困難であると判断し、GC-MSによるAITC量の観測により最適添加量の目安を予測した。その結果、キサントガム系とろみ剤添加のわさび2倍量と、とろみ剤無添加のわさび基準量のAITC量に有意差が認められなかったことから、キサントガム系とろみ剤添加食品において、とろみ剤無添加食品と同等のわさび風味を保持するためには、基準量の2倍が適量であると考えられた。また、におい識別装置の臭気指数相当値（においの強さ）および官能評価による検証からも、同様の結果が得られた。

わさびのマスクング効果については、官能評価の結果より、キサントガム系とろみ剤添加試料のわさび量を2倍にすると、口に入れた後の煮干しにおいては有意 ($p < 0.05$) に弱まると評価されたことから、とろみ剤を添加するとわさび自体の風味は弱まるものの、魚の生臭さを抑えるマスクング効果（矯臭作用）に及ぼす影響は小さいことが示唆された。

4. とろみ剤の濃度および品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響

これまでは、「煮干し」と「わさび」の組み合わせによるモデル食材を用いて、喫食直前と喫食中の香気フレーバーリリースを総合的に評価し、とろみ剤添加食品をおいしく食する工夫を検討してきた。その結果、わさびの主要香気成分AITC量の変化が食品全体におけるにおいの変化と連動していたこ

とから、わさびの香気成分のみで、食品全体のおいさを評価できるのではないかと考えた。そこで、GC-Olfactometryにより感知された他のわさびの香気成分も評価の指標に加え、各香気成分の量比により食品全体のおいさを評価した。また、より実践的な知見を得るため、とろみ剤の添加濃度および品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。

病院や高齢者施設、在宅等の現場で調理された食品は、調理後直ちに喫食されることは稀であり、通常、一定の保存時間を経てから提供されていること、また、わさびは幅広い温度帯の料理に用いられていることから、とろみ剤の品温が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討し、食品の温度特性に見合ったわさびの添加方法を探ることを目的とした。また、とろみ剤の濃度は、咀嚼・嚥下機能に合わせて分類されていることから、とろみ剤の添加濃度が香気フレーバーリリースに及ぼす影響を検討した。

試料は、これまで用いた食材の中で「わさび」と「キサンタンガム系とろみ剤」を用いた。わさびは食欲増進効果の他、嚥下反射改善効果、抗菌効果など、咀嚼・嚥下困難者の食事に様々な効果が期待されることから引き続き用いた。また、とろみ剤は、近年、主流として用いられているキサンタンガム系を選択した。とろみ剤濃度は、3%、4%、5%、食品の保存温度は10℃、20℃、65℃に設定した。

におい評価の指標には GC-Olfactometry により感知されたわさびの香気成分 AITC、3-ブテニルイソチオシアネート、 β -フェネチルイソチオシアネートを用いた。

におい評価の分析では、とろみ剤の濃度別の AITC、3-ブテニルイソチオシアネート、 β -フェネチルイソチオシアネートいずれの香気成分においても、とろみ剤の添加濃度の違いによる香気成分量の差は認められなかった。とろみ剤の品温別の分析では、65°C 試料において AITC の減少と β -フェネチルイソチオシアネートの有意な増加が認められた。そこで、品温別の香気成分量の変化をより詳細に分析するため、超音波の振動を加えた際の香気成分量を観測した。その結果、AITC は 65°C 試料で有意に低い値を示し、 β -フェネチルイソチオシアネートは有意に高い値を示した。

物性評価を分析すると、硬さおよび付着性は、とろみ剤の濃度が高くなるほど有意に ($p < 0.05$) 高い値を示し、凝集性については、とろみ剤の添加濃度による差は認められなかった。また、硬さ、付着性、凝集性いずれにおいても、品温の違いによる差は認められなかった。官能評価の結果より、65°C 試料は、軟らかく、まとまり難くなると評価された。動的粘弾性試験の結果より、65°C 試料で弾性要素を示す G' 値が低い値を示したが、口腔内に取り込まれた食品の温度を想定した 40°C 試料では G' 値は再び増加した。これらの結果より、温かくして食する食品を想定して 65°C で保存したとろみ剤添加食品は、喫食直前までは流れ易い物性に変化するが、口腔内で体温に近い温度まで品温が低下すると、再び弾性が高まると考えられた。

これまでの結果より、分子量が小さく揮発し易い香気成分 (AITC) は、常温以下で保存された場合は、口腔内での圧

縮付加により新たに放散することが推察されるが、65℃で保存された場合には、一旦とろみ剤に取り込まれた香気成分は、分子運動の活性化により揮散し、減少している可能性が示唆された。しかし、分子量の大きい香気成分（ β -フェネチルイソチオシアネート）は、65℃で保存した場合、香気成分量が増加することから、口腔内での新たな放散が推察された。従って、温かくして食すとろみ剤添加食品にわさびを用いる際は、できる限り保存時間を短くし、食べる直前に添加した方が、AITC 特有のわさび風味を保持できるのではないかと提案できた。

食べることは人生の大きな喜びの一つである。高齢になり嚙むこと、飲み込むことが困難になっても、最後まで口からおいしい食事をとることは誰もが望んでいることではないだろうか。また、香辛料はごく僅かな量で食品に風味を与えるばかりでなく、嚙下反射を改善することから、とろみ剤添加食品に香辛料を用いたおいしい食事は、生きる喜びを与え、病状改善にも寄与できると考えている。また、わさびの抗菌効果が誤嚥性肺炎の防止につながる可能性も期待される。今後、咀嚼・嚙下困難者の食事における香辛料の有効活用は、嗜好面のみならず機能面においても研究の発展が望まれる。

引用文献

- 1) 厚生労働省, 平成 27 年簡易生命表の概況, <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/life15/index.html>, (2017/1/9)
- 2) 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 24 年 3 月, http://www.ncgg.go.jp/ncgg-kenkyu/documents/roken/cl_hokoku1_23.pdf, (2017/1/9)
- 3) 小城明子, 藤綾子, 柳沢幸江, 植松宏 (2004), 要介護高齢者施設における食物形態の種類とその適用について, 栄養学雑誌, **62**, 329-338
- 4) 綾部園子, 村井七江, 櫻井淳司 (2005), 高齢者におけるペースト状試料の嗜好評価に及ぼす食品物性の影響, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌, **9**, 172-179
- 5) 西成勝好 (2005), 食感の創出素材ーテクスチャーモディファイヤーの現状と課題, 日本調理科学会誌, **38**, 397-403
- 6) 小竹佐知子 (2005), 第 1 節フレーバーリリース研究の最前線, 「食感創造ハンドブック」, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本隆編集, サイエンスフォーラム, 東京, pp.393-406
- 7) 西成勝好 (2014), 暮らしの最前線 94 おいしさとフレーバーリリースの関連性, 日本家政学会誌, **65**, 245-256
- 8) 山田好秋 (2004), 「摂食・嚥下のメカニズム」, 医歯薬出版, 東京, pp.120-129

- 9) 小竹佐知子 (2008), 食品咀嚼中の香気フレーバーリリース研究の基礎とその測定実例の紹介, 日本調理科学会誌, **41**, 84-92
- 10) 小竹佐知子 (2013), 食品咀嚼中の香気フレーバーリリース研究における咀嚼模擬装置の活用, 日本調理科学会誌, **46**, 315-323
- 11) 高橋亮, 西成勝好 (2010), おいしさのぶんせき, ぶんせき, **428**, 388-394
- 12) Szczesniak, A.S. and Kley, D.H. (1963), Consumer awareness of texture and other food attributes, *Food Technology*, **17**, 74-77
- 13) 松本伸子, 松元文子 (1977), 食べ物の味－その評価に関する要因－, 調理科学, **10**, 97-101
- 14) Baek, I., Linforth, R. S., Blake, A. and Taylor, A. J. (1999), Sensory perception is related to the rate of change of volatile concentration in-nose during eating of model gels, *Chemical Senses*, **24**, 155-160
- 15) Weel, K. G., Boelrijk, A. E., Alting, A. C., Van Mil, P. J., Burger, J. J., Gruppen, H., Voragen, A. G. and Smit, G. (2002), Flavor release and perception of flavored whey protein gels : perception is determined by texture rather than by release, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **50**, 5149-5155
- 16) Cook, D. J., Hollowood, T. A., Linforth, R. S. and Taylor, A. J. (2003), Oral shear stress predicts flavour perception in

- viscous solutions, *Chemical Senses*, **28**, 11-23
- 17) 山田恭正 (2013), 食品用ゲル (寒天ゲル) の破壊によるフレーバーリリース, *香料*, **259**, 45-51
- 18) Taylor, A. J., Besnard, S., Puaud, M. and Linforth, R. S. T. (2001), In vivo measurement of flavour release from mixed phase gels, *Biomolecular Engineering*, **17**, 143-150
- 19) 小竹佐知子 (2009), 食品咀嚼中の香りフレーバーリリースの測定, *化学と生物*, **47**, 624-629
- 20) 阿部啓子, 山本隆, 的場輝佳 (2008), 「食と味覚」, ネスレ栄養科学会議監修, 建帛社, 東京, pp.126-127
- 21) Lee III, W. E. (1986), A suggested instrumental technique for studying dynamic flavor release from food products, *Journal of Food Science*, **51**, 249-250
- 22) 小竹佐知子, 三浦孝之, 阿久澤良造 (2009), 咀嚼力モニター咀嚼モデル装置による牛肉模擬咀嚼中の香り放散量特定, *関東畜産学会報*, **59**, 65-70
- 23) 船見孝博 (2009), 食品開発における食品ハイドロコロイドの重要性ーフレーバーリリースの制御および介護食のテクスチャーデザインー, *日本味と匂学会誌*, **16**, 59-67
- 24) 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.6-119
- 25) 杉田浩一, 平宏和, 田島眞, 安井明美編集 (2013), 「日本食品大事典」第3版, 医歯薬出版, 東京, pp.643-645
- 26) 後藤拓朗, 村田尚道, 前川享子, 神田ゆう子, 小林幸生,

- 森貴幸, 宮脇卓也, 江草正彦 (2013), カプサイシン含有フィルム摂取による嚥下反射促進効果, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌, **17**, 209-216
- 27) 海老原孝枝, 海老原覚, 荒井啓行 (2008), 嗅覚刺激と高齢者摂食嚥下障害, におい・かおり環境学会誌, **39**, 210-220
- 28) 海老原覚 (2011), 原始感覚賦活による誤嚥性肺炎予防—嗅覚刺激を利用した嚥下困難・誤嚥対策, 医学のあゆみ, **239**, 480-485
- 29) 海老原覚 (2014), 唾液と誤嚥性肺炎, 日本味と匂学会誌, **21**, 61-67
- 30) 藤谷順子 (2011), 「テクニック図解かむ・飲み込むが難しい人の食事」, 講談社, 東京, pp.6-8
- 31) 栢下淳, 藤島一郎 (2015), 「嚥下調整食 学会分類 2013 に基づく市販食品 300」, 医歯薬出版, 東京, p.iii
- 32) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会医療検討委員会 嚥下調整食特別委員会 (2013), 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会 嚥下調整食分類 2013, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会雑誌, **17**, 255-267
- 33) 鈴木隆雄監修 (2015), 「国民の栄養白書 2015-2016」, 日本医療企画, 東京, p.127
- 34) 坂井真奈美 (2006), 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雑誌, **10**, 239-248
- 35) 坂井真奈美 (2007), 嚥下食の段階的な物性評価について,

日本病態栄養学会誌, **10**, 267-279

- 36) Cichero, J. A. Y., Steele, C., Duivesteyn, J., Clave, P., Chen, J., Kayashita, J., Dantas, R., Lecko, C., Speyer, R., Lam, P. and Murray, J. (2013), The need for international terminology and definitions for texture-modified foods and thickened liquids used in dysphagia management : foundations of global initiative, *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, **1**, 280-291
- 37) Steel, C. M., Alsanei, W. A., Ayanikalath, S., Barbon, C. E. A., Chen, J., Cichero, J. A. Y., Coutts, K., Dantas, R. O., Duivesteyn, J., Giosa, L., Hanson, B., Lam, P., Lecko, C., Leigh, C., Nagy, A., Namasivayam, A. M., Nascimento, W. V., Odendaal, I., Smith, C. H. and Wang, H. (2015), The influence of food texture and liquid consistency modification on swallowing physiology and function : a systematic review, *Dysphagia*, **30**, 2-26
- 38) Izutsu, T., Taneya, S., Kikuchi, E., and Sone, T. (1981), Effect of viscosity on perceived sweetness intensity of sweetened sodium carboxymethylcellulose solutions, *Journal of Texture Studies*, **12**, 259-273
- 39) Baines, Z. V. and Morris, E. R. (1987), Flavour/taste perception in thickened systems : the effect of guar gum above and below c^* , *Food Hydrocolloids*, **1**, 197-205
- 40) Morris, E. R. (1993) , Rheological and organoleptic of food hydrocolloids, “ *Food hydrocolloids : Structures, Properties,*

- and Functions*”, Nishinari, K. and Doi, E. Eds., Plenum Press, New York, pp.201-210
- 41) Williams, P. A., Phillips, G. O. and Clark, R. (2002), Influence of hydrocolloids on flavour release and sensory-instrumental correlations, “*Gums and stabilisers for the food industry 11*”, Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, pp.217-225
- 42) 中村愛美, 佐藤文華, 吉田智, 熊谷昌則, 鈴木靖志 (2010), とろみ調整食品添加に伴う味質変化の味覚センサによる評価, 日本食品科学工学会誌, **57**, 380-388
- 43) Cook, D. J., Linforth, R. S. T. and Taylor, A. J. (2003), Effects of hydrocolloid thickeners on the perception of savory flavors, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 3067-3072
- 44) Godshall, M. A. and Solms, J. (1992), Flavor and sweetener interactions with starch, *Food Technology*, **46**, 140-145
- 45) Nuessli, J., Sigg, B., Conde-Petit, B. and Escher, F. (1997), Characterization of amylose-flavour complexes by DSC and X-ray diffraction, *Food Hydrocolloids*, **11**, 27-34
- 46) Yven, C., Guichard, E., Giboreau, A. and Roberts, D. D. (1998), Assessment of interactions between hydrocolloids and flavor compounds by sensory, headspace and binding methodologies, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **46**, 1510-1514
- 47) 厚生労働省, 食安発第 0212001 号平成 21 年 2 月 12 日,

- 特別用途食品の表示許可等について, pp.10, 20
- 48) 喜多純一 (2006), 食品産業に役立つにおい識別装置の開発, 月刊フードケミカル, **12**, 50-56
- 49) 青山佳弘, 喜多純一, 木下大生, 赤丸久光, 岡田昌之 (2008), におい識別装置 FF-2A の食品分野での応用, 島津評論, **65**, 75-81
- 50) 財団法人日本食品分析センター (2008), におい識別装置 (その2) - においの表現手法 -, JFRL ニュース, **75**, 1-4
- 51) 藤森嶺編著 (2012), 「香りが見える理由」, 東京農業大学出版会, 東京, pp.32-60
- 52) Linforth, R. S. T., Baek, I. and Taylor, A. J. (1999), Simultaneous instrumental and sensory analysis of volatile release from gelatine and pectin/gelatine gels, *Food Chemistry*, **65**, 77-83
- 53) Lebert, A., Richon, D. (1984) , Infinite dilution activity coefficients of n-alcohols as a function of dextrin concentration in water-dextrin systems, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **32**, 1156-1161
- 54) 國崎直道, 佐野征男 (2001), 「食品多糖類 - 乳化・増粘・ゲル化の知識」, 幸書房, 東京, pp.113-125, 141-154
- 55) 蟹沢恒好 (2010), 「香り - それはどのようにして生成されるのか -」, フレグランスジャーナル, 東京, pp.53-54
- 56) 日本香辛料研究会 (2011), 「スパイスなんでも小事典」, 講談社, 東京, pp.23-24
- 57) 荒井恵美子, 佐藤吉朗, 長尾慶子 (2015), とろみ調整剤

- 添加食品の香気フレーバーリリースー咀嚼を想定した圧縮付加時のにおいの変化ー，日本調理科学会誌，**48**，255-264
- 58) 高木貞敬，渋谷達明編（1989），「匂いの科学」，朝倉書店，東京，pp.3-18
- 59) 船見孝博，堤之達也，岸本一宏（2006），とろみ調整食品や介護食品に使用されている増粘剤およびゲル化剤，日本調理科学会誌，**39**，233-239
- 60) 喜多純一（2015），におい分析におけるにおい識別装置の位置づけと食品評価への応用例，日本調理科学会誌，**48**，367-373
- 61) 谷本昌太，坂本宏司，守本京三（2005），ページトラップ法による煮干イワシの臭気成分の分析，日本水産学会誌，**71**，215-217
- 62) 熊倉功夫，伏木亨監修（2012），「だしとは何か」，アイ・ケイコーポレーション，東京，pp.51-52
- 63) 喜多純一，青山佳弘，木下太生，赤丸久光，岡田昌之（2007），におい識別装置「FF-2A」の役割とその応用ー連続測定を中心にー，島津評論，**64**，63-73
- 64) 埋橋祐二，滝ちづる（2005），寒天の種類・特性と使用方法，日本調理科学会誌，**38**，292-297
- 65) 出戸綾子，山縣誉志江，栢下淳（2007），各種市販トロミ調整食品の物性に及ぼす温度の影響，県立広島大学人間文化学部紀要，**2**，39-47
- 66) 濱本有美，木原琢也，三村純代，熊谷宏，田地豪，二川浩

- 樹 (2014), 増粘剤の物性に及ぼす濃度・味・温度の影響,
老年歯科医学, **29**, 77-83
- 67) 小久保彌太郎, 荒木恵美子, 高鳥直樹, 豊福肇, 長坂豊道
(2010), 「食品の安全を創る HACCP」, 日本食品衛生協
会, 東京, pp.143-149
- 68) 日本加工わさび協会 (2015), 「加工わさびー知識と Q&
A」, 日本加工わさび協会, 東京, p.21
- 69) 津賀一弘 (2005), 「高齢者ソフト食」摂取者の食事形態
と舌圧の関係, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会
雑誌, **9**, 56-61
- 70) 田中陽子 (2015), 入院患者および高齢者福祉施設入所者
を対象とした食事形態と舌圧, 握力, および歩行能力の
関連について, 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会
雑誌, **19**, 52-62
- 71) 日本香料協会編 (1989), 「香りの百科」, 朝倉書店, 東京,
pp.466-467
- 72) 衛藤英男, 西村明良, 高澤令子, 八木昭仁, 斉藤和秀, 坂
田完三, 木嶋勲, 柴田正人, 伊奈和夫 (1990), 沢わさびお
よび西洋わさび中の香気成分の安定性, 日本食品工業学
会誌, **37**, 953-958
- 73) 伊奈和夫, 呉健生, 衛藤英男, 八木昭仁, 木嶋勲 (1993),
中国産新種ワサビ (*Hilliella shuangpaiensis*) の辛味成分
について, 日本食品工業学会誌, **40**, 859-862
- 74) 橋本顕彦, 青山康司 (2013), 酵素量のコントロールによ
るすりおろしワサビ中のアリルイソチオシアネート保持

- 技術，広島県立総合技術研究所食品工業技術センター研究報告，**27**, 35-37
- 75) 鴻野健（2012），キサントタンガムのトロミ調製食品への応用，月刊フードケミカル，**12**, 34-40
- 76) 児玉実穂，菊谷武，吉田光由，稲葉繁（2004），施設入所高齢者にみられる低栄養と舌圧との関係，老年医学，**19**, 161-168
- 77) Utanohara, Y., Hayashi, R., Yoshikawa, M., Yoshida, M., Tsuga, K. and Akagawa, Y. (2008), Standard values of maximum tongue pressure taken using newly developed disposable tongue pressure measurement device, *Dysphagia*, **23**, 286-290

本論文を構成する学術論文および学会発表

■ 学術論文（査読付）

- 1) 荒井恵美子, 佐藤吉朗, 長尾慶子 (2015), とろみ調整剤添加食品の香気フレーバーリリースー咀嚼を想定した圧縮付加時のにおいの変化ー, 日本調理科学会誌, **48**(4), 255-264
- 2) 荒井恵美子, 佐藤吉朗, 長尾慶子 (2016), とろみ調整剤添加食品の香気フレーバーリリース (第 2 報)ーわさびの風味を保持する最適添加量の検討ー, 日本調理科学会誌, **49**(3), 223-231
- 3) 荒井恵美子, 青木里紗, 佐藤吉朗 (2016), とろみ調整剤の添加濃度と品温が食品の香気フレーバーリリースに及ぼす影響, 東京家政大学研究紀要, 第 **56** 集(2), 67-74

■ 学会発表（口頭発表）

- 1) 荒井恵美子，久松裕子，長尾慶子（2012），咀嚼・嚥下困難者の食事におけるフレーバーリリース，一般社団法人 日本調理科学会 平成 24 年度大会（秋田）
- 2) 荒井恵美子，久松裕子，佐藤吉朗，長尾慶子（2013），咀嚼・嚥下困難者の食事におけるフレーバーリリース（第 2 報）－咀嚼動作時の圧縮応力によるフレーバーリリース－，一般社団法人 日本調理科学会 平成 25 年度大会（奈良）
- 3) 荒井恵美子，青木里紗，佐藤吉朗（2014），咀嚼・嚥下困難者の食事におけるフレーバーリリース（第 3 報）－超音波の振動によるフレーバーリリース－，一般社団法人 日本調理科学会 平成 26 年度大会（広島）
- 4) 荒井恵美子，永塚規衣，小林理恵，佐藤吉朗（2016），とろみ調整剤添加食品の品温が物性に及ぼす影響，一般社団法人 日本調理科学会 平成 28 年度大会（名古屋）

謝 辞

本研究を進めるにあたり御指導下さいました本学食品衛生学研究室 佐藤吉朗教授に感謝申し上げます。

本論文の審査過程において貴重な御指導、御助言を賜りました本学環境教育学科 藤森文啓教授、栄養学科 峯木眞知子教授、宮尾茂雄教授、森田幸雄教授に深く感謝し御礼申し上げます。

本実験遂行の折々に、本学栄養学科准教授 小林理恵先生、講師 赤石記子先生、非常勤講師 永塚規衣先生、久松裕子助教、青木里紗助教に適切な御指導と御教示を頂きました。ここに深く感謝し御礼申し上げます。本実験測定に際しご協力をいただきました調理科学研究室および食品衛生学研究室の皆様感謝申し上げます。

また、5年間の大学院生活において、適切なご指導と広い視野を与えて下さいました本学大学院の諸先生方に、深く感謝し御礼申し上げます。

終わりにあたり、本研究推進の糸口を与えて下さり、常に暖かく見守り励まして下さいました本学客員教授 長尾慶子先生に心より感謝申し上げます。