

山口県で収穫された褐藻アカモク
Sargassum horneri の利用と食品機能性に関する研究

1 8 0 7 3 3 0 1

齋 藤 義 之

論文要旨

山口県で収穫された褐藻アカモク *Sargassum horneri* の利用と

食品機能性に関する研究

齋藤 義之

本研究は、山口県で収穫されたアカモクの食品特性や機能性を多角的に明らかにすることを目的とし、アカモクを加工した際の食品特性や機能性の変化、そして市販アカモク加工品を摂取した際の機能性について検討した。

食品特性については、茹で加工条件や乾燥法、水戻し温度条件の違いによるアカモクの物性および色差に着目した。その結果、茹で加工条件では、90°C 3分、5分といった長めの茹で加工は、物性や色の観点からは適さないことが明らかとなった。乾燥方法では、凍結乾燥で粘性が強化されることや、緑色の保持が顕著であることが確認されたことから、凍結乾燥法が粘性や色の保持において有用であることが示唆された。

機能性の変化については、茹で加工条件によるアカモクの抗酸化性の変化に焦点を当て、産地と収穫時期が異なる2種類のアカモクを用いて総ポリフェノール量およびDPPHラジカル捕捉能を測定した。その結果、生アカモクは加工済みアカモクに比べてポリフェノール量およびDPPHラジカル捕捉能が高いことが明らかとなった。また、茹で加工温度については、60°Cで茹でた場合の方が90°Cで茹でた場合よりもポリフェノール量や抗酸化性にばらつきが少なく、低温での加工が抗酸化性を保持する上で

有効である可能性が示された。さらに、総ポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能との間には正の相関が見られ、ポリフェノールが抗酸化性に重要な役割を果たしていると推察された。

市販アカモク加工品を摂取した際の機能性については、市販の茹で加工済みアカモクやこれに電子レンジ加熱処理を施し粘性を低減させた加熱アカモクを、米飯とともに摂取することが食後の血糖動態に及ぼす影響について調べた。基本食、基本食に市販の加工済みアカモクを加えたアカモク食、加熱アカモクを加えた加熱アカモク食の3種類の試験食を用い、健康な成人男女を対象に血糖動態を測定した結果、アカモクもしくは加熱アカモクの摂取は食後最大血糖値、血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖上昇速度を低下させる作用を持つ一方、血糖下降時間および血糖値曲線下面積を低下させる作用は認められないことが示唆された。したがって、アカモクや加熱アカモクの摂取は食後血糖値の上昇を抑制する働きがあるものの、体内に吸収される糖質量は抑制されず、栄養素の吸収を阻害しないと考えられた。

本研究で得られた知見は、アカモクの特性和機能性に関する理解を深め、消費者に対してアカモクの利用を促進する一助になると考えられる。さらに、アカモクの消費が拡大すれば、地域漁業や漁村の活性化、6次産業化の取り組みへの貢献が期待される。以上のことから、今後の食品産業におけるアカモクの応用が期待される。

Abstract

Studies on utilization and food functionalities of Akamoku (*Sargassum horneri*) collected in Yamaguchi Prefecture

Yoshiyuki Saitou

This study aimed to clarify the food characteristics and functionality of Akamoku from various perspectives based on samples collected in Yamaguchi Prefecture. This study investigated changes in food characteristics and functionalities when Akamoku was processed, as well as the functionality of consuming commercially processed Akamoku products.

In the examination of food characteristics, we focused on the adhesiveness, adhesion, hardness, cohesiveness, and color differences of Akamoku due to differences in boiling conditions, drying methods, and rehydration temperature conditions. The results suggest that, in terms of boiling conditions, long boiling at 90°C for 3 or 5 min is not suitable from the viewpoints of properties and color. In terms of drying methods, viscosity was enhanced by freeze-drying and the green color was remarkably retained, suggesting that freeze-drying is useful for retaining the viscosity and color of Akamoku.

In the examination of changes in functionalities, we focused on changes in the antioxidative activity of Akamoku due to boiling conditions. Total polyphenol content and

DPPH radical scavenging ability were determined using two types of Akamoku from different production areas, harvesting periods, and freezing conditions. The results showed that raw Akamoku of both types had higher polyphenol content and DPPH radical scavenging ability than processed Akamoku. Regarding the effect of boiling temperature on antioxidant properties, there was less variation in polyphenol content and antioxidative activity in the case of boiling at 60°C than in the case of boiling at 90°C, indicating that processing at lower temperatures may be effective in retaining antioxidative activity. Furthermore, a positive correlation was observed between the total polyphenol content and DPPH radical scavenging ability, suggesting that polyphenols play an important role in antioxidant properties.

Regarding the functionality of consuming commercial processed Akamoku products, we aimed to explore the effect of incorporating commercially available boiled Akamoku or microwave-boiled Akamoku into breakfast or lunch meals along with rice on postprandial blood glucose dynamics. The experiment included three distinct test meals: a standard meal comprising rice, soup, and seasoning; an Akamoku-enriched meal incorporating commercially available processed Akamoku with standard components; and a microwave-boiled Akamoku meal with standard meal components. The blood glucose dynamics under these three dietary conditions were compared between healthy adult male and female participants. The results suggested that both boiled Akamoku and microwave-boiled Akamoku reduced postprandial maximum blood glucose level, elevated blood glucose level,

duration of elevated blood glucose level, and rate of elevated blood glucose level, but did not reduce blood glucose fall time and incremental area under the curve. These findings suggest that ingestion of Akamoku and heated Akamoku had an inhibitory effect on postprandial blood glucose elevation, but did not impede the bodily absorption of sugars or nutrients.

The findings of this study may increase our understanding of the food characteristics and functionality of Akamoku and promote its consumption. Furthermore, if the consumption of Akamoku expands, it is expected to contribute to the revitalization of local fisheries and fishing villages, as well as efforts to promote the sixth industrialization. Based on these results, future applications of Akamoku in the food industry are expected.

目次

第1章 序論

1-1 背景	1
1-2 研究の目的	7
1-3 引用文献	9

第2章 アカモクの加工による物性および色の変化

2-1 緒言	14
2-2 材料と方法	15
2-2-1 茹で加工条件および冷凍保存による影響の検討	
2-2-2 乾燥方法の違いによる影響の検討	
2-3 結果	18
2-3-1 茹で加工条件および冷凍保存による影響の検討	
2-3-2 乾燥方法の違いによる影響の検討	
2-4 考察	20
2-4-1 茹で加工条件および冷凍保存による影響の検討	
2-4-2 乾燥方法の違いによる影響の検討	
2-5 引用文献	59

第3章 アカモクの加工による機能性の変化

3-1 緒言	60
3-2 材料と方法	60
3-2-1 材料	

3-2-2	試料の抽出方法	
3-2-3	アカモクの抗酸化能の評価	
3-2-4	統計解析	
3-3	結果	62
3-4	考察	63
3-5	引用文献	72

第4章 アカモク加工品の摂取が血糖動態に及ぼす影響

4-1	緒言	74
4-2	材料と方法	75
4-2-1	被験者	
4-2-2	試験食	
4-2-3	使用機器	
4-2-4	試験デザイン	
4-2-5	血糖値測定および評価方法	
4-2-6	統計解析	
4-3	結果	78
4-3-1	被験者の基本情報	
4-3-2	試験食摂取の基本データ	
4-3-3	血糖値データ	
4-4	考察	80
4-5	引用文献	95

第 5 章 総括

5-1 総括 98

5-2 引用文献 104

謝辞

第1章 序論

1-1 背景

1-1-1 アカモクについて

アカモク (*Sargassum horneri*) は、褐藻綱ヒバマタ目ホンダワラ科に属する一年生の褐藻で、日本では北海道東部を除く全国に広く分布しており、ガラ藻場を構成する海藻の一種である。ガラ藻場とは、対馬暖流の影響を受ける沿岸域や瀬戸内海の岩場に生育する多様な褐藻類のホンダワラ属から構成される藻場のことであり、多数の卵形の気泡をまとい海中で立ち上がり、緻密な藪状の茂みを形成することでメバルなど魚類のたまり場や産卵場、幼稚魚の成育場としての役割を果たしている^{1),2)}。アカモクは高い生産力を持ち³⁾、藻場を形成することや、リンなどを栄養成分として吸収することによる水質浄化や赤潮防止などの役割を担うなど、沿岸域の生態系に重要な役割を果たしている⁴⁾。

食用のアカモクは生殖器床をつける早春に収穫される。生殖器床の発達する時期のアカモクを茹で加工すると特有の粘り気が出るため、茹で加工後に刻まれた状態で販売されている。食品としての利用については地域差があり、主に東北地方や北陸地方において食されてきた。秋田県では「ぎばさ」、新潟県では「ながも」、富山県では「ナガラモ」と呼ばれ食用として採取されている^{1),5)}。一方で、枯死・流失したアカモクは絡まりあい、数メートルの大きさにもなる流れ藻とな



Photo 1-1 茹で加工後のアカモク
※鞘状のものが生殖器床

り海面を漂うため、漁船のスクルーや漁網、養殖筏に絡まるなど漁業の邪魔にもなることから、漁業の盛んな多くの地域では「ジャマモク」と呼ばれ敬遠され、食用とされずに廃棄されていた⁶⁾。しかし、2000年代に入ると健康に良い新規食材として着目されて利用が広まってきており、現在では全国的に販売されるに至っている。

1-1-2 アカモクの成分

長門市で収穫されたアカモクの成分を Table 1-1 および Table 1-2 に示す。

Table 1-1 アカモクの栄養成分*		Table 1-2 アカモクのミネラル等*	
エネルギー (kcal)	14	ヒ素 (ppm)	8.2
タンパク質 (g)	1.1	カリウム (mg/100g)	119
脂質 (g)	0.1	カルシウム (mg/100g)	78
炭水化物 (g)	5.6	マグネシウム (mg/100g)	41
灰分 (g)	1.1	鉄 (mg/100g)	2.4
ナトリウム (mg)	249	フコキサンチン (mg/100g)	7.18
食塩相当量 (g)	0.6	フコース (g/100g)	0.8
	(100g あたり)	総クロロフィル (mg/100g)	12.7
		ポリフェノール (mg/100g)	95
		ビタミン K (μ g/100g)	23

※株式会社 EVAH 調べ (2016)

ヒジキをはじめとする褐藻類はヒ素を比較的高濃度に含んでいることが知られている⁷⁾。しかし、ヒジキに含まれるヒ素は乾燥品を水戻しした後に茹でこぼすことにより、9割程度減少することがわかっている⁸⁾。また、食品安全委員会のホームページに掲載されている Q&A には、「通常の調理方法に基づき料理されたヒジキを適度に食べる場合においては、ヒジキに含まれるヒ素について心配することはないと考えられる」と記載されており⁹⁾、健康上のリスクを増加するものではないと考えられている。アカモクについても Table 1-2 に示したように質量あたり 8.2ppm のヒ素を含んでおり、この値は水戻し物のヒジキ (6.0mg/kg⁸⁾) より高い。しかし、アカモクにおいても熱湯処理を行うことでヒ素の含有量が半減から 8割減少することが花岡ら¹⁰⁾によって明らかにされており、ヒジキと同様に適度に食べる場合は健康リスクを増加するものではないと推察される。

1-1-3 アカモクの利用状況

アカモクの漁獲量に関する統計データは少ないが、近県では本県と同様に利用実態がほとんどなかった鳥取県において、2014年にはわずか数トンであった収穫量が2018年に約50トンまで急増しており、急速に利用が拡大している¹¹⁾。山口県では、山口県漁協仙崎地方卸売市場において需要の高まりに応じて漁獲量が増加し、2018年に120トンの漁獲があったとの報告がなされている¹²⁾。同市場のある長門市では、市内の水産加工業者を中心に「長州赤もく協議会」を2016年1月に立ち上げ、安定生産や、料理教室やレシピ紹介を通じた消費拡大、商品開発の他、資源保護に関する活動に取り組んでいる^{13),14)}。また、全国の漁業者が、5年間で1割以上の所得向上を目指して取り組む内容を地区ごとにまとめている「浜の活力再生プラン」において、第1期（活動期間2014～2018年度）には山口県内10地域中1地域でのみ、取組みの一つとして「アカモク加工の検討」が挙げられていたが¹⁵⁾、第3期（2024～2028年度）には10地域中4地域にその取組みが拡大している。取組み内容も「養殖の技術開発」「加工・出荷体制の整備」「販売先の拡大」「消費者ニーズの検討」といった内容に変化しており、生産者側も近年の需要拡大後の生産や販売の安定化と拡大、消費者へのアプローチに向けて取り組みを始めている¹⁶⁾。

一方、アカモク利用の先進地域である新潟県においては、地域の特産として古くから親しまれており対外的な発信を含む様々な取組みが行われている。その一つに、プライドフィッシュへの選定がある。プライドフィッシュとは、全国漁業協同組合連合会が中心となって、地域の漁業者が自信をもってすすめる魚介類を四季ごとに選定し、その特徴や、食べられるお店などの情報発信を行うプロジェクトである¹⁷⁾。2025年1月時点で、全国で295種の魚介類が選定されており¹⁸⁾、新潟県はアカモクを「佐渡のナガモ」の名称で春の魚介類として2014年に選定している¹⁹⁾。また、同県では2010年に養殖アカモクの収穫・出荷に成功し、現在も新潟県水産海洋研究所では増養殖技

術の開発が行われており²⁰⁾、天然資源のみに頼るのではなく増殖・養殖を通じて資源の維持や増大へ向けた取り組みも行われている。

1-1-4 アカモクに関する先行研究

現在に至るまでのアカモクに関する研究は、大きく 3 種類に分けられる。第一は、アカモクの生態に関する水産学的な研究である。

1980 年代ごろから、本種の持つ高い生産力や生長に関する研究が小浜湾⁴⁾や三浦半島小田和湾²¹⁾、松島湾³⁾を調査対象地域として行われている。また、これら天然のアカモクに関する研究の他、増養殖に関する研究も同時期から行われるようになり、現在においても需要の増大を受け、各県で増養殖技術開発に関する研究が行われている^{21),22),23)}。初期の研究の例として、山口県秋穂湾で行われた藻場造成²⁴⁾や、藻場を造成するために海域に設置するアカモクの幼体への食害を、有機酸を用いて防止する技術に関する研究²⁵⁾などがある。

第二は、アカモクに含まれる機能性成分に関する研究であり、カロテノイド系色素成分フコキサンチンや粘質多糖類フコイダン、アルギン酸などについて検討されている。このような研究は 2000 年前後ごろから現在にかけて行われている。

アカモクは生の状態では褐色を帯びている。これは光合成色素がフコキサンチン-クロロフィルタンパク質複合体の形で存在するためである²⁶⁾。アカモクを熱湯で茹でることで、この複合体が分解し鮮やかな緑色に変化する²⁷⁾とともに、特有の強い粘り気のある食感となる²⁸⁾。その粘り成分は水溶性食物繊維のフコイダンとアルギン酸であることが既に報告されており、アカモクには特にフコイダンが他の海藻よりも多く含まれていることにより特有の粘りを生ずる²⁹⁾。フコイダンの含量には季節的変動があり、春先（福岡県日本海沿岸においては 2 月）にアカモクが成熟し、生殖器床が出現するとフコイダン量が急増することが福岡県大島産のアカモクにおいて報告されて

いる³⁰⁾。アルギン酸の含量については、福岡県大島産のアカモクにおいて季節的な増減は示さないという報告³⁰⁾がある一方、岩手県産アカモクにおいては変動があることが報告されており³¹⁾、生育環境による差があることが考えられる。

これらの多糖類については、これまでに様々な生理活性があることが報告されている。生理活性としては、便秘改善作用³²⁾、フコイダン、アルギン酸ナトリウム、寒天等の海藻由来多糖類による高血圧改善作用や血中コレステロール低下作用³³⁾などが以前から知られている。さらに近年は、免疫調節機能について詳細な検討がなされている³⁴⁾。これらの研究成果を受けて、すでにサプリメントとして販売されている製品もあり、その安全性や有効性についても検討がなされている。その一例としては、北海道産のガゴメコンブフコイダンについて、健常者の免疫機能の低下予防や維持に有効であること³⁵⁾、高齢者に対しても安全性の高い機能性食品素材であることが報告されている³⁶⁾。

また、アカモクは褐藻類に特有の光合成色素であるフコキサンチンを多く含んでおり、その含量は同じ褐藻類のマコンブやホンダワラより多いことが報告されている²⁷⁾。フコキサンチンは抗酸化性を持ち、がんの予防作用、抗肥満作用、脂質代謝改善作用、高血糖改善効果など多くの機能が期待されている^{27),37)}。

第三は、海藻食の食文化、アカモクの調理操作による含有成分の変化等に関する家政学系の研究である。アカモク添加により、食品のミネラル、食物繊維の増強を図ることや⁶⁾、かまぼこ、パン、パンケーキなどの食感の改善ができることが報告されている³⁸⁾。また、地場産物を用いた食育の素材として京都産のアカモク料理が用いられている研究報告もあり、アカモクの認知度やアカモクの食意欲が上昇したことが報告されている³⁹⁾。

このように日本においてはアカモク研究について様々な側面からの報告がなされているが、世界的なアカモク研究の動向を知るために PubMed を用いて検索を実施し

た。アカモクの学名である *Sargassum horneri* を用いて検索を行ったところ、論文発表件数は、Fig. 1-1 のように 2013 年頃より増加してはいたが、論文総数としては 2010 年から 2024 年までで 154 件と決して多くはなく、ほとんどが韓国等の海藻食文化のある地域からの論文であった。

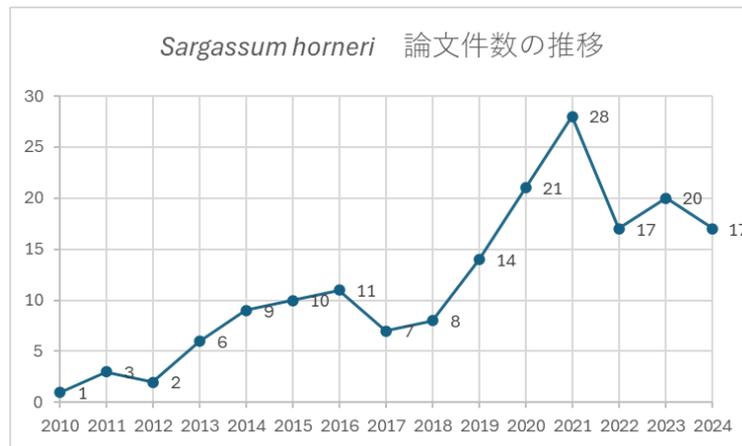


Fig. 1-1 *Sargassum horneri* で検索した PubMed 内論文数

その他の地域の論文としては、中国およびアメリカでの流れ藻や増殖に関する論文が 18 件あった。このうち中国においては、2012 年に東シナ海で大規模なアカモクのみからなる流れ藻が観測⁴⁰⁾された後、2017 年から 2021 年の春季に黄海や東シナ海でアカモクなどの海藻の大発生（ブルーム）が起きた⁴¹⁾ことから関連の論文が多くなっている。例として海洋環境との関係や衛星画像を用いたブルームの検出に関する研究がなされている^{42),43)}。また、アメリカでは、近年、カリフォルニア沿岸において従来は生息していなかったアカモクが急速に生息域を拡大していることから、生態に関する研究や拡大防止に関する研究がなされている^{44),45)}。両国に共通している点は、日本で利用が拡大する前の「ジャマモク」と称されていた状況と類似していることである。中国ではアカモクのブルームは「有害な大型海藻のブルーム（HMBs : Harmful macroalgal blooms）」と呼ばれ⁴⁶⁾、アメリカではアカモクは「侵略的大型海藻(Invasive marine macroalga）」との位置づけがなされる⁴⁵⁾など、いずれも地域から敬遠されてお

り、有用な資源として利用に関する研究がなされている日本や韓国とは状況が大きく異なっている。2013年からの増加は、そのうち、本研究と関連の深い内容として *Sargassum horneri* と serum glucose で検索される論文については2021年に2件、*Sargassum horneri* と diabetes で検索される論文は2021年と2023年に発表されており、総数は3件であった。このうち1件は両方のキーワードで検索されたため、総数としては4件であった。これらの研究は、インビトロ試験、細胞試験または動物実験で実施されており、本研究で用いた人に対する影響を見たものはなかった。また、*Sargassum horneri* と antioxidant で検索される論文は2010年以降に見られ、35件とその発表数は多かった。

1-2 研究の目的

現在の日本においては、肥満予防や生活習慣病対策の観点から、糖質や脂質の吸収抑制作用があることはメリットとして捉えられているが、高齢者等の栄養不良が懸念される者にとって、特定の食品を摂取したことによる糖質や脂質の吸収抑制は大きな問題である。同じく不足しがちな微量栄養素に関しては吸収抑制がみられることはどのような者にとっても好ましいことではない。本研究によって、含有成分ではなく、食品として摂取されたアカモクが各種栄養素の吸収に及ぼす影響を明らかにできれば、消費者の求める機能性情報を、科学的根拠をもとに提示できるようになる。このことは、消費者がアカモクを伝統的な海藻と同様に食材として選択し、積極的に納得性のある消費に資するものであると考える。また、万一、マイナスの影響が大きい場合には、それを最小限に留められるような加工・調理・喫食方法も併せて検討することで、提供できる情報の幅を広げることが可能となる。

本研究においては、アカモクの食品特性や機能性を多角的に明らかにし、消費者にとって食材としてのアカモクのより深い理解や、これに基づいて用途や目的に応じた

選択が可能となることに寄与することを目的とし、アカモクを調理・加工した際の食品特性や機能性の変化、そしてアカモクを摂取した際の機能性について検討した。

第2章においては、茹で加工およびミンチ処理後に冷凍保存されたアカモクあるいは乾燥させたアカモクの利用を念頭に、乾燥方法や調理時の水戻しの温度条件によって、アカモクの特徴である粘り気のある物性や鮮やかな緑色が、どのように変化するかを検討した。第3章においては、加工用途向けに採取後、生のまま冷凍されたアカモクと、販売用に茹で加工およびミンチ処理をしたアカモクについて、期待されている機能性の一つである抗酸化性に、茹で加工温度が与える影響について検討した。

第4章においては、アカモクに多く含まれ、その特有の粘り気を生み出すフコイタンをはじめとした多糖類や、光合成色素のフコキサンチンが持つ機能性である高血糖改善効果に着目し、市販の茹で加工およびミンチ処理がなされたアカモク加工品の摂取が、ヒトの血糖動態に与える影響について検討した。第5章では、全体を総括し、今後のアカモク利用についての展望について述べた。

1-3 引用文献

- 1) 福田裕, 山澤正勝, 岡崎恵美子監修: 全国水産加工品総覧. 光琳, 東京, 550-551, 2005.
- 2) 水産庁: 藻場の働きと現状(藻場の種類). URL:http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba_genjou/syurui.html (2024年10月1日閲覧)
- 3) 谷口和也, 山田秀秋: 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. 東北区水産研究所研究報告, 50, 59-65, 1988.
- 4) Umezaki, I.: Ecological Studies of *Sargassum horneri* (TURNER) C. AGARDH in Obama Bay, Japan Sea. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 50(7), 1193-1200, 1983.
- 5) 海老名秀: アカモク凍結乾燥物の性状及びその乾燥物を用いた増粘性に関する研究. 新潟県水産海洋研究所研究報告, 2, 63-68, 2009.
- 6) 谷口(山田) 亜樹子, 栗彩子, 佐藤裕子, 風見真知子, 野口治子: 産地の異なるアカモクの成分比較とアカモクの食品への利用. 日本家政学会誌, 70(3), 133-139, 2019.
- 7) 小川梨絵, 佐野栄, 榊原正幸: 海藻中のヒ素含有量と食品としての安全性について. 愛媛大学教育学部紀要, 53(1), 131-136, 2006.
- 8) 農林水産省: 食品に含まれるヒ素の実態調査. https://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_as/occurrence.html. (2022年2月16日更新、2024年12月1日閲覧)
- 9) 食品安全委員会: 食品安全総合情報システム. ヒジキに含有されている無機ヒ素について. <https://www.fsc.go.jp/fsciis/questionAndAnswer/show/mob07009000005> (2024年12月1日閲覧)
- 10) 花岡研一, 宮本真至, 臼井将勝: アカモクに含まれるヒ素濃度に及ぼす熱湯処理の影響. 水産大学校研究報告, 61(1), 33-48, 2020.
- 11) 鳥取県水産試験場: 魚取新報 2019年3月号. <https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1192214/3103.pdf> (2024年12月1日閲覧)

- 12)河野光久：山口県日本海域における海洋環境と海洋生物．山口県水産研究センター研究報告, 17, 33-48, 2020.
- 13)長州海の幸プロジェクト：<https://to-evah.net/choshu-akamoku-kyogikai/> (2024年12月1日閲覧)
- 14)人見英里,二宮静香,齋藤義之：山口県における海藻アカモクの認知度．山口県立大学学術情報, 13, 看護栄養学部紀要, 85-98, 2020.
- 15)三木奈都子：山口県における地産地消型流通と水産政策．漁業経済研究, 61(1), 91-97, 2017.
- 16)水産庁：山口県,福岡県,佐賀県,長崎県,熊本県,大分県,宮崎県,鹿児島県の「浜の活力再生プラン」「浜の活力再生広域プラン」一覧．https://www.jfa.maff.go.jp/bousai/hamaplan/kyusyu_area/kyusyu_area.html (2024年12月1日閲覧)
- 17)農林水産省：特集1 水産日本の復活！（6）魚介類の消費拡大を目指す「プライドフィッシュ」プロジェクト 魚の“真のおいしさ”を知ってほしいー．https://www.maff.go.jp/j/pr/aff/1409/spe1_06.html (2024年12月1日閲覧)
- 18)プライドフィッシュ：全国のプライドフィッシュ．<https://www.pride-fish.jp/JPF/index.php> (2025年1月5日閲覧)
- 19)新潟県：佐渡のお魚情報通信（ナガモ第2号）．https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/sado_nourinsuisan/1356801105806.html (2024年12月1日閲覧)
- 20)新潟県水産海洋研究所：有用魚介藻類増養殖技術開発事業．新潟県水産海洋研究所年報, 52-54, 2024.
- 21)寺脇利信：三浦半島小田和湾におけるアカモクの生長と成熟．水産増殖, 33(4), 177-181, 1986.
- 22)黒川皓平,後川龍男,野副滉,田中慎也：豊前海におけるアカモク増殖手法に関する研究．福岡県水産海洋技術センター研究報告, 32, 7-14, 2022.

- 23)瀬田智文,倉島彰：種苗生産時に生じるサイズの違いが養殖アカモクの成長に及ぼす影響．日本藻類学会, 70, 191-198, 2022.
- 24)中村達夫：アカモク・ヤツマタモクの藻場造成．水産土木, 20(1), 51-54, 1983.
- 25)大貝政治,柿元皓,花野政之,村尾敏一,長井 敏：アカモクの成長におよぼすカルボン酸・塩の影響とそれらを利用したアカモク藻場造成．水産工学, 29(3), 153-158, 1993.
- 26)日本光合成学会：光合成事典（Web版）フコキサンチン-クロロフィル a/c タンパク質複合体(FCP). <https://photosyn.jp/pwiki/?%E3%83%95%E3%82%B3%E3%82%AD%E3%82%B5%E3%83%B3%E3%83%81%E3%83%B3-%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%AD%E3%83%95%E3%82%A3%E3%83%ABa/c%E3%82%BF%E3%83%B3%E3%83%91%E3%82%AF%E8%B3%AA%E8%A4%87%E5%90%88%E4%BD%93%28FCP%29>
(2024年12月1日閲覧)
- 27)金沢和樹：生体内で有効な機能を発揮する褐藻カロテノイドのフコキサンチン．日本食品科学工学会誌, 59(2), 49-55, 2012.
- 28)村上海：海藻アカモクの特徴と食品利用．広島工業大学紀要研究編, 45, 263-270, 2011.
- 29)竹内昌昭,藤井建夫,山澤正勝：水産食品の事典．朝倉書店, 東京, 66, 2000.
- 30)木村太郎,上田京子,黒田理恵子,赤尾哲之,篠原直哉,後川龍男,深川敦平,秋本恒基：福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の季節変動．日本水産学会誌, 73(1), 739-744, 2007.
- 31)袁春紅：さんりく産海藻アカモクの健康機能成分分析と食品開発研究．三陸総合研究, 47, 23-26, 2022.
- 32)黄偉,仲居由香,藤田徹：海藻酵素分解物の便秘改善作用．FOOD Style21, 66-68, 2004.
- 33)Ren, D.L., Noda, H., Amano, H., Nishino, T., Nishizawa, K. : Study on Antihypertensive and antihyperlipidemic effect of marine algae. Fisheries science .60(1), 83-88, 1994.

- 34)宮崎義之：海藻由来硫酸化多糖類の食品機能性フコイダンの免疫制御作用を中心に。
化学と生物, 61(11), 539-546, 2023.
- 35)大野木宏,内藤裕二,東村泰希,宇野賀津子,吉川 敏一：ガゴメ昆布由来フコイダンの
健全成人の免疫機能への有効性ならびに安全性の評価。日本補完代替医療学会誌,
12(2), 87-93, 2015.
- 36)鈴木信孝,上馬場和夫,宋函,滝本裕子,鈴木里芳,川端豊慈樹,大野木宏,仲井 培雄：高
年齢者におけるガゴメ昆布フコイダンの安全性ならびに免疫機能への効果。日本補
完代替医療学会誌, 9(2), 149-155, 2012.
- 37)西川翔,細川雅史,宮下和夫：褐藻由来フコキサンチンの抗肥満,抗糖尿病効果とその
機序。化学と生物, 54(8), 580-585, 2016.
- 38)谷口（山田）亜樹子,佐藤裕子,牧田知江子,重田公子,高野克己：アカモク *Sargassum*
Horneri の機能性と食品への利用。平成 26 年度日本調理科学会大会研究発表要旨
https://doi.org/10.11402/ajscs.26.0_100
- 39)小谷清子,古谷佳世,猿渡綾子,和田小依里,東あかね：幼稚園と保育所の幼児と保護者
を対象とした地場産物（アカモク）を活用した食育の実践とその評価。栄養学雑誌,
78(1), 5-12, 2020.
- 40)Komatsu, T., Mizuno, S., Natheer, A., Kantachumpoo, A., Tanaka, K., Morimoto, A., Hsiao
S.T., Rothäusler, E.A., Shishidou, H., Aoki, M., Ajisaka, T. : Unusual distribution of floating
seaweeds in the East China Sea in the early spring of 2012. *Journal of applied phycology*,
26(2), 1169-1179, 2014.
- 41)Wang, Z.L., Yuan, C., Zhang, X.L., Liu, Y.J., Fu, M.Z., Xiao, J. : Interannual variations of
Sargassum blooms in the Yellow Sea and East China Sea during 2017-2021. *Harmful Algae*,
126, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2023.102451>
- 42)Qi, L., Hu, C. : To what extent can *Ulva* and *Sargassum* be detected and separated in satellite

- imagery?. *Harmful Algae*, 103, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102001>
- 43)Wu, H., Cheng, F., Chen, J., Li, H., Xu, J., He, P., Li, S. : Species-Specific Responses of Bloom-Forming Algae to the Ocean Warming and Acidification. *Plants*, 26(2), 1169-1179, 2014.
- 44)Ryznar, E.R., Smith, L.L., Fong, P. : Open space, not reduced herbivory, facilitates invasion of a marine macroalga, implying it is a disturbance-mediated "passenger" of change : *Marine Environmental Research*, 170, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105435>
- 45)Small, S.L., Edwards, M.S. : Thermal Tolerance May Slow, But Not Prevent, the Spread of *Sargassum horneri* (Phaeophyceae) along the California, USA and Baja California, MEX Coastline. *Journal of phycology*, 57(3), 903-915, 2021.
- 46)Xiao, J., Wang, Z., Liu, D., Fu, M., Yuan, C., Yan, T. : Harmful macroalgal blooms (HMBs) in China's coastal water: Green and golden tides . *Harmful Algae*, 107, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.102061>

第2章 アカモクの加工による物性および色の変化

2-1 緒言

アカモクはその生態的特徴から、山口県における収穫期は2月～3月頃に限られる。よって継続的な供給が難しく、これがアカモクの消費や認知度の低さにも少なからず影響を与えていると考えられる。市販されているアカモク加工品の茹で加工においては、加工業者の勘と経験とに基づき、80℃～90℃で行われているが、これより低い温度帯で加工を行っている例はない。安定供給や消費の促進のためには、保存による影響や茹で加工の際の温度などの条件が与える影響について明らかにし、品質の安定化を図る必要がある。

これまで、ゆで加熱された生食用アカモクは70℃以上の加熱を行うことで粘度低下が見られることや、調味料を添加しても添加後60分まで物性に变化がないことが人見ら（未発表データ）により明らかにされている。しかし、生アカモクの加工条件や長期保存がアカモクの特徴的な物性、色といった食品学的特性に与える影響については明らかになっていない。

本章では、茹で加工条件や冷凍保存、および乾燥方法がアカモクの食品学的特性に与える影響を明らかにすることを目的とし、2年間冷凍保存されたアカモクと半年間冷凍保存されたアカモクを用いて、茹で加工条件を変えた際の物性および色差を比較し、加工条件や冷凍保存の影響を検討した。また、生食用アカモク加工品を温風乾燥、凍結乾燥の二種類の方法で乾燥させたものを試料として、水戻し後の物性および色差の変化を比較し、乾燥方法および水戻し条件の影響についても検討した。

評価項目として、物性については食品のテクスチャー分析に広く用いられる特性である、付着性、付着力、付着距離、かたさ、凝集性を用いた。ツェスニャクのテクスチャープロファイルによれば、付着性とは、食品の表面と他の物（舌、歯、口蓋など）の間の引力に打ち勝つのに要する力のことを言い、一般的な用語としてネバネバ、ベ

タベタ、粘着性がある等で示される。付着力はこの中の粘着性を示す。かたさとは一定の変形をさせるのに必要な力、食品を形づくっている内部結合力のことを言う。凝集性とは、食品を破砕するときの力であるもろさ、固形食品を飲み込める状態にまで咀嚼するのに要するエネルギーである咀嚼性、半固形状食品を飲み込める状態にまで砕くのに必要なエネルギーであるガム性の3つの要素を持ち、まとまりやすさの指標となる²⁾。これらの特性の中でも特に、付着性、かたさ、凝集性は、えん下困難者用食品の規格基準にも用いられるなど、多くの場面で利用されている。また、色差については $L^*a^*b^*$ 値を測定し評価した。 $L^*a^*b^*$ 値とは、明度を表す L^* 、赤と緑の間の色を表す a^* 、黄色と青の間の色を表す b^* によって三次元の座標で表される色空間であり、食品の色調を測定するために用いられる表色系である。

乾燥法については、温風乾燥法と凍結乾燥法を用いることとした。温風乾燥は、加熱空気を送風することにより食品中の水を蒸発させる方法である³⁾。簡単な装置で行うことができ、乾燥時間も短いというメリットがある一方で、食品の中心部と内部で乾燥程度に差が出来て、外側が収縮して硬くなるというデメリットがある⁴⁾。一方、凍結乾燥は、凍結した食品を真空状態で水分の昇華により乾燥させる方法である³⁾。終始低温で処理されるため、材料表面色、香り成分および栄養素等の熱的変性が少ないこと、凍結したままの形で水分だけが蒸発し乾燥が進むため組織の変化や表面の硬化がみられず、水を加えた際の復元性が極めて良い等の特徴がある⁵⁾。

2-2 材料と方法

2-2-1 茹で加工条件および冷凍保存による影響の検討

(1) 材料

山口県長門市の水産加工業者から、2019年3月上旬および2021年3月上旬に収穫後、未加熱で凍結保存されたアカモクを購入した（以下、それぞれアカモク（2019）

およびアカモク（2021）とする）。アカモクは適宜解凍して主軸を取り除いた後、各種条件で茹で加工を行い、30分の水切り後、ミキサーで細断し測定用試料とした。茹で加工の条件は温度を60℃、75℃、90℃の3条件、茹で時間を1分、3分、5分の計9条件で茹で加工を行った。また、比較のため、市販のアカモク加工品（株式会社EVAHにより茹で加工後、細断されパック詰めされた製品）についても試料とした。

（2） 物性の測定

物性の測定には、クリープメータ（レオナーⅡ RE2-33005S：株式会社山電）を用い、嚥下困難者用食品の測定規格を参考にし、テクスチャー解析を用いて測定を行った。用いたプランジャーは直径20mm、高さ8mmの円盤型（No.56）で、クリープメータ本体の設定は、測定速度10mm/秒、歪率66.67%、戻り距離7mmの2回圧縮測定とした。試料は直径40mm、深さ15mmのステンレスシャーレに充填し、測定に用いた。測定は、前述の茹で加工条件ごとに5連で行った。測定項目は付着性、付着力、付着距離、かたさ、凝集性とした。

（3） 色差の測定

色差の測定には測色色差計（ZE6000：日本電色工業株式会社）を用いた。測定には丸セル（直径35mm、深さ15mm）を用いてL*a*b*値について3点測定を行い、平均値を測定結果として用いた。測定はアカモク（2019）については、購入後すぐと2年間の冷凍保存後の2回行い、アカモク（2021）については購入後すぐに行った。

（4） 統計解析

統計解析には統計解析ソフト（エクセル統計 株式会社 社会情報サービス）を用い、一元配置分散およびTukey-Kramerの多重比較検定を用い、各試料間の比較を行った。

有意水準は 5% および 1% とした。

2-2-2 乾燥方法の違いによる影響の検討

(1) 材料

山口県長門市の水産加工業者から 2018 年 3 月に購入した、茹で加工後ミンチ状に加工されたアカモクを用いた。アカモクは購入後、温風乾燥（恒温乾燥器 MOV-212F (U) : SANYO) および凍結乾燥（真空凍結乾燥機 DRZ350WC : 株式会社 アドバンテック）を行ったものを試験に用いた。試験ではそれぞれ乾燥前の水分量となるよう蒸留水を加え以下の条件で水戻しを行い、測定用試料とした。アカモクの水戻し条件は、20℃、40℃、60℃、80℃、100℃とし、水（湯）に乾燥アカモクを入れた後、室温で 30 分間静置して水戻しを行い以下の測定に供した。測定は水（湯）戻しを開始してから、30 分、60 分、90 分、120 分経過後の 4 点で行った。また、乾燥前のアカモクも測定に用い比較を行った。

(2) 物性の測定

物性の測定は 2-2-1 (2) と同様に行ったが、戻り距離を 50mm とした。測定は 20℃、40℃、60℃では 2 つ、80℃、100℃では 3 つの試料を採取し、7 連で行った。

(3) 色差の測定

色差の測定には測色色差計（ZE6000 : 日本電色工業株式会社）を用いた。測定には丸セル（直径 35mm、深さ 15mm）を用いて $L^*a^*b^*$ 値について 3 点測定を行い、平均値を測定結果として用いた。

(4) 統計解析

統計解析には統計解析ソフト（エクセル統計 株式会社 社会情報サービス）を用い、一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定を用い、各試料間の比較を行った。有意水準は 5%および 1%とした。

2-3 結果

2-3-1 茹で加工条件および冷凍保存による影響の検討

(1) 物性の測定

付着性の結果を Table 2-1-1、Fig. 2-1-1、2-1-2 に、付着力の結果を Table 2-1-2、Fig. 2-1-3、Fig. 2-1-4 に、付着距離の結果を Table 2-1-3、Fig. 2-2-5、Fig. 2-1-6 に、かたさの結果を Table 2-1-4、Fig. 2-1-7、Fig. 2-1-8 に、凝集性の結果を Table 2-1-5、Fig. 2-1-9、Fig. 2-1-10 に示した。また、長期間の冷凍保存後に行った今回の加工実験により得られた物性のデータを、加工業者により製造された市販のアカモク加工品の物性と比較するため、Fig. 2-1-1~Fig. 2-1-10 に示したデータと市販品の測定結果を Fig. 2-1-11~Fig. 2-1-15 に示した。

アカモク（2019）について、付着性は茹で温度 60℃では茹で時間に伴って低下し、75℃では茹で時間に伴って上昇した。付着力は茹で温度 60℃では茹で時間に伴って低下し、75℃および 90℃では茹で時間に伴って上昇した。付着距離は、茹で温度や茹で時間で大きな値の変化はなかった。かたさは茹で温度 60℃で茹で時間に伴って低下し、75℃および 90℃では茹で時間に伴って上昇した。凝集性は茹で温度 60℃および 75℃では有意差は認められず、90℃で低下した。アカモク（2021）については、付着性は茹で温度 60℃および 75℃では茹で時間に伴って低下し、90℃では 3 分で突出して高値を示した。付着力は茹で温度 60℃および 75℃では茹で時間に伴って低下し、90℃では茹で時間に伴って上昇した。付着距離は、茹で温度 60℃および 75℃では時間による大きな値の変化はなく、90℃では茹で時間に伴って上昇した。かたさは茹で温度 60℃

で茹で時間に伴って低下し、75℃および90℃では茹で時間に伴って上昇した。凝集性は茹で温度60℃および75℃では有意差は認められず、90℃で低下した。アカモク(2019)およびアカモク(2021)とでは、茹で温度60℃および90℃で茹で時間に伴う変化が類似していたが75℃では傾向が異なっていた。アカモク(2019)およびアカモク(2021)の物性を市販品と比較すると、60℃、75℃、90℃1分の茹で加工において市販品と大きく異なる値は少なく、90℃3分や5分の茹で加工では、アカモク(2019)およびアカモク(2021)が付着性、付着力、かたさで高値を示し、凝集性が低値を示す傾向が認められた。

(2) 色差の測定

結果を Table 2-1-6、Fig. 2-1-16～Fig. 2-1-21 に示した。アカモク(2019)、アカモク(2021)共にL*値、b*値ともに、茹で加工による変化は見られなかったが、a*値については茹で温度の上昇、茹で時間の増加に伴い上昇した。アカモク(2019)について、購入後すぐに測定した結果と2年間の冷凍保存後に測定した結果を Fig. 2-1-22～Fig. 2-1-24 に示した。冷凍保存前には60℃1分、5分、90℃1分、5分という条件で色差を測定しており、その結果と比較すると、冷凍後はどの条件においてもL*値は低く、b*値は高くなり、a*値は大きな変化はなかった。

2-3-2 乾燥方法の違いによる影響の検討

(1) 物性の測定

付着性の結果を、Table 2-2-1、Fig. 2-2-1～2-2-4 に、付着力の結果を Table 2-2-2、Fig. 2-2-5～2-2-8 に、付着距離の結果を Table 2-2-3、Fig. 2-2-9～2-2-12 に、かたさの結果を Table 2-2-4、Fig. 2-2-13～2-2-16 に、凝集性の結果を Table 2-2-5、Fig. 2-2-17～2-2-20 に示した。付着性は時間経過に伴う変化はほとんどなく、乾燥前のアカモクと比較

して、凍結乾燥、温風乾燥ともに 20℃で有意に低値を示した。また、凍結乾燥と温風乾燥ともに低値で、乾燥法による差が見られなかった。付着力においては、温風乾燥および乾燥前のアカモクと比較し、凍結乾燥では有意に高値となった。付着距離においては、乾燥前のアカモクと比較して凍結乾燥、温風乾燥が有意に低値を示した。かたさにおいては、凍結乾燥、温風乾燥とも 100℃で値の上昇がみられた。また、乾燥前のアカモク、温風乾燥と比較し、凍結乾燥で有意に高値を示した。凝集性においては、乾燥前のアカモクと比較し、凍結乾燥、温風乾燥ともに低値を示した。

(2) 色差の測定

色差の結果を Table 2-2-6、Fig. 2-2-21～2-2-26 に示した。a*値においては、凍結乾燥で温風乾燥よりも低値を示していた。加えて、凍結乾燥では 60℃の湯戻しから、温風乾燥では 80℃での湯戻しから、a*値の上昇を認めた。また、乾燥前のアカモクとの比較では、L*値はすべての温度帯でやや低値を示し、b*値はほとんど変化は見られなかった。

2-4 考察

2-4-1 茹で加工条件および冷凍保存による影響の検討

本章では冷凍保存の影響を調べるために、2年間冷凍保存されたアカモク（2019）と、半年間冷凍保存されたアカモク（2021）を用いたが、これらのアカモクは収穫時期や産地が異なり、冷凍保存期間のみが異なるわけではないことから、両者の間の比較は行わないこととした。

すでに述べたとおりアカモク特有の粘り気はフコイダンやアルギン酸といった水溶性食物繊維を多く含むことに起因している。アルギン酸水溶液の粘度は分子量に応じて上昇する⁹⁾とされている。また、アルギン酸は熱に弱く、短時間で分子量（重合

度) が低下することが知られており、分子量を維持するためには、なるべく低い温度で保存する必要がある⁷⁾。今回、アカモク (2019)、アカモク (2021) の 90℃の茹で加工では、茹で時間に伴う付着力およびかたさの上昇や凝集性の低下が見られた。これは、加熱によるアルギン酸の低分子化によって粘性が低下し、細切したアカモクがまとまりづらくなったことにより生じたと推測された。細断したアカモクを手で混ぜてみたところ、アカモク (2019)、アカモク (2021) とともに 60℃、75℃では強い粘りがあると同時に柔らかさがあったが、90℃の茹で加工では混ぜた時に糸を引かず、粘りよりも重さを感じられた。

また、市販のアカモクとの比較においては、90℃で3分以上の茹で加工を行わなければ大きく異なる値とならなかったことから、2年間程度の長期の冷凍保存が物性に与える影響は少ないと考えられた。また、この条件での茹で加工はアカモク特有の粘り気を低下させることが明らかになった。

色差について、クロロフィルは熱に対して比較的不安定で、特に 70℃以上においては顕著な分解褪色、すなわちクロロフィルのフェオフィチン化が進み、色が汚くなってしまっている⁸⁾。よって 60℃ 1分ではクロロフィルが維持され緑色が強く、茹で時間、茹で温度の上昇に伴いだんだんと褐色を呈し、90℃ 5分で一番強く褐色を呈したと考えられた。目視でもアカモク (2019) は赤褐色、アカモク (2021) は緑色であると確認できたが、これは a*値の差が大きく関係していると考えられた。また、アカモク (2019) を用いた冷凍前後の色差の比較では、冷凍保存期間が長くなることによって、明度が落ち、黄みが増したものの緑色の退色は抑えられることが明らかになった。

以上のことから、2年間程度までの冷凍保存がアカモクの特徴的な物性に与える影響は少なく、色についても影響は限定的であり、生アカモクの冷凍保存は食品学的特性の著しい劣化を招くものではないと推測された。また、茹で加工条件では、90℃ 3

分、5分といった長めの茹で加工は適さないことが推測され、市販品の茹で加工が80℃～90℃で30秒～1分で行われていることを考えると、加工業者は経験によってアカモクに適した加工を行っていることが示唆された。

2-4-2 乾燥方法の違いによる影響の検討

付着性の観点からは、20℃での水戻しはアカモクを戻す条件としては適していない可能性が示唆された。付着力において凍結乾燥で高値となったことは、アカモクが凍結乾燥により多孔質になったため、含まれている細胞間粘性多糖類であるフコイダンが溶出されやすくなったことが原因と考えられる⁹⁾。かたさにおいて見られた100℃での値の上昇については、100℃では他の温度よりも水の蒸発がしやすくなるため、アカモクを蒸留水に投入する際等の蒸発が防げずに水分量が低下し、かたさの上昇を招いた可能性があると考えられる。かたさが凍結乾燥で高値を示した理由については解明できていないため、今後、電子顕微鏡観察を行うなど要因の分析を進めていく必要がある。凝集性とかたさの結果から、凍結乾燥はかたく、まとまりにくいテクスチャーであるが、温風乾燥は比較的柔らかく、まとまりやすいテクスチャーとなっていることが示唆された。

本研究では乾燥前の水分量になるように乾燥アカモクに蒸留水を加えて水（湯）戻しを行ったが、今後は加える水の分量の検討や、他の加工条件におけるアカモクの物性についても検討が必要であると考えられる。

色差については、水（湯）戻し温度の上昇により、色味が暗くなり、緑色から褐色に近づくと推察された。水（湯）戻し温度上昇に伴いa*値が上昇傾向を示した原因としてはすでに述べたクロロフィルのフェオフィチン化や、フェオフォルバイドへの分解によりa*値が上昇したためと考えられる¹⁰⁾。

また、凍結乾燥が温風乾燥よりも低値を示していたことは、凍結乾燥が温風乾燥と

比較して終始低温で処理が行われるため、色素成分や香気成分などの熱的変性が少ないことが原因と考えられる¹¹⁾。

以上のことから、凍結乾燥では粘性が強化され、色差は緑色が保持された。また温風乾燥では生食用アカモクに近いテクスチャーとなるものの、色差では a*値の上昇により赤みがかった色を呈した。これらのことから食品への応用には色や粘性の保持の点から凍結乾燥法が有用であると推察された。今後は、水(湯)戻しの際の添加する水分量の検討や、他の加工条件におけるアカモクの特性に与える変化についての検討をしていく必要があると考えられる。

Table 2-1-1 茹で加工による付着性の変化

茹で温度・時間		付着性 [J/m ³]	
		(2019)	(2021)
60°C	1分	363.95 ± 9.10	404.31 ± 13.77
	3分	304.21 ± 9.48	313.12 ± 24.64
	5分	298.94 ± 17.19	275.11 ± 21.15
75°C	1分	387.44 ± 24.52	395.61 ± 13.30
	3分	487.25 ± 23.04	288.59 ± 32.29
	5分	605.24 ± 47.18	318.31 ± 13.84
90°C	1分	594.6 ± 38.44	384.81 ± 14.09
	3分	531.43 ± 83.09	737.25 ± 65.95
	5分	497.79 ± 0.08	426.42 ± 20.53

※値は5連測定の平均値±SD

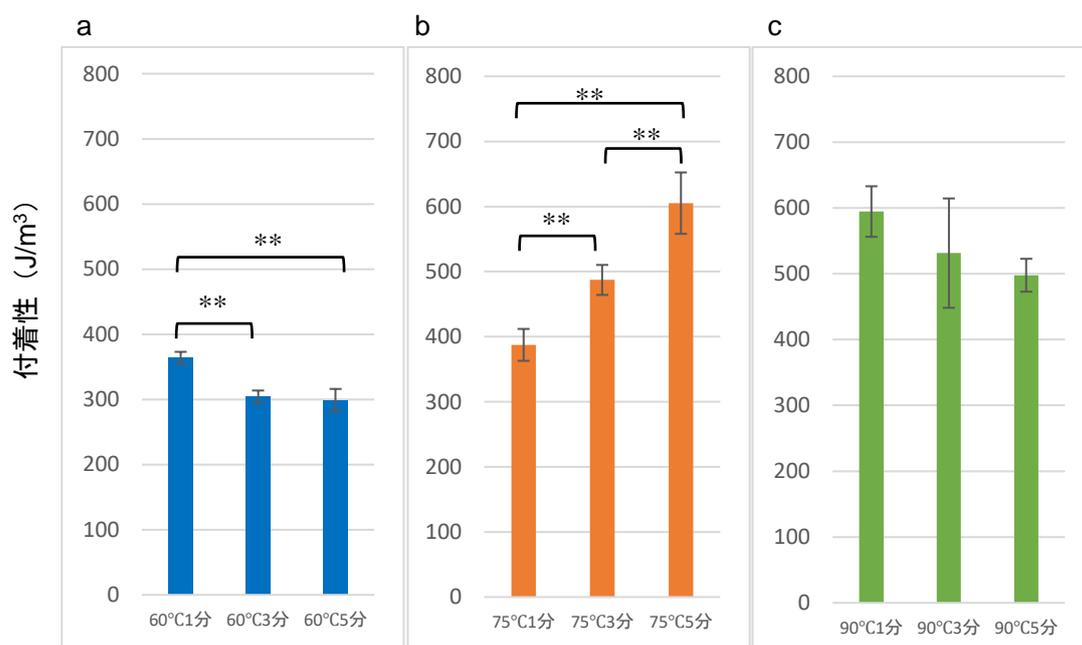


Fig. 2-1-1 アカモク (2019) の茹で加工による付着性の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定
の平均値±SD (** : p<0.01)。

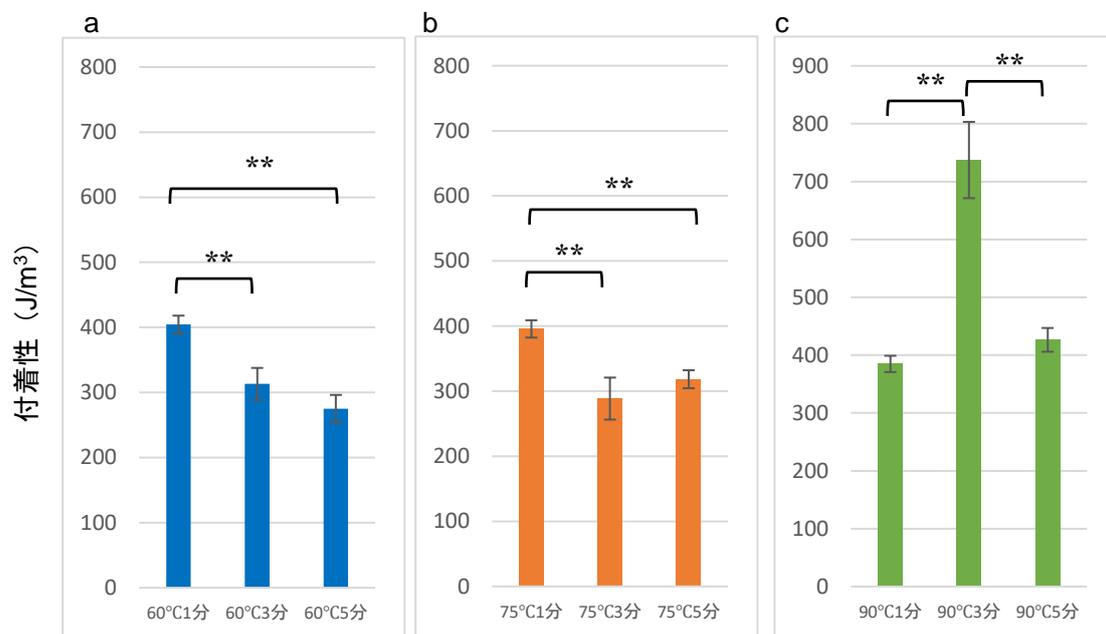


Fig. 2-1-2 アカモク (2021) の茹で加工による付着性の変化

※a は 60°C、b は 75°C、c は 90°C のグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は 5 連測定の平均値±SD (** : p<0.01)。

Table 2-1-2 茹で加工による付着力（荷重）の変化

茹で温度・時間		付着力（荷重） [N]	
		(2019)	(2021)
60°C	1分	0.14 ± 0.00	0.16 ± 0.01
	3分	0.11 ± 0.00	0.13 ± 0.01
	5分	0.10 ± 0.00	0.11 ± 0.01
75°C	1分	0.14 ± 0.01	0.15 ± 0.01
	3分	0.18 ± 0.01	0.11 ± 0.01
	5分	0.24 ± 0.01	0.12 ± 0.00
90°C	1分	0.24 ± 0.02	0.14 ± 0.00
	3分	0.30 ± 0.01	0.32 ± 0.01
	5分	0.35 ± 0.01	0.43 ± 0.03

※値は5連測定の平均値±SD

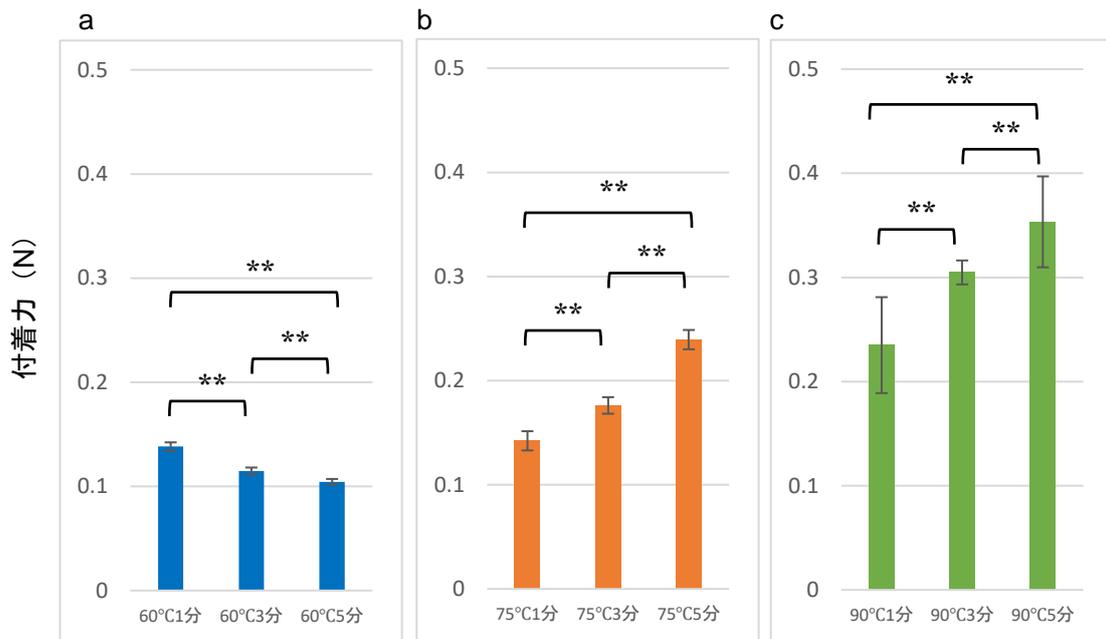


Fig. 2-1-3 アカモク（2019）の茹で加工による付着力の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定
の平均値±SD (** : p<0.01)。

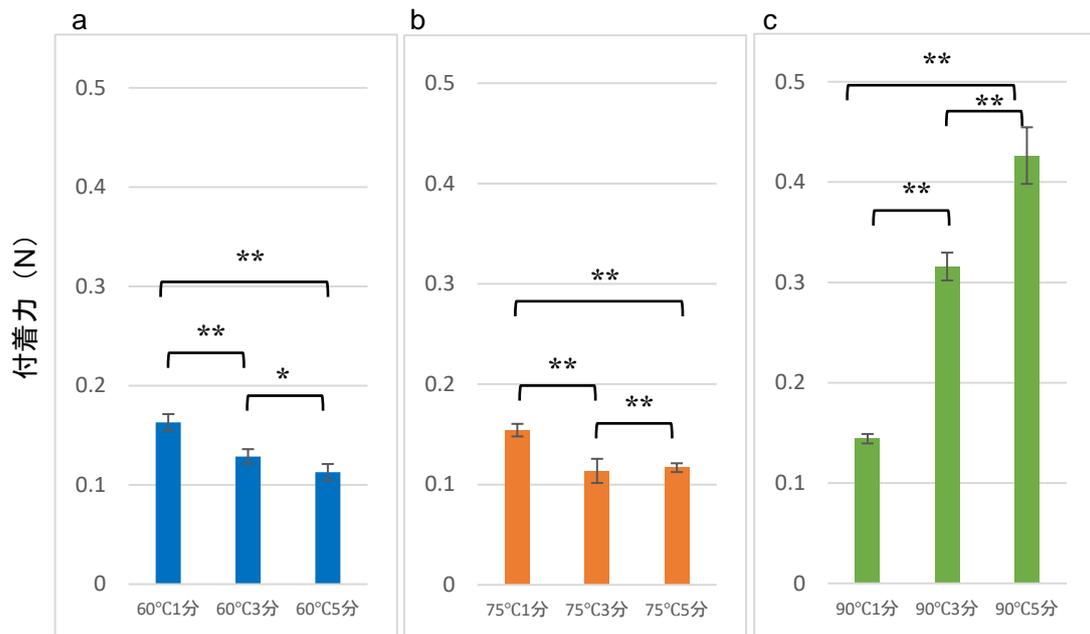


Fig. 2-1-4 アカモク (2021) 茹で加工による付着力の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定の平均値±SD (** : p<0.01, * : p<0.05)。

Table 2-1-3 茹で加工による付着距離の変化

茹で温度・時間		付着距離 [mm]	
		(2019)	(2021)
60°C	1分	18.30 ± 0.15	17.54 ± 0.23
	3分	18.18 ± 0.17	17.4 ± 0.30
	5分	18.08 ± 0.10	17.46 ± 0.45
75°C	1分	18.72 ± 0.13	18.36 ± 0.29
	3分	18.58 ± 0.18	18.18 ± 0.31
	5分	18.38 ± 0.07	18.32 ± 0.19
90°C	1分	19.24 ± 0.37	18.26 ± 0.22
	3分	19.48 ± 0.92	19.12 ± 0.70
	5分	20.32 ± 0.01	20.68 ± 0.97

※値は5連測定の平均値±SD

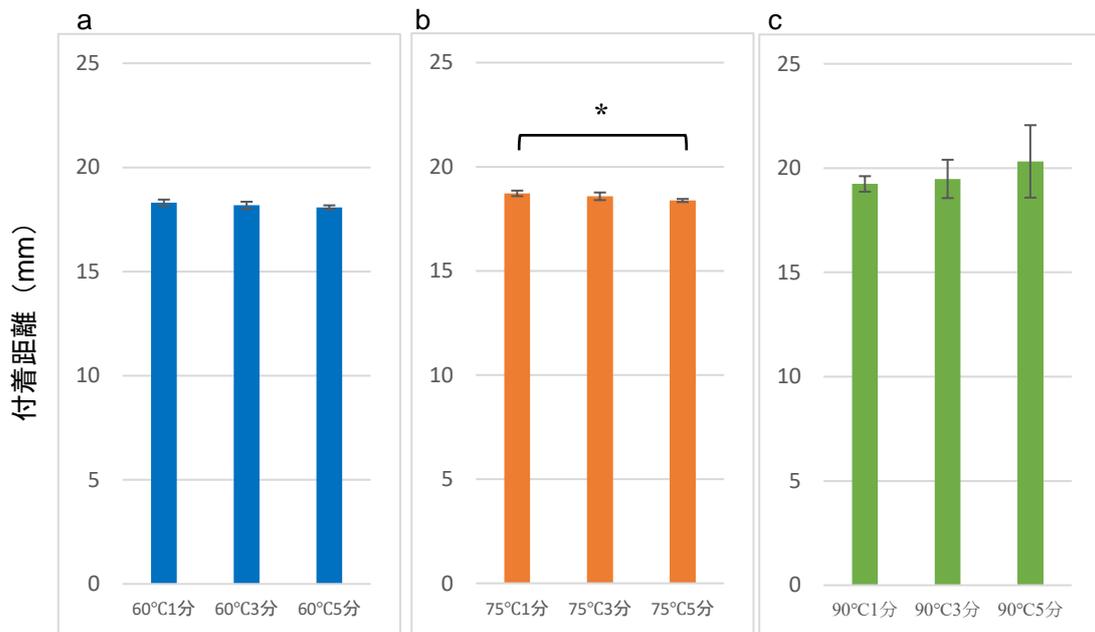


Fig. 2-1-5 アカモク (2019) 茹で加工による付着距離の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定 of 平均値±SD (*: p<0.05)。

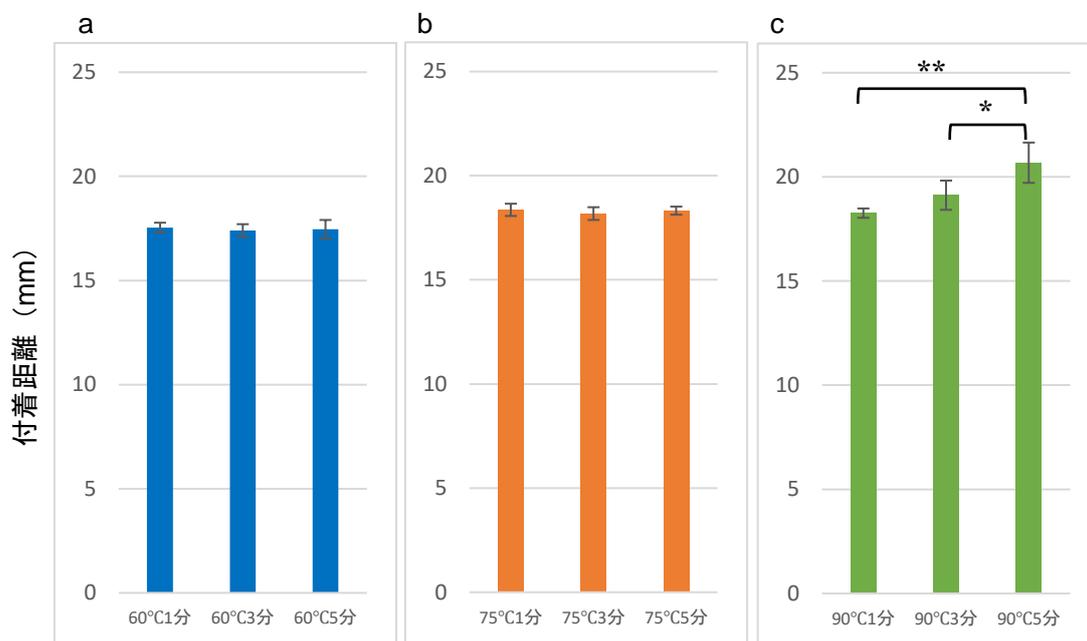


Fig. 2-1-6 アカモク（2021）の茹で加工による付着距離の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定の平均値±SD (**：p<0.01, *：p<0.05)。

Table 2-1-4 茹で加工によるかたさ（荷重）の変化

茹で温度・時間		かたさ（荷重） [N]	
		(2019)	(2021)
60°C	1分	0.48±0.02	0.66±0.03
	3分	0.40±0.01	0.57±0.04
	5分	0.38±0.04	0.59±0.06
75°C	1分	0.46±0.03	0.65±0.05
	3分	0.48±0.02	0.45±0.04
	5分	0.56±0.02	0.43±0.01
90°C	1分	0.64±0.05	0.56±0.02
	3分	0.74±0.01	0.81±0.06
	5分	0.83±0.04	1.33±0.10

※値は5連測定の平均値±SD

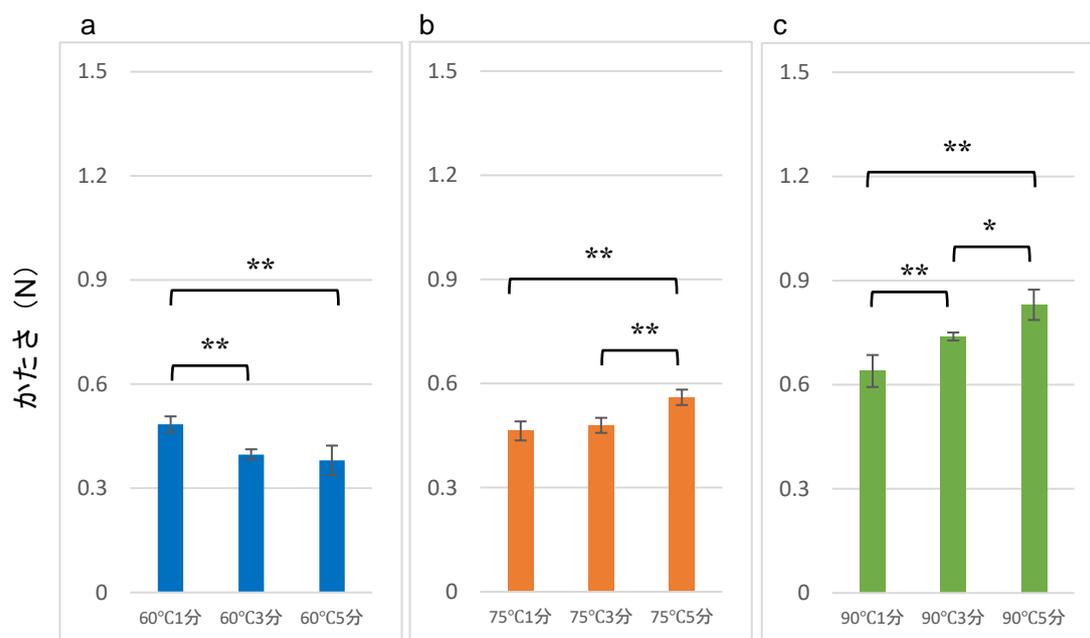


Fig. 2-1-7 アカモク（2019）の茹で加工によるかたさの変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定
の平均値±SD (** : p<0.01, * : p<0.05)。

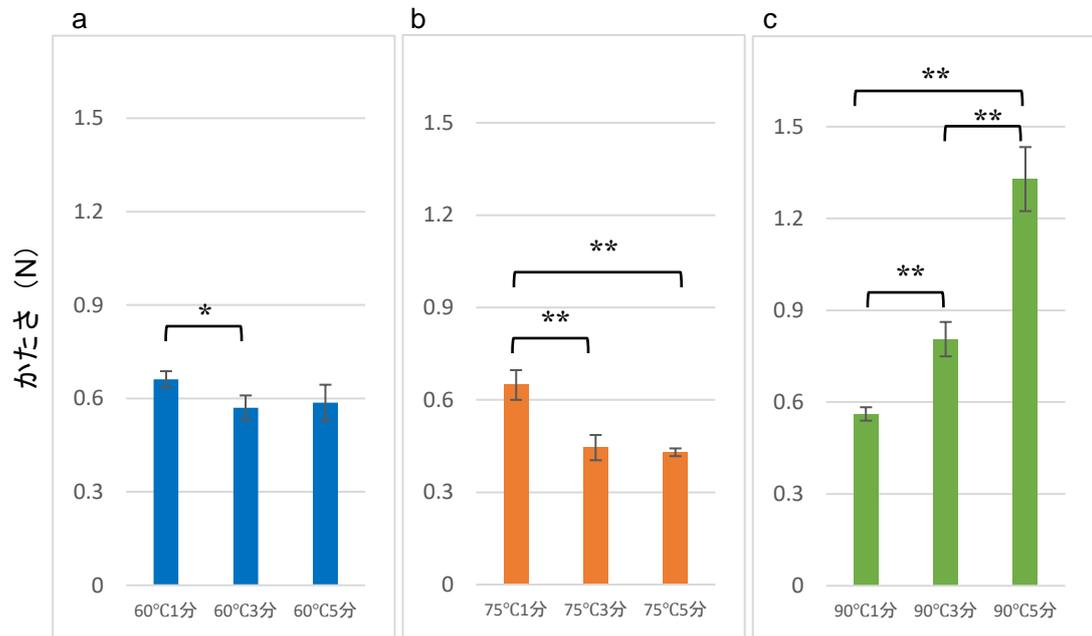


Fig. 2-1-8 アカモク（2021）の茹で加工によるかたさの変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定の平均値±SD（**：p<0.01，*：p<0.05）。

Table2-1-5 茹で加工による凝集性の変化

茹で温度・時間		凝集性	
		(2019)	(2021)
60°C	1分	0.69 ± 0.01	0.69 ± 0.01
	3分	0.69 ± 0.01	0.68 ± 0.02
	5分	0.68 ± 0.01	0.67 ± 0.02
75°C	1分	0.69 ± 0.05	0.66 ± 0.03
	3分	0.70 ± 0.02	0.65 ± 0.02
	5分	0.72 ± 0.04	0.66 ± 0.01
90°C	1分	0.66 ± 0.02	0.67 ± 0.01
	3分	0.53 ± 0.07	0.64 ± 0.04
	5分	0.48 ± 0.04	0.36 ± 0.01

※値は5連測定の平均値±SD

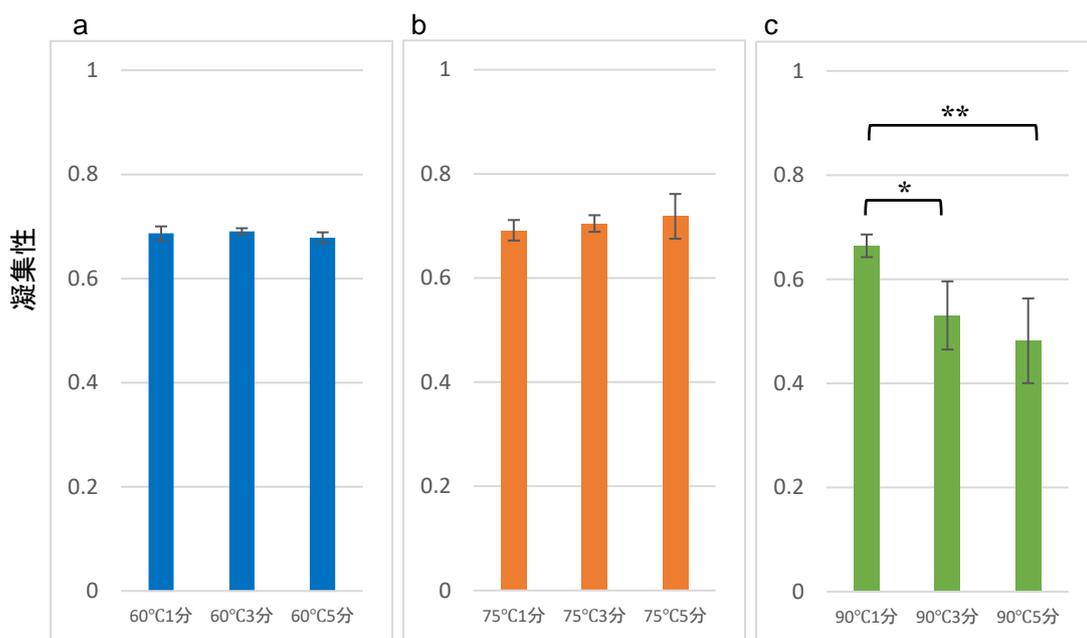


Fig. 2-1-9 アカモク (2019) の茹で加工による凝集性の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定
の平均値±SD (** : p<0.01, * : p<0.05)。

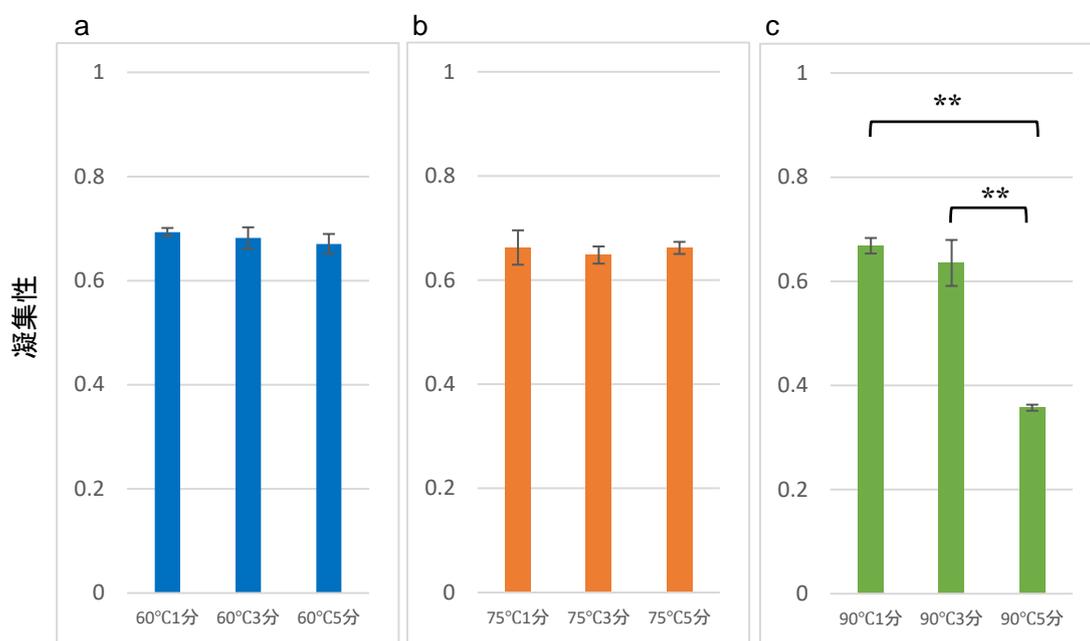


Fig. 2-1-10 アカモク（2021）の茹で加工による凝集性の変化

※aは60°C、bは75°C、cは90°Cのグラフ。統計処理は同一温度内で実施した。値は5連測定の平均値±SD (**：p<0.01)。

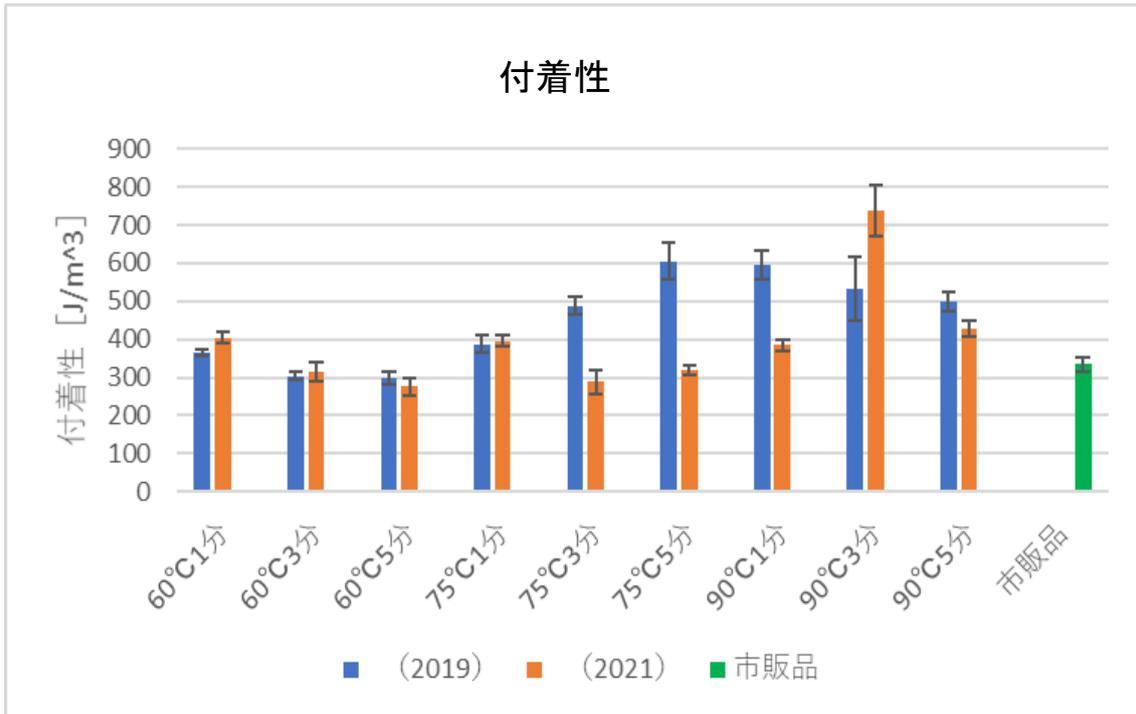


Fig. 2-1-11 付着性の比較

※Fig. 2-1-1、Fig. 2-2-2 のデータから作成。値は 5 連測定の平均値±SD。

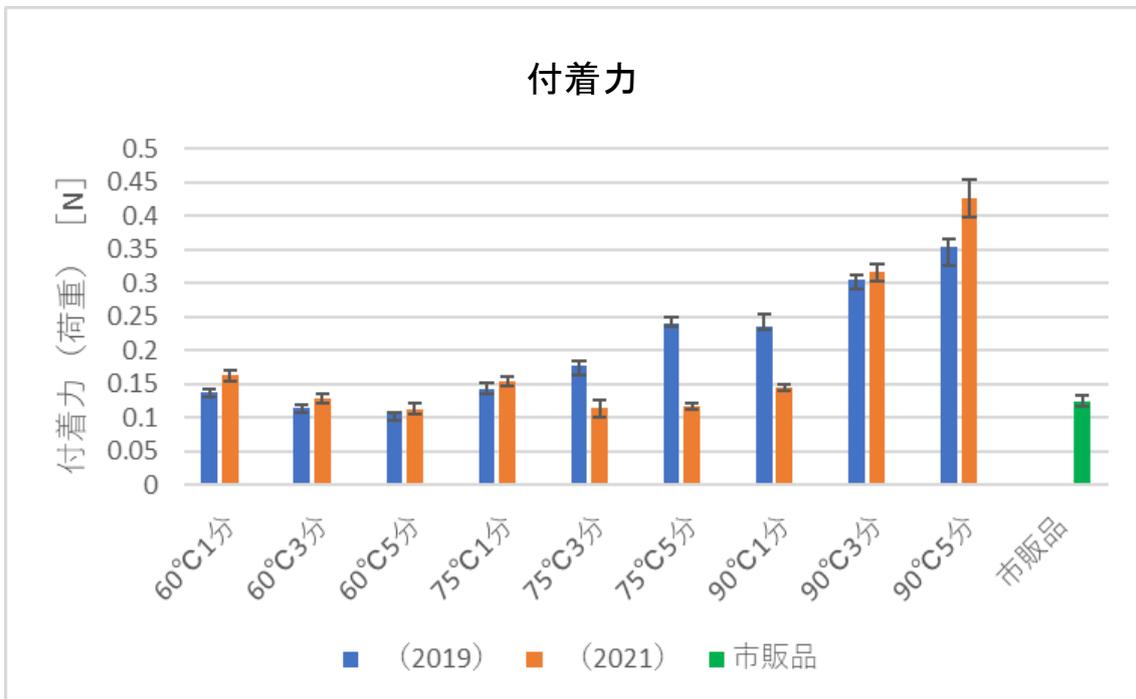


Fig. 2-1-12 付着力の比較

※Fig. 2-1-3、Fig. 2-2-4 のデータから作成。値は 5 連測定の平均値±SD。

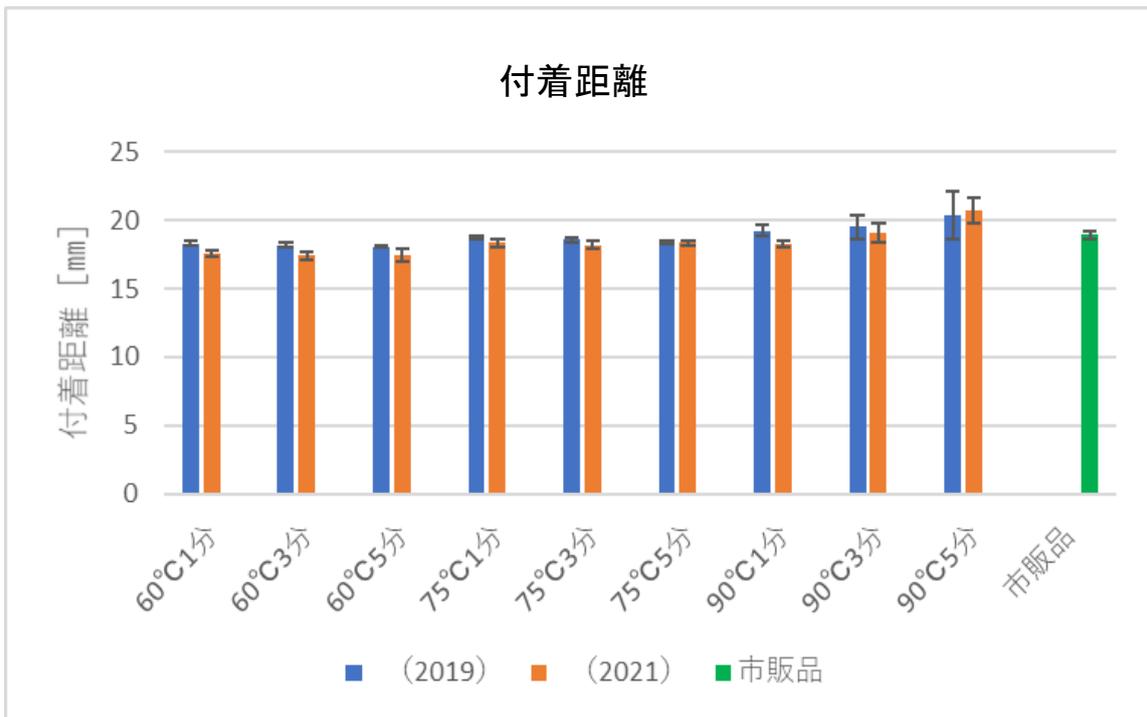


Fig. 2-1-13 付着距離の比較

※Fig. 2-1-5、Fig. 2-2-6 のデータから作成。値は5連測定の平均値±SD。

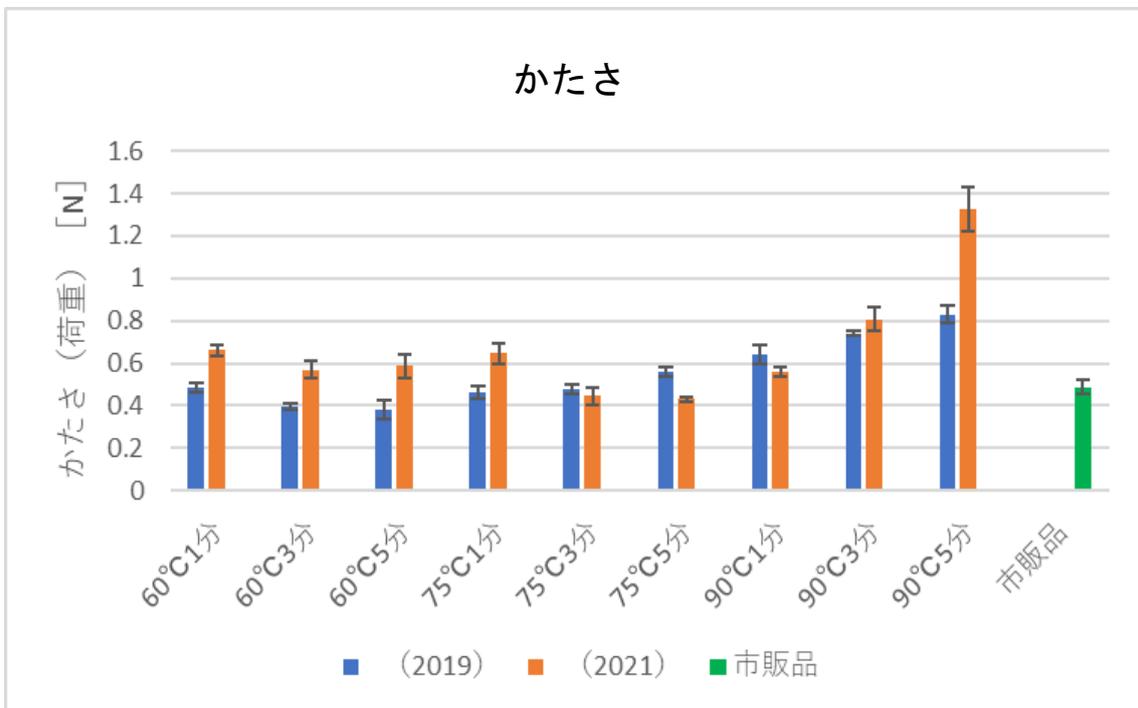


Fig. 2-1-14 かたさの比較

※Fig. 2-1-7、Fig. 2-2-8 のデータから作成。値は5連測定の平均値±SD。

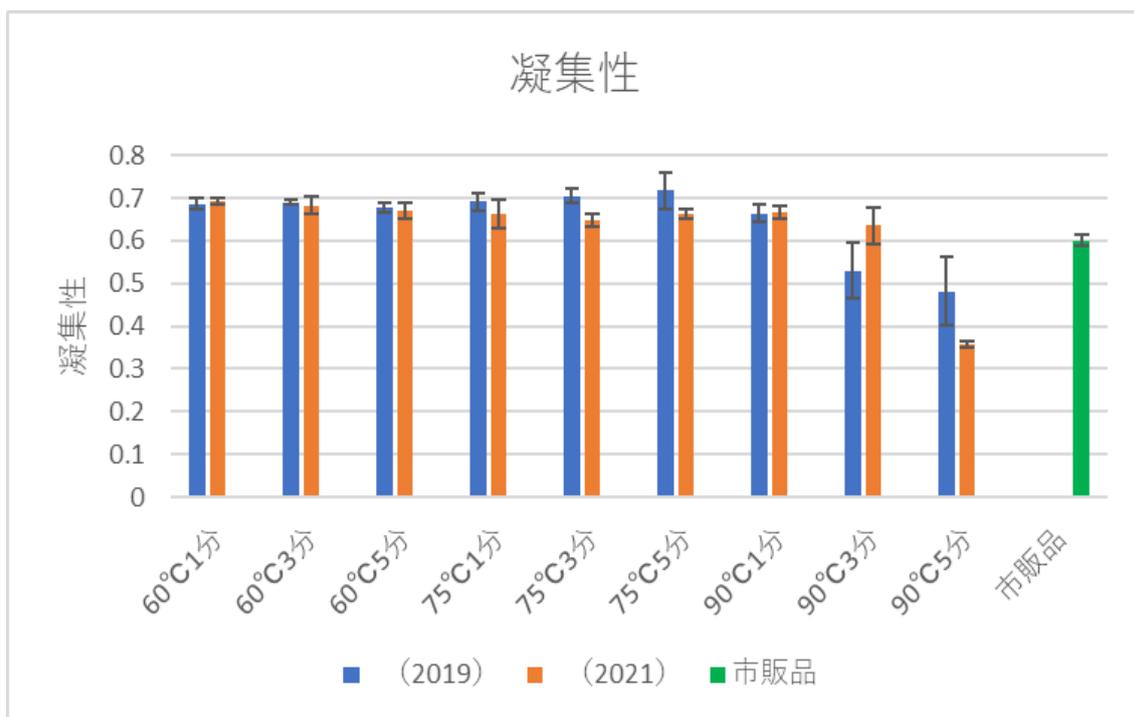


Fig. 2-1-15 凝集性の比較

※Fig. 2-1-9、Fig. 2-2-10 のデータから作成。値は5連測定の平均値±SD。

Table 2-1-6 茹で加工による色差の変化

茹で温度・時間	L*値		a*値		b*値		
	2019	2021	2019	2021	2019	2021	
60℃	1分	24.23±0.60	31.59±0.17	-0.51±0.07	-4.51±0.13	28.77±0.92	30.36±0.79
	3分	25.49±0.18	27±0.72	-0.25±0.11	-4.03±0.05	28.52±0.36	31.61±0.56
	5分	25.05±0.23	27.84±0.24	-0.65±0.15	-3.55±0.29	28.24±0.51	30.39±1.43
75℃	1分	25.93±0.16	28.76±0.61	-0.55±0.15	-3.95±0.05	32.11±0.87	31.22±0.67
	3分	26.73±0.30	27.66±0.23	0.7±0.09	-3.47±0.17	32.33±0.71	30.34±0.53
	5分	27.19±0.24	27.7±0.44	1.21±0.09	-3.62±0.06	32.14±0.91	29.94±0.61
90℃	1分	27.13±0.38	29.59±0.29	-0.59±0.02	-4.15±0.28	34.31±0.25	32.8±0.30
	3分	26.44±0.57	29.24±0.37	1.36±0.12	-3.59±0.24	33.86±0.33	32.03±1.05
	5分	27.05±0.38	26.86±0.24	2.26±0.12	-2.26±0.07	32.41±0.39	31.96±0.22
市販品	18.8±0.02		-0.09±0.21		21.66±0.35		

※値は3点測定の平均値±SD

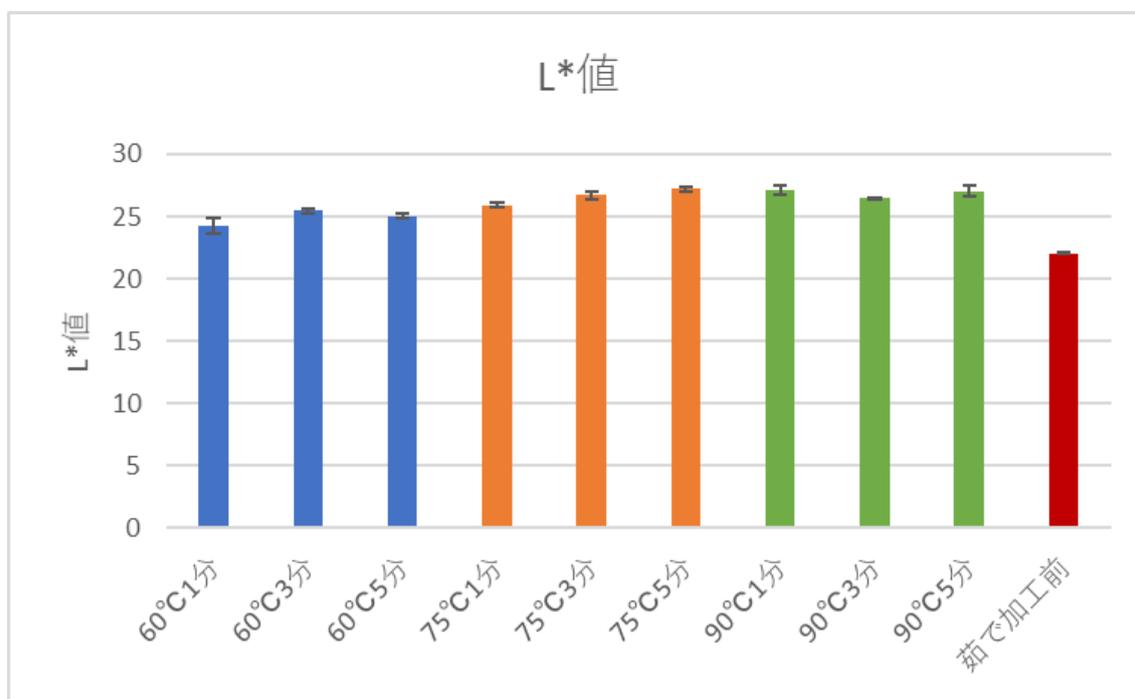


Fig. 2-1-16 アカモク (2019) 茹で加工による L*値の変化

※値は3点測定 of 平均値±SD。

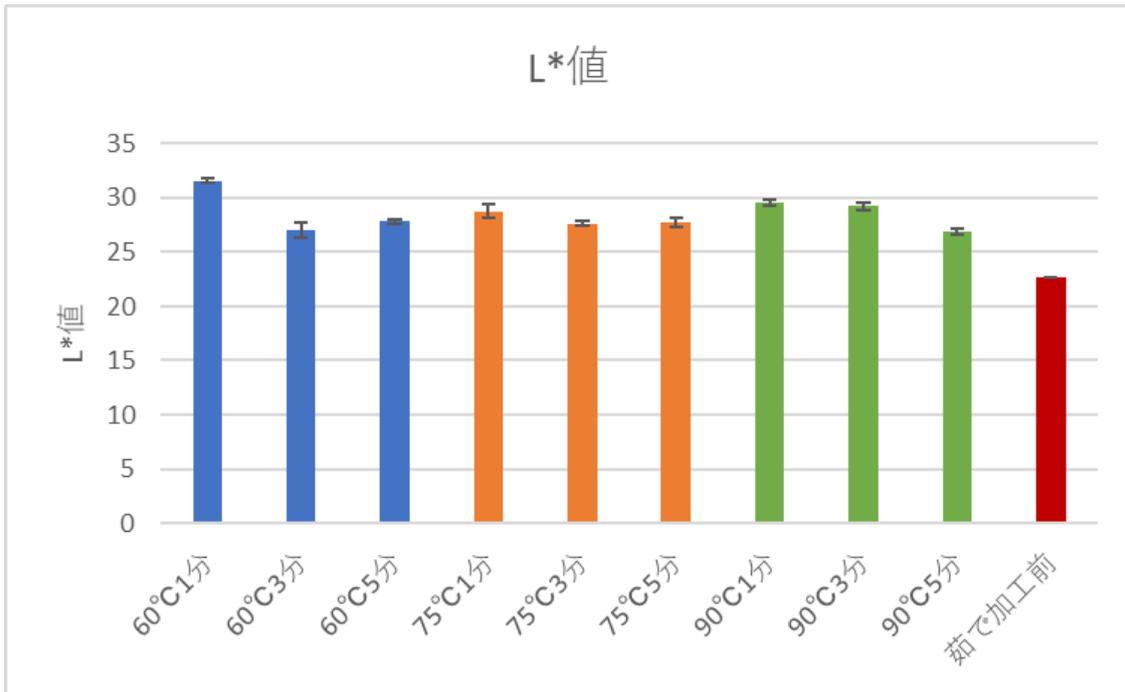


Fig. 2-1-17 アカモク（2021） 茹で加工によるL*値の変化
 ※値は3点測定の平均値±SD。

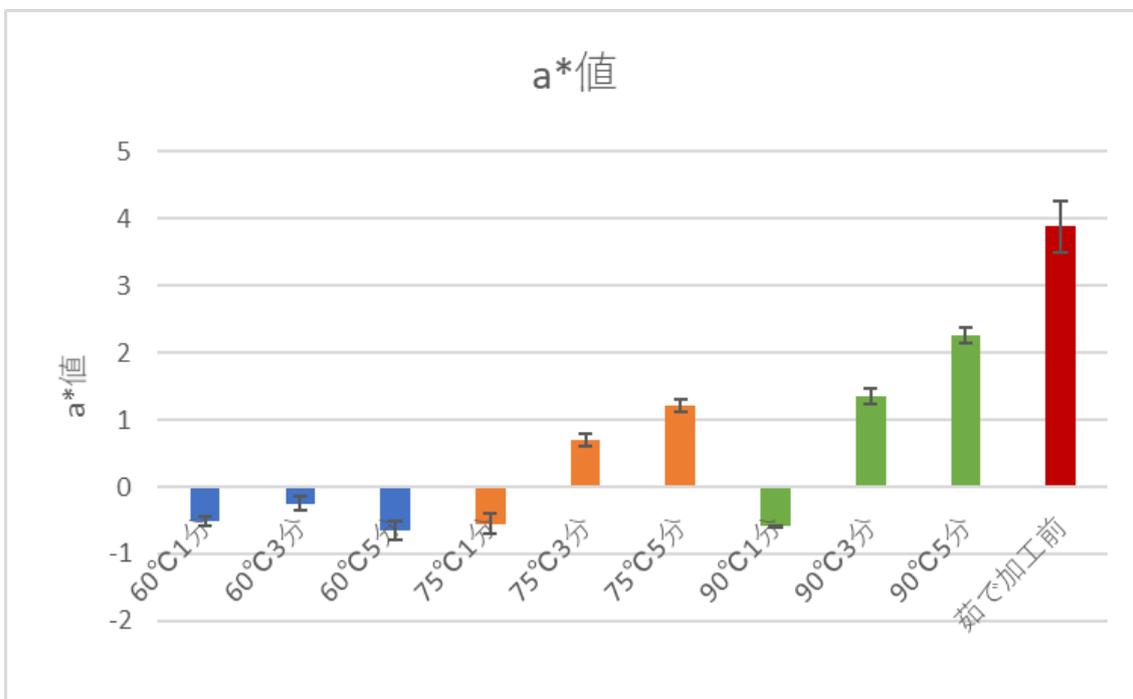


Fig. 2-1-18 アカモク（2019） 茹で加工によるa*値の変化
 ※値は3点測定の平均値±SD

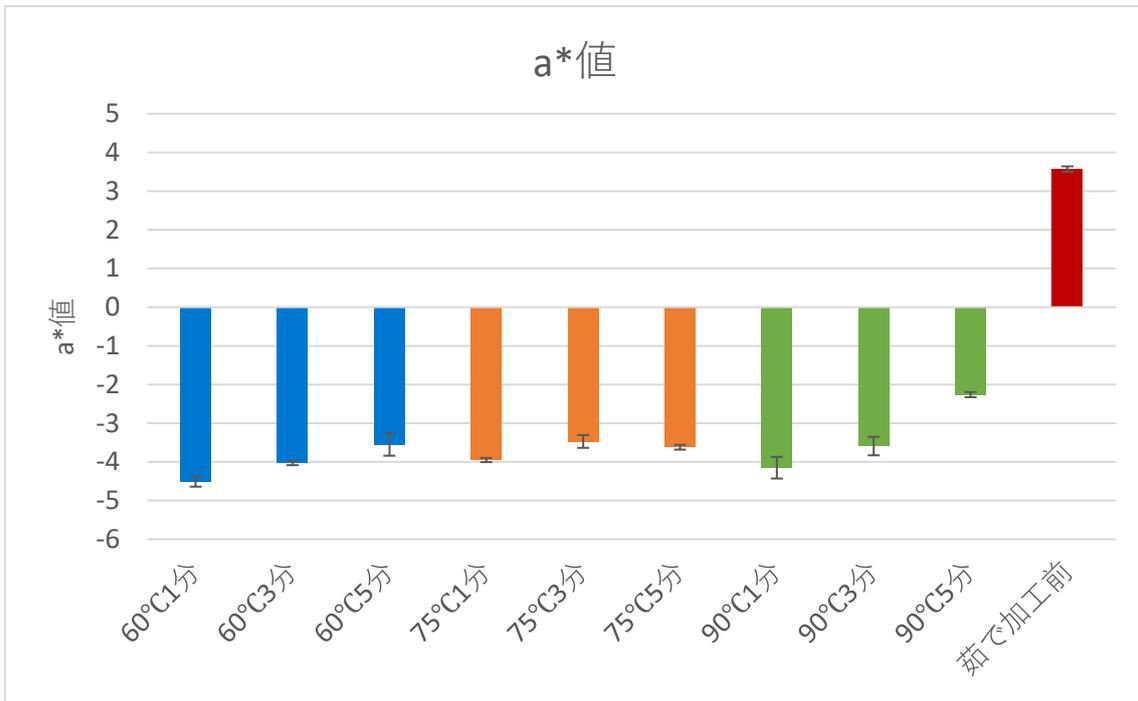


Fig. 2-1-19 アカモク（2021） 茹で加工による a*値の変化
 ※値は 3 点測定の平均値±SD

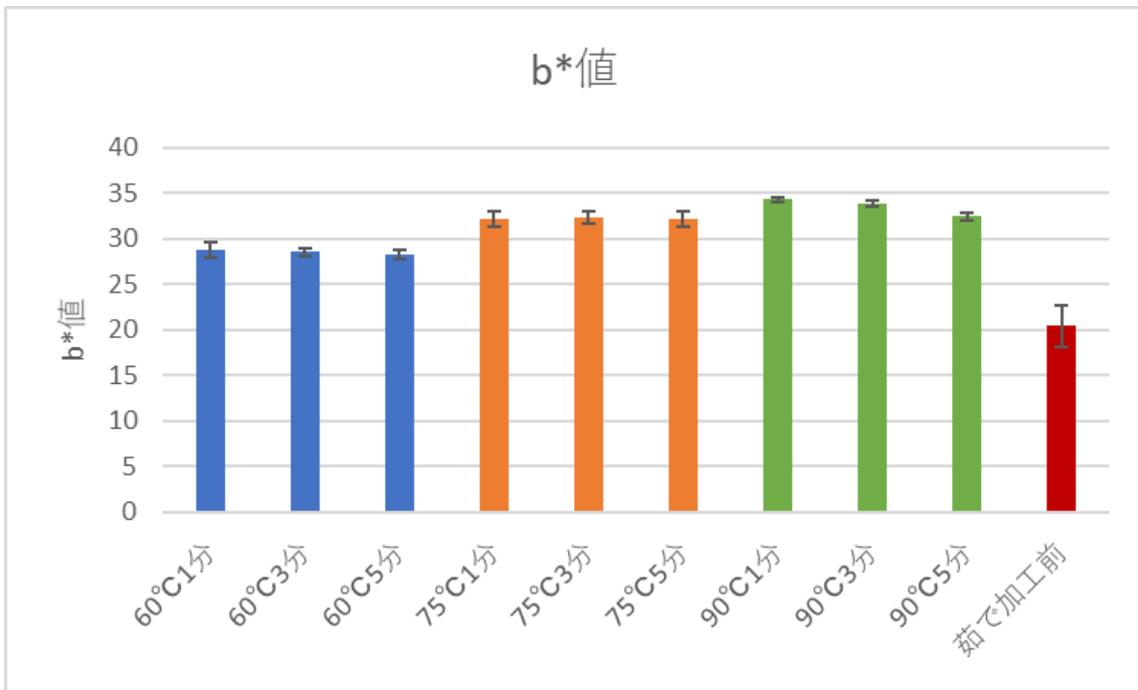


Fig. 2-1-20 アカモク（2019） 茹で加工による b*値の変化
 ※値は 3 点測定 of 平均値±SD。

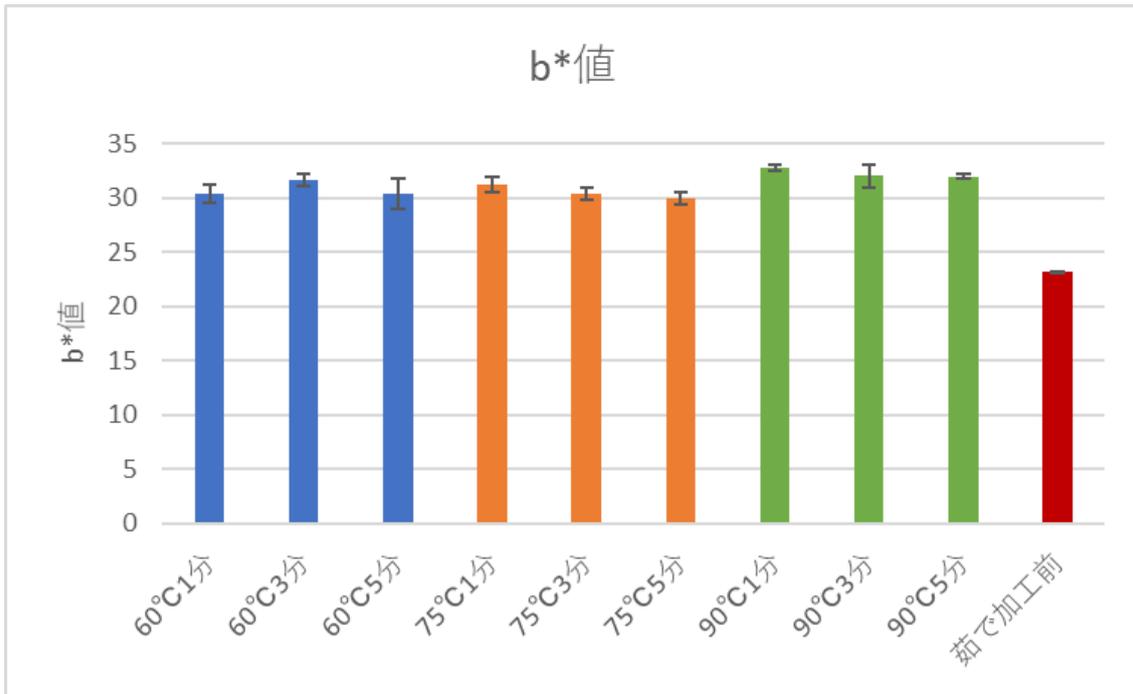


Fig. 2-1-21 アカモク (2021) 茹で加工による b*値の変化
 ※値は 3 点測定 of 平均値 ± SD。

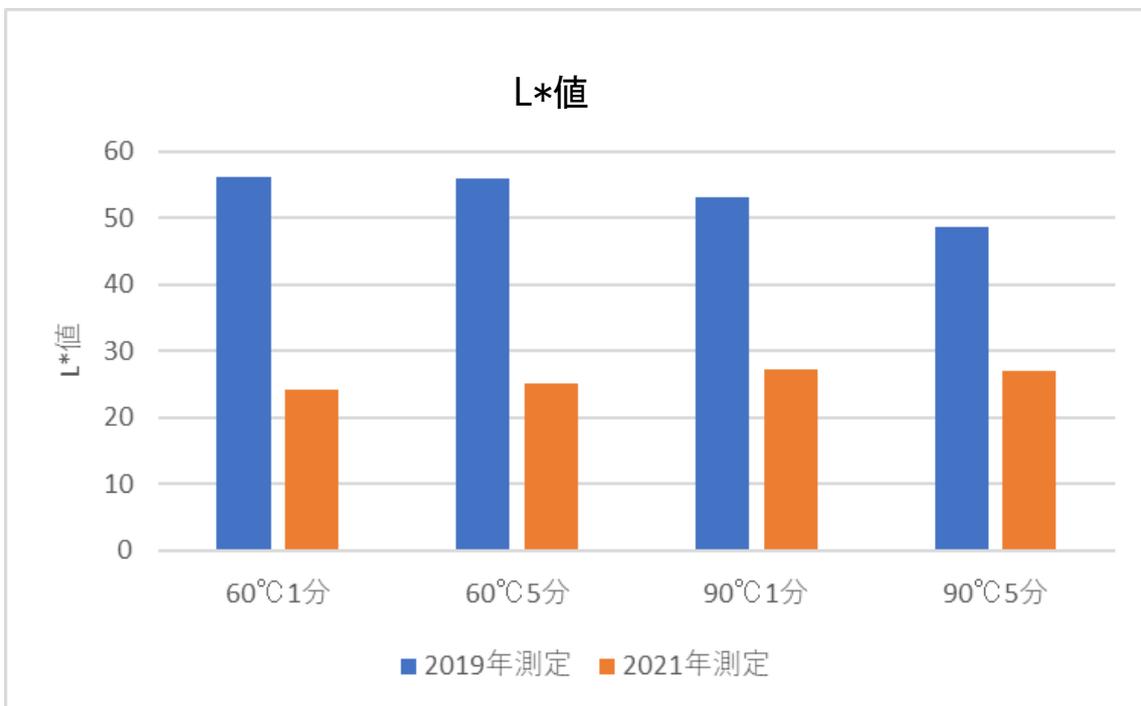


Fig. 2-1-22 冷凍保存期間による L*値の変化
 ※値は 3 点測定 of 平均値。

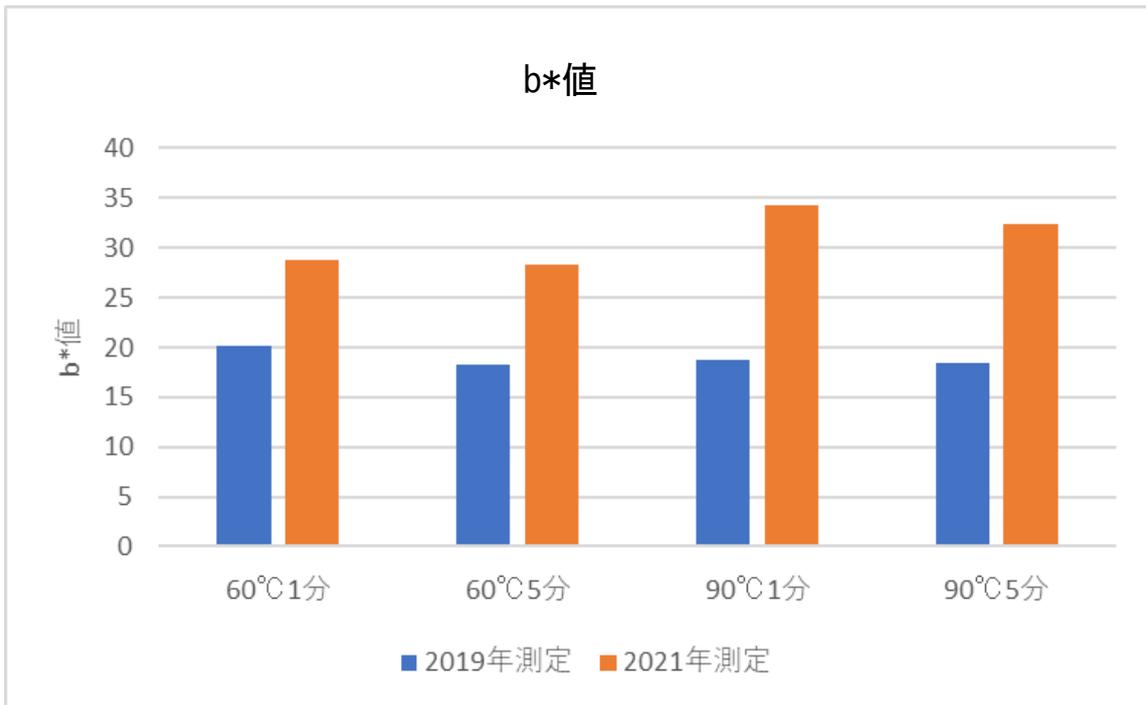


Fig. 2-1-23 冷凍保存期間による b*値の変化
※値は 3 点測定の平均値。

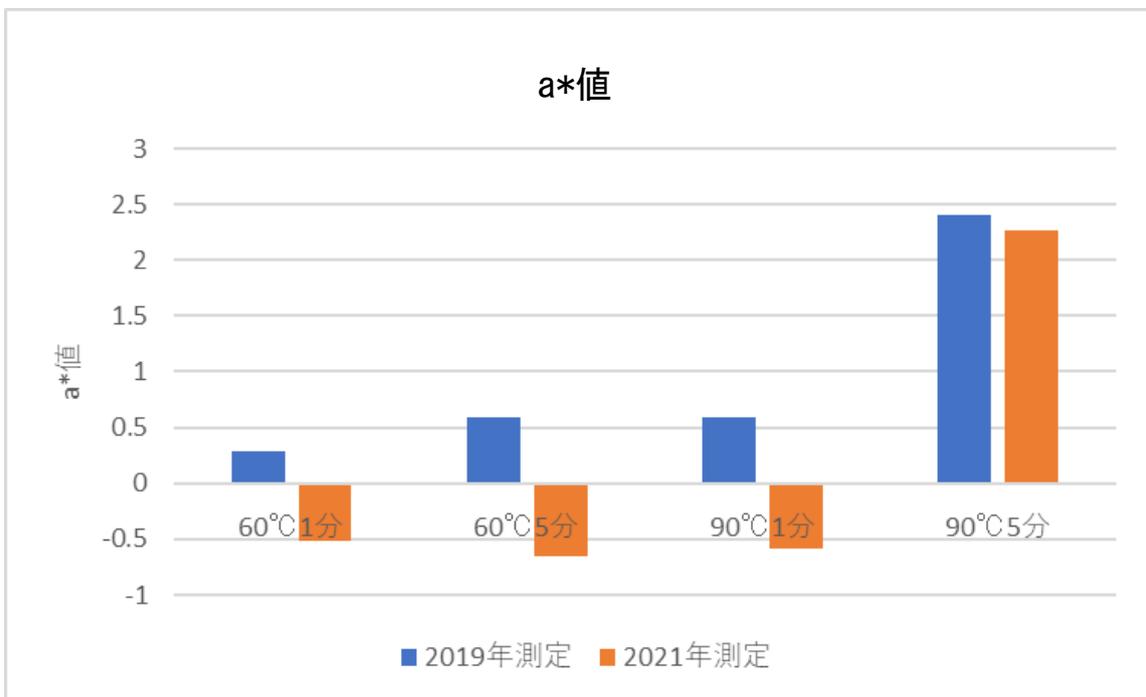


Fig. 2-1-24 冷凍保存期間による a*値の変化
※値は 3 点測定の平均値。

Table 2-2-1 水(湯)戻しによる付着性の変化

戻し時間	付着性(J/m ³)			検定			
	乾燥前	凍結乾燥	温風乾燥	乾燥前 vs.凍結	乾燥前 vs.温風	凍結 vs.温風	
30分	20°C	523.87±43.00	317.93±79.70	285.25±40.68	p<0.01	p<0.01	NS
	40°C		425.71±124.09	422.77±91.59	NS	p<0.05	NS
	60°C		391.76±140.00	412.88±121.02	p<0.01	p<0.05	NS
	80°C		383.92±85.56	478.12±62.64	p<0.05	NS	NS
	100°C		333.53±71.76	359.63±69.21	p<0.01	p<0.01	NS
60分	20°C	523.87±43.00	315.35±65.84	314.41±46.28	p<0.01	p<0.01	NS
	40°C		443.17±91.72	452.30±87.89	NS	NS	NS
	60°C		419.89±141.51	473.30±105.19	NS	NS	NS
	80°C		450.35±72.83	450.97±67.64	NS	NS	NS
	100°C		362.55±49.88	438.24±131.36	p<0.01	p<0.05	NS
90分	20°C	523.87±43.00	347.68±82.15	365.02±55.33	p<0.01	p<0.01	NS
	40°C		453.82±97.84	484.46±103.54	NS	NS	NS
	60°C		421.67±135.35	485.90±93.30	NS	NS	NS
	80°C		498.50±129.91	546.88±93.37	NS	NS	NS
	100°C		364.89±51.37	356.40±74.98	p<0.05	p<0.01	NS
120分	20°C	523.87±43.00	371.88±142.30	359.25±58.20	p<0.01	p<0.01	NS
	40°C		444.79±90.83	488.29±87.23	p<0.01	NS	NS
	60°C		462.06±170.03	497.12±142.71	p<0.01	NS	NS
	80°C		448.45±82.96	504.09±92.50	p<0.01	NS	NS
	100°C		351.29±54.12	376.30±47.16	p<0.01	p<0.01	NS

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

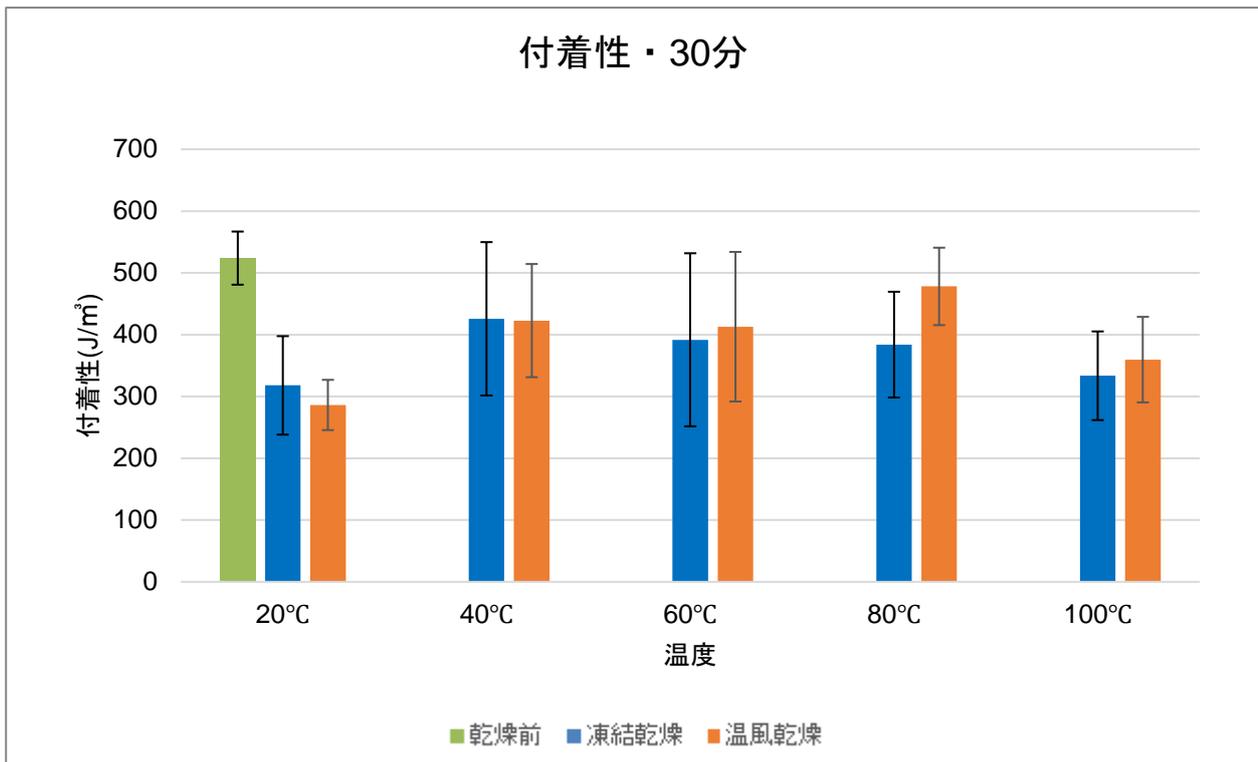


Fig. 2-2-1 水(湯)戻しによる付着性の変化(30分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

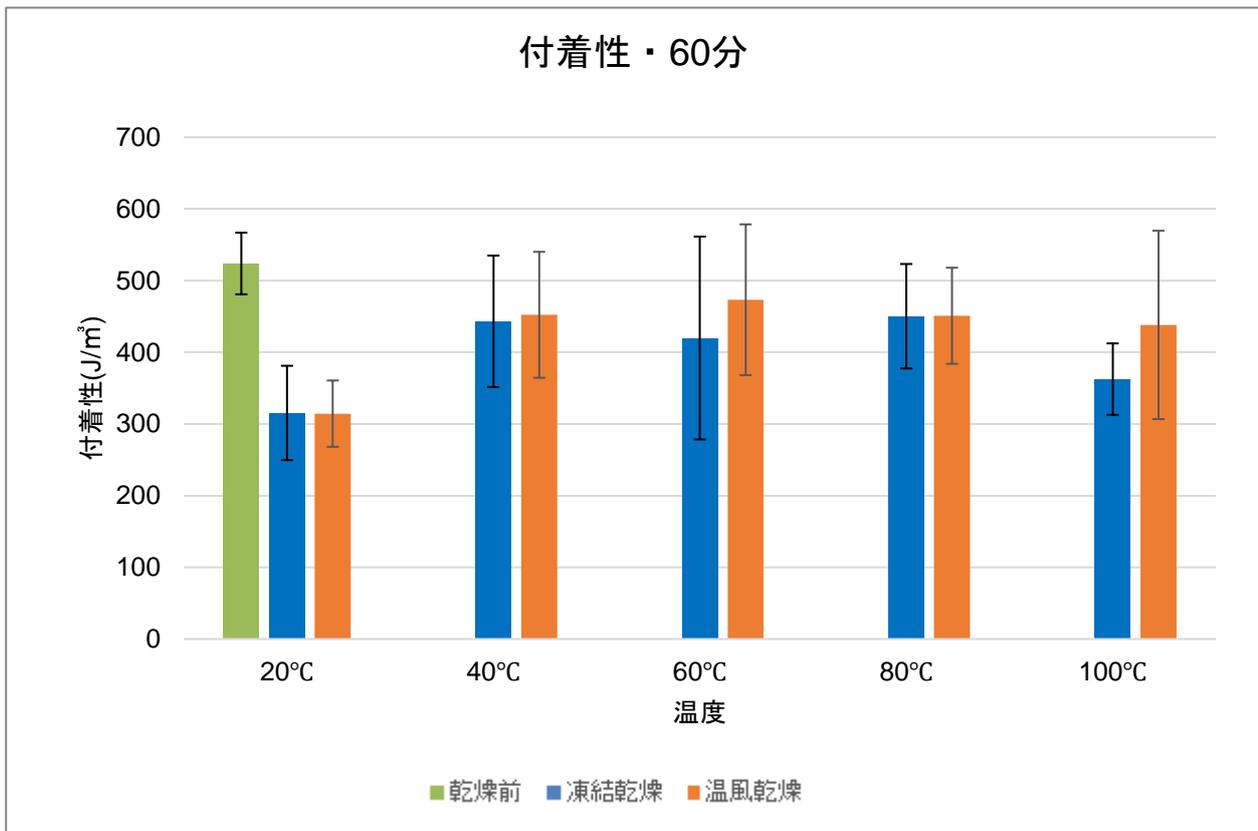


Fig. 2-2-2 水(湯)戻しによる付着性の変化(60分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

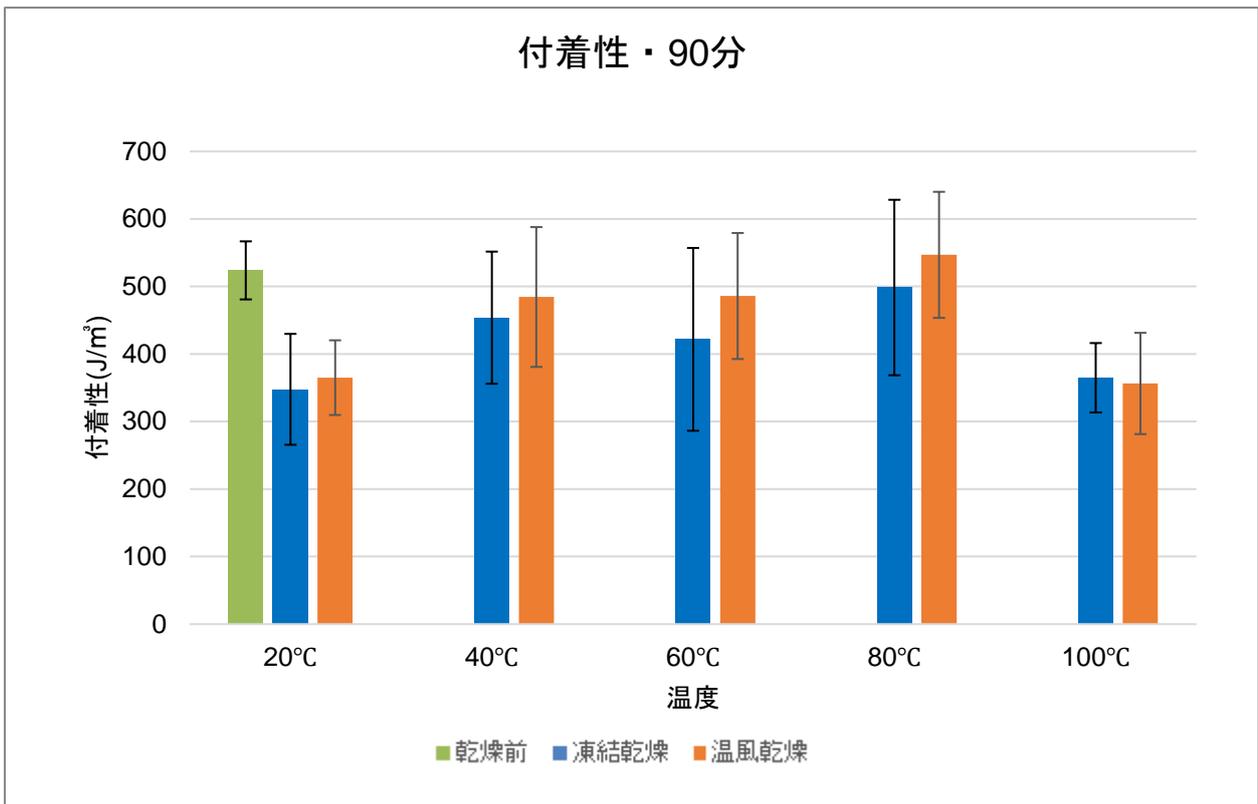


Fig. 2-2-3 水(湯)戻しによる付着性の変化(90分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

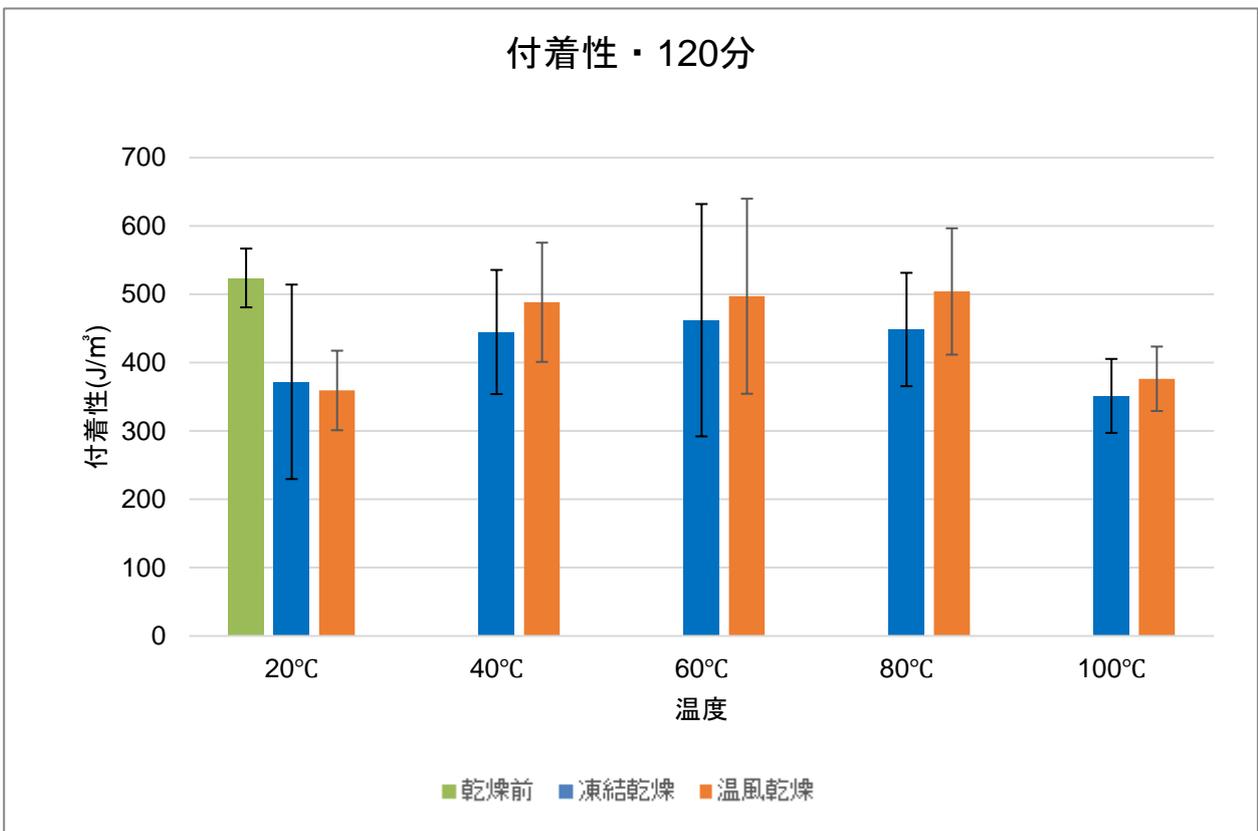


Fig. 2-2-4 水(湯)戻しによる付着性の変化(120分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

Table 2-2-2 水(湯)戻しによる付着力の変化

戻し時間		付着力[N]			検定		
		乾燥前	凍結乾燥	温風乾燥	乾燥前 vs.凍結	乾燥前 vs.温風	凍結 vs.温風
30分	20°C	0.16±0.01	0.33±0.06	0.16±0.02	p<0.01	NS	p<0.01
	40°C		0.28±0.04	0.19±0.02	p<0.01	NS	p<0.01
	60°C		0.36±0.04	0.20±0.02	p<0.01	NS	p<0.01
	80°C		0.34±0.04	0.21±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		0.46±0.05	0.26±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
60分	20°C	0.16±0.01	0.36±0.06	0.17±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.32±0.03	0.21±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.37±0.06	0.22±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.39±0.05	0.23±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		0.50±0.04	0.32±0.03	p<0.01	p<0.01	p<0.01
90分	20°C	0.16±0.01	0.45±0.09	0.21±0.03	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.36±0.04	0.24±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.38±0.03	0.25±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.35±0.02	0.25±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		0.51±0.06	0.36±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
120分	20°C	0.16±0.01	0.48±0.11	0.22±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.39±0.04	0.23±0.04	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.40±0.03	0.27±0.03	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.44±0.07	0.26±0.02	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		0.49±0.10	0.40±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

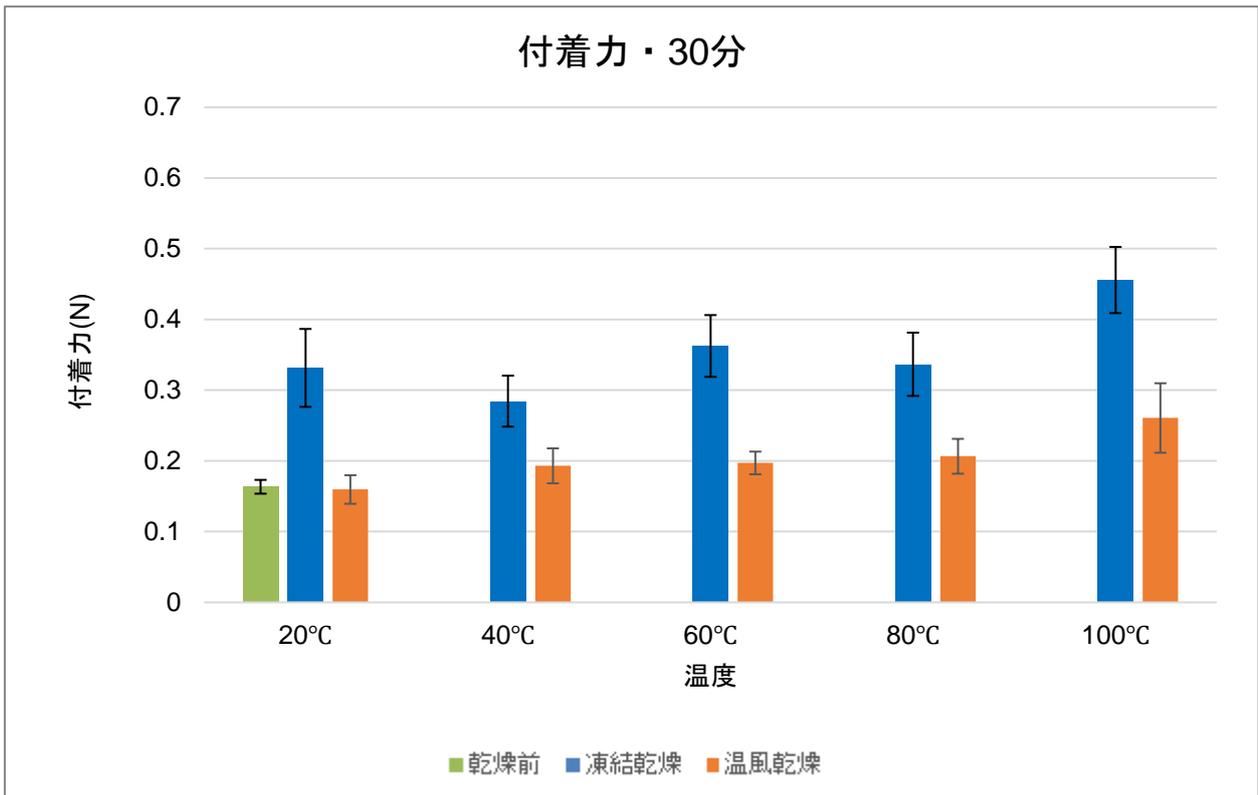


Fig. 2-2-5 水(湯)戻しによる付着力(荷重)の変化(30分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

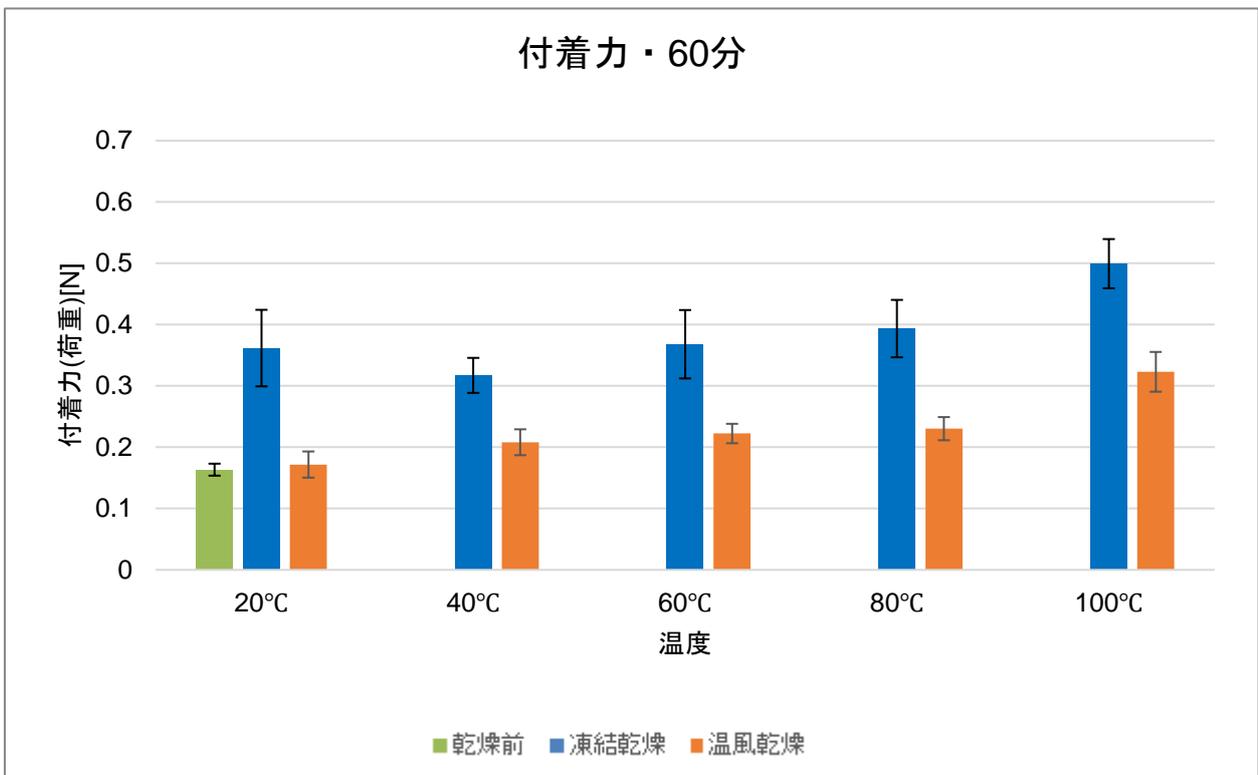


Fig. 2-2-6 水(湯)戻しによる付着力(荷重)の変化(60分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

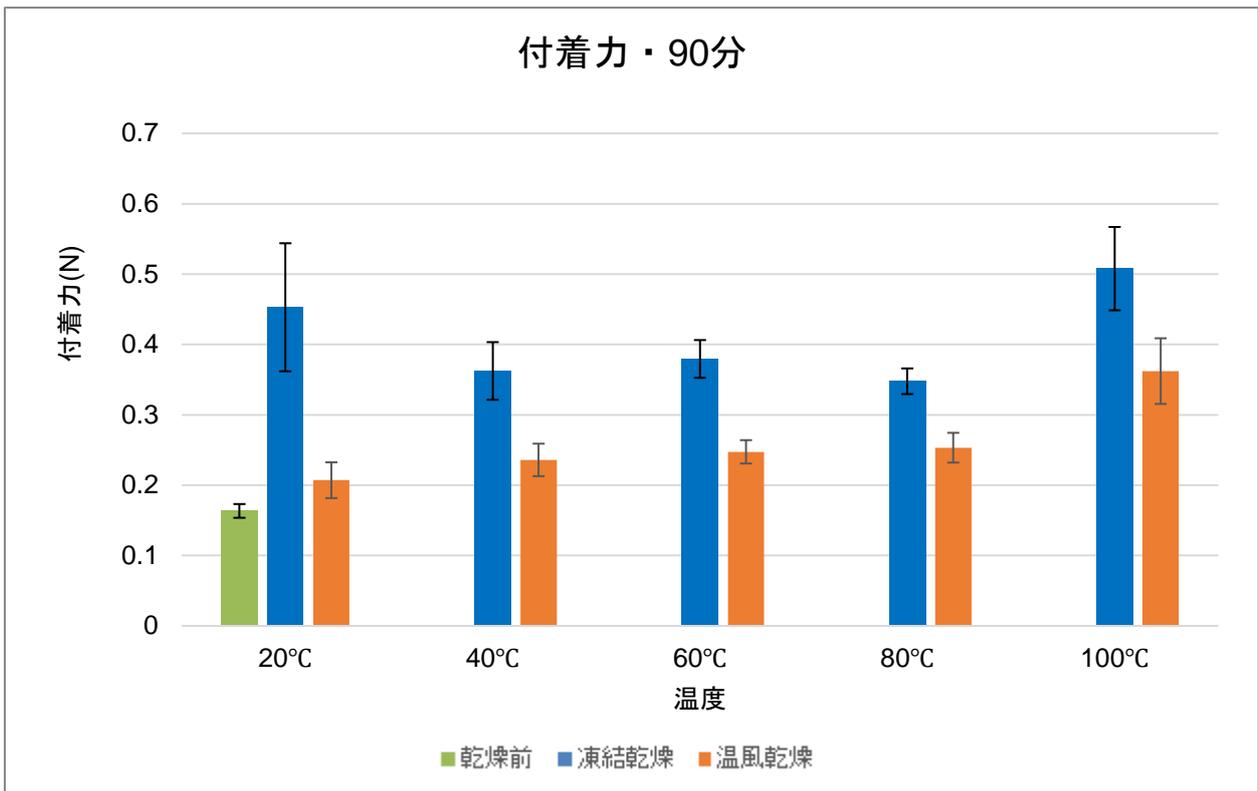


Fig. 2-2-7 水(湯)戻しによる付着力(荷重)の変化(90分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

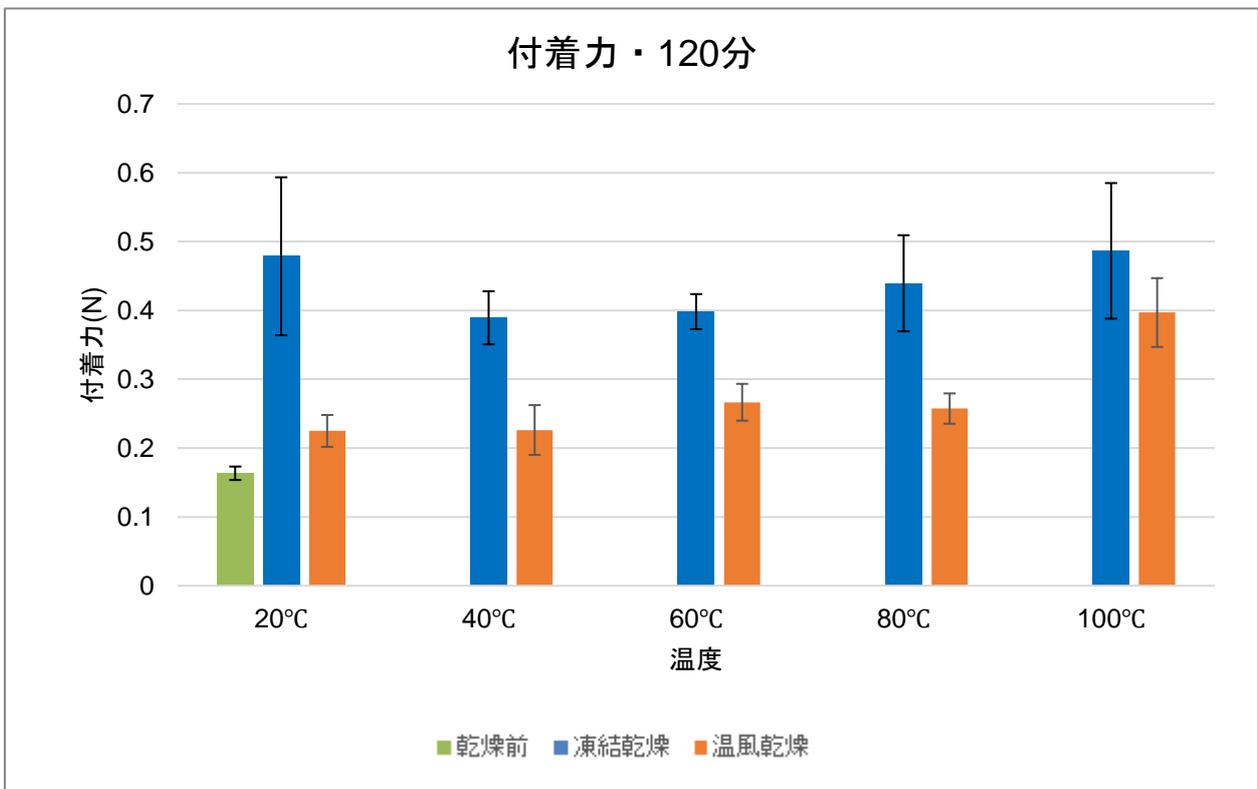


Fig. 2-2-8 水(湯)戻しによる付着力(荷重)の変化(120分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

Table 2-2-3 水(湯)戻しによる付着距離の変化

戻し時間		付着距離(mm)			検定		
		乾燥前	凍結乾燥	温風乾燥	乾燥前 vs.凍結	乾燥前 vs.温風	凍結 vs.温風
30分	20°C	53.01±7.55	16.50±1.99	19.90±1.89	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		16.56±2.31	21.58±2.24	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		15.39±1.91	20.57±1.63	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		15.68±1.52	19.24±1.96	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		14.04±1.50	14.82±0.86	p<0.01	p<0.01	NS
60分	20°C	53.01±7.55	16.80±3.26	21.64±2.48	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		16.18±1.44	22.36±2.15	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		15.39±1.49	21.60±1.61	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		16.14±1.42	18.21±0.74	p<0.01	p<0.01	NS
	100°C		15.26±1.47	15.59±1.40	p<0.01	p<0.01	NS
90分	20°C	53.01±7.55	16.51±3.20	22.02±1.88	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		16.21±2.33	21.80±2.00	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		16.19±2.31	20.65±1.76	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		15.39±1.35	19.61±1.89	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		15.95±1.36	14.84±1.67	p<0.01	p<0.01	NS
120分	20°C	53.01±7.55	17.26±3.32	20.83±2.06	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		15.55±1.62	22.43±2.40	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		16.31±1.53	19.76±1.52	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		15.43±1.31	19.04±1.28	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		15.29±1.79	15.55±1.52	p<0.01	p<0.01	NS

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

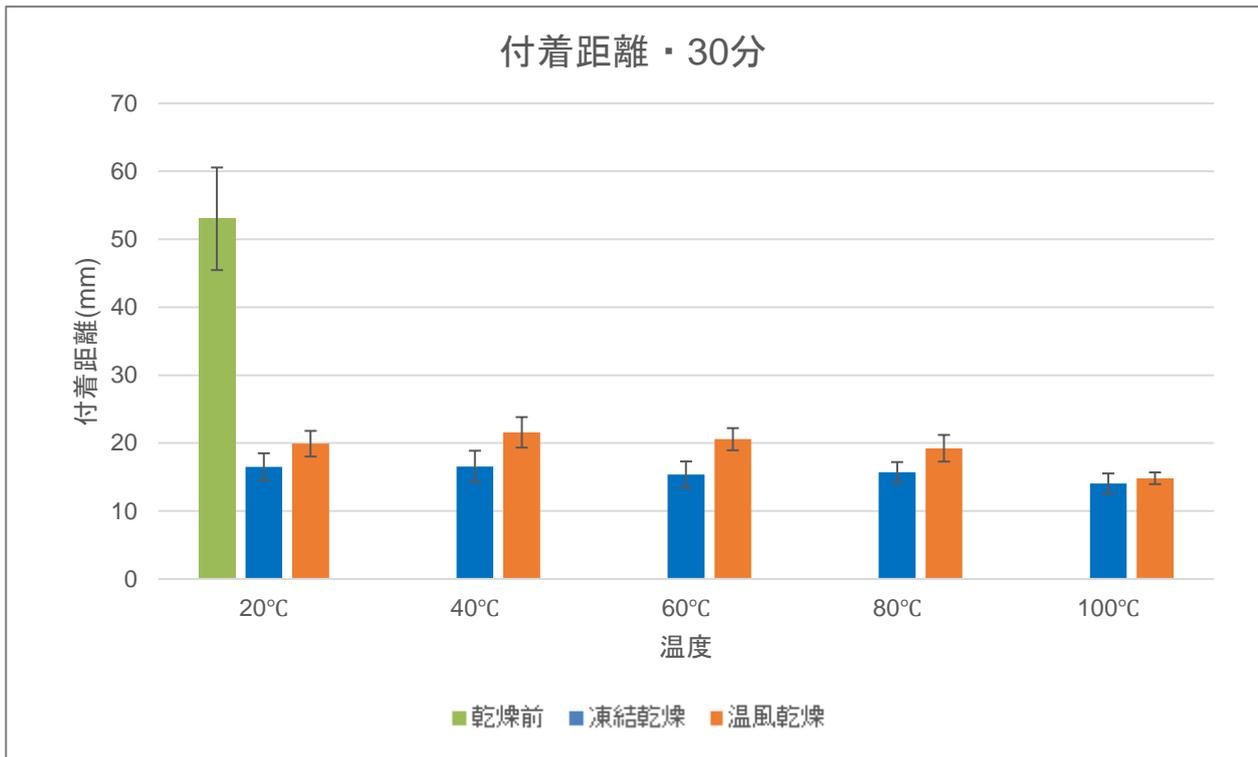


Fig. 2-2-9 水(湯)戻しによる付着距離の変化(30分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2 試料 7 連測定、80°C、100°Cは3 試料 7 連測定)。

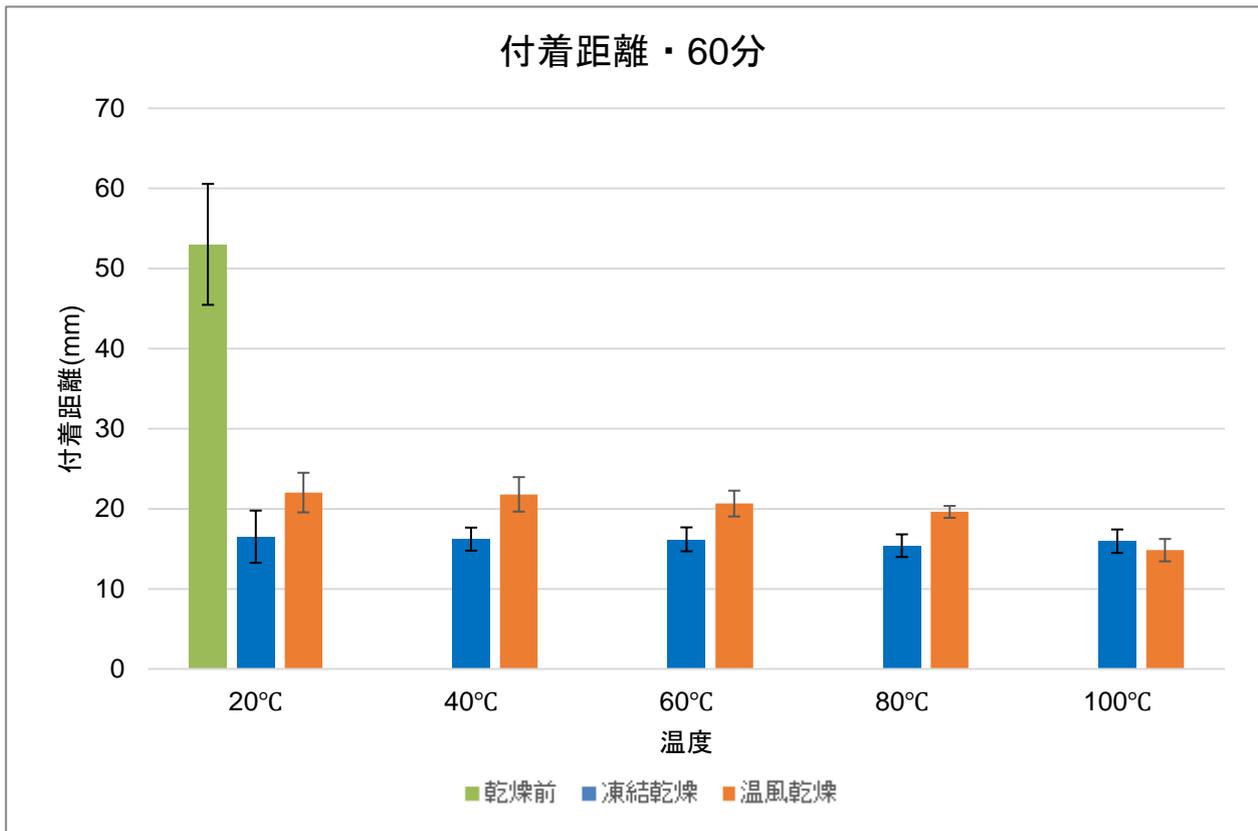


Fig. 2-2-10 水(湯)戻しによる付着距離の変化(60分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2 試料 7 連測定、80°C、100°Cは3 試料 7 連測定)。

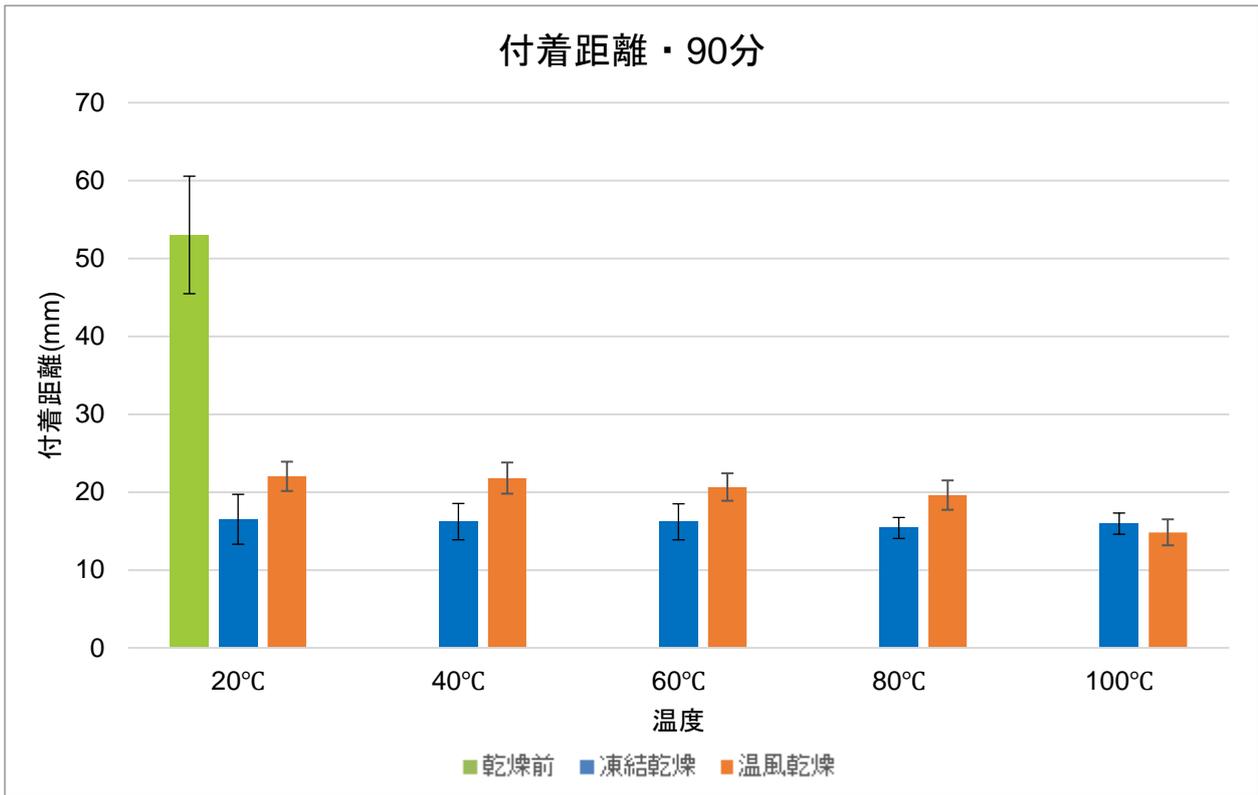


Fig. 2-2-11 水(湯)戻しによる付着距離の変化(90分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

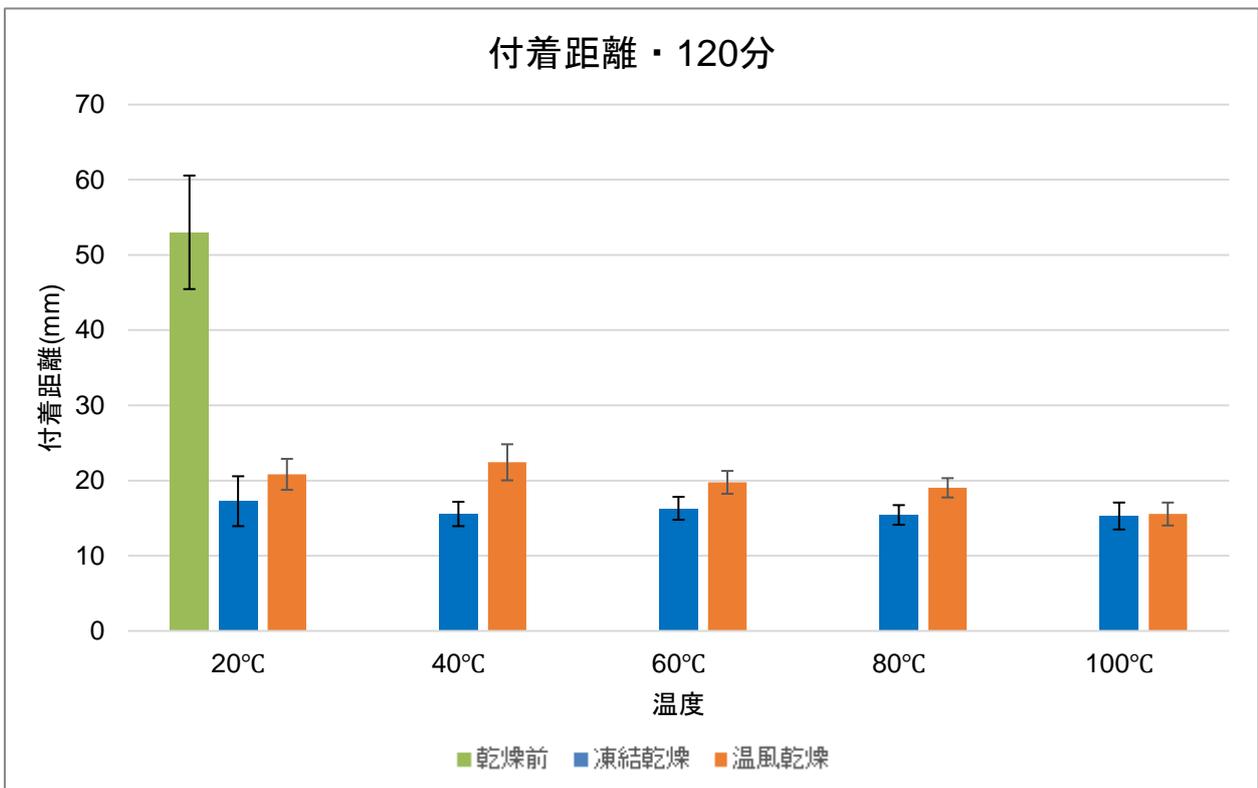


Fig. 2-2-12 水(湯)戻しによる付着距離の変化(120分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

Table 2-2-4 水(湯)戻しによるかたさの変化

戻し時間		かたさ[N]			検定		
		乾燥前	凍結乾燥	温風乾燥	乾燥前 vs.凍結	乾燥前 vs.温風	凍結 vs.温風
30分	20°C	0.49±0.04	1.06±0.34	0.49±0.07	p<0.01	NS	p<0.01
	40°C		0.85±0.12	0.63±0.16	p<0.01	NS	p<0.01
	60°C		1.15±0.17	0.63±0.07	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.96±0.29	0.64±0.08	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		1/56±0.22	0.91±0.08	p<0.01	p<0.01	p<0.01
60分	20°C	0.49±0.04	1.16±0.22	0.53±0.08	p<0.01	NS	p<0.01
	40°C		0.93±0.07	0.78±0.28	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		1.09±0.18	0.61±0.09	p<0.01	NS	p<0.01
	80°C		1.06±0.35	0.73±0.07	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		1.61±0.16	1.10±0.10	p<0.01	p<0.01	p<0.01
90分	20°C	0.49±0.04	1.39±0.25	0.62±0.08	p<0.01	NS	p<0.01
	40°C		1.06±0.10	0.82±0.18	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		1.17±0.07	0.68±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		1.03±0.43	0.78±0.09	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		1.55±0.14	1.18±0.09	p<0.01	p<0.01	p<0.01
120分	20°C	0.49±0.04	1.48±0.23	0.66±0.07	p<0.01	NS	p<0.01
	40°C		1.12±0.10	0.87±0.29	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		1.20±0.13	0.76±0.09	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		1.18±0.43	0.78±0.06	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		1.61±0.21	1.30±0.13	p<0.01	p<0.01	p<0.01

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

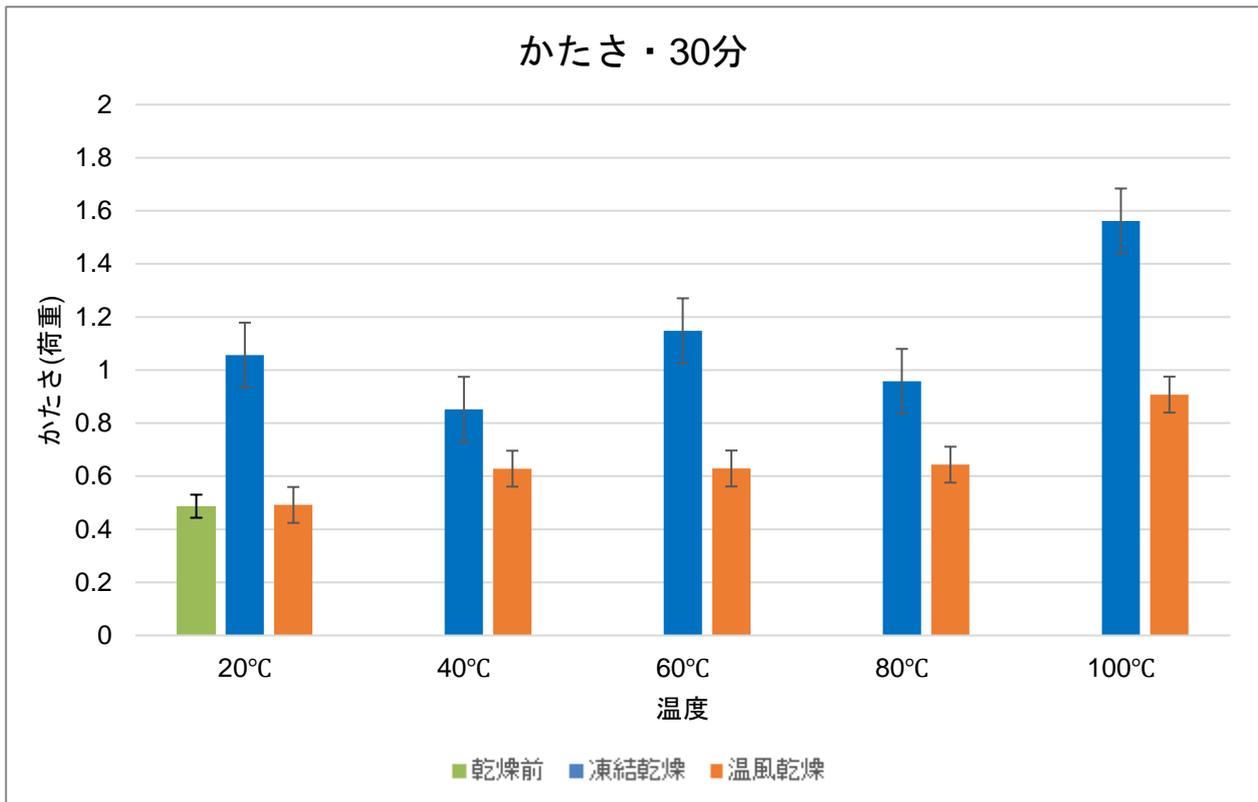


Fig. 2-2-13 水(湯)戻しによるかたさの変化(30分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2 試料 7 連測定、80°C、100°Cは3 試料 7 連測定)。

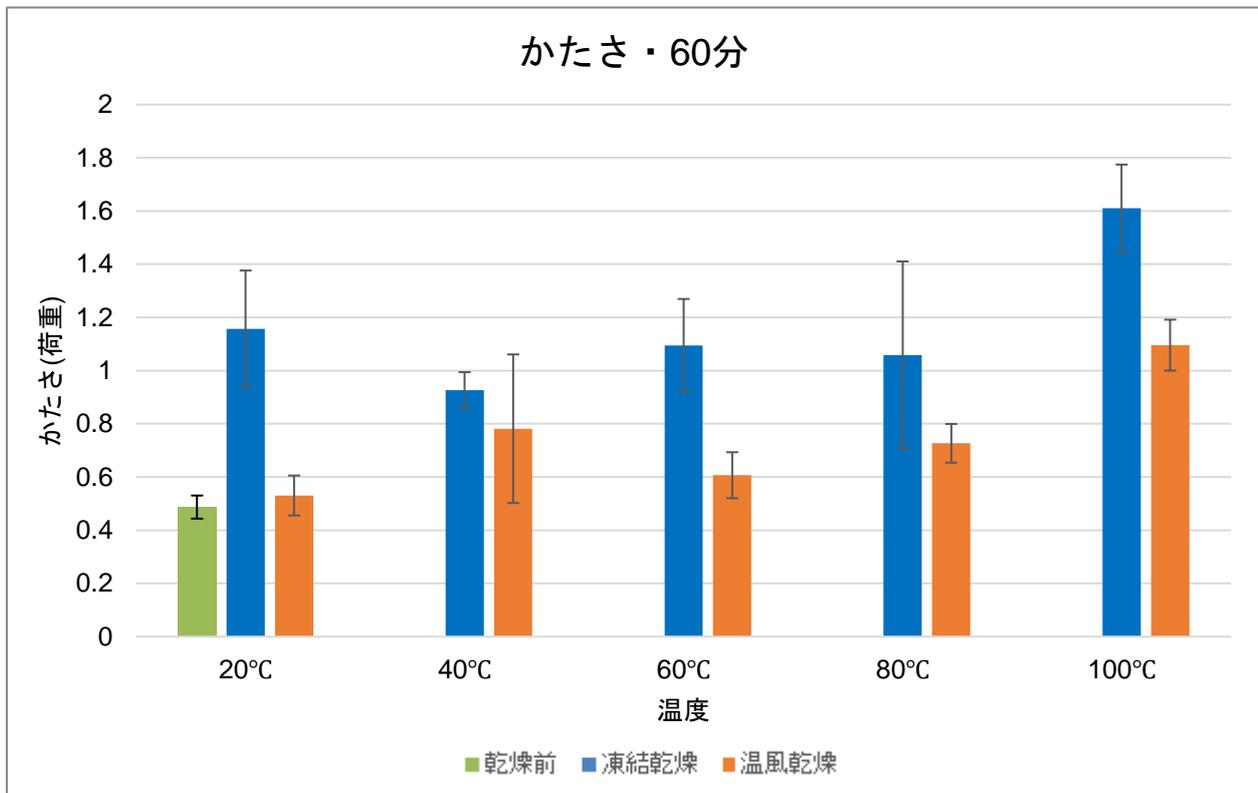


Fig. 2-2-14 水(湯)戻しによるかたさの変化(60分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2 試料 7 連測定、80°C、100°Cは3 試料 7 連測定)。

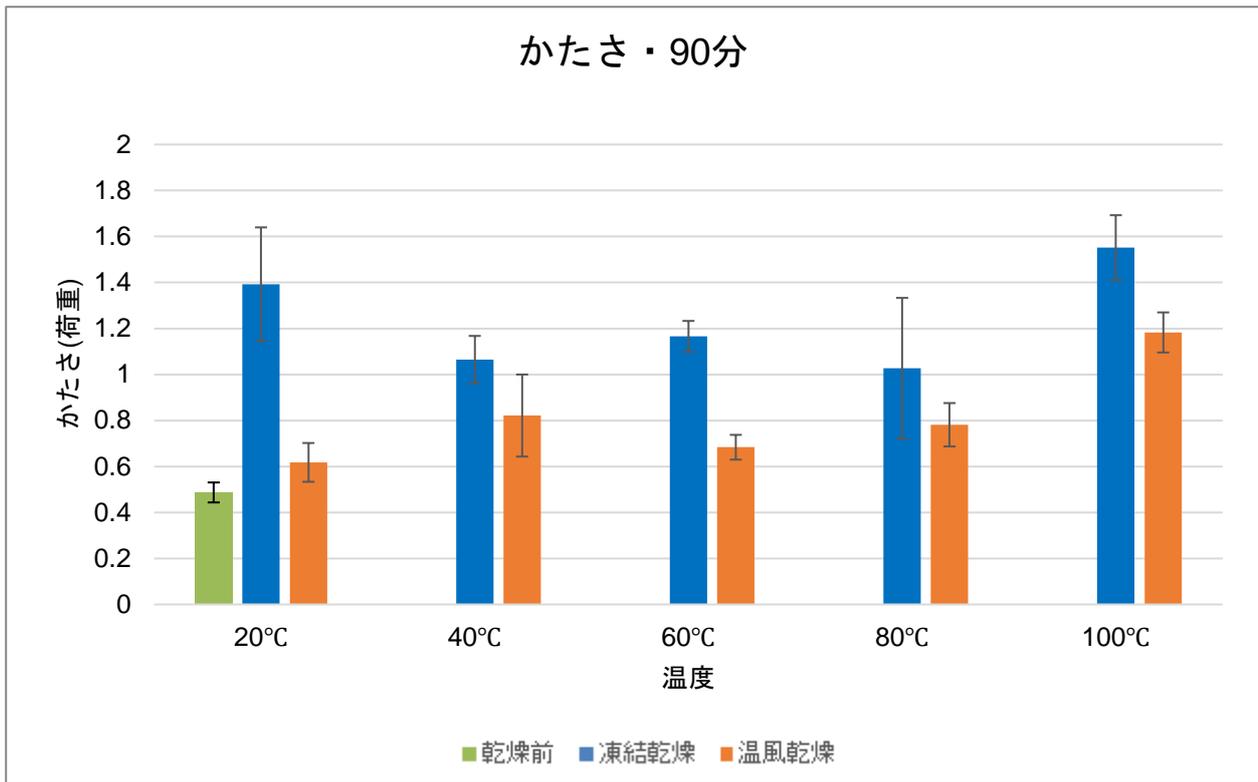


Fig. 2-2-15 水(湯)戻しによるかたさの変化(90分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

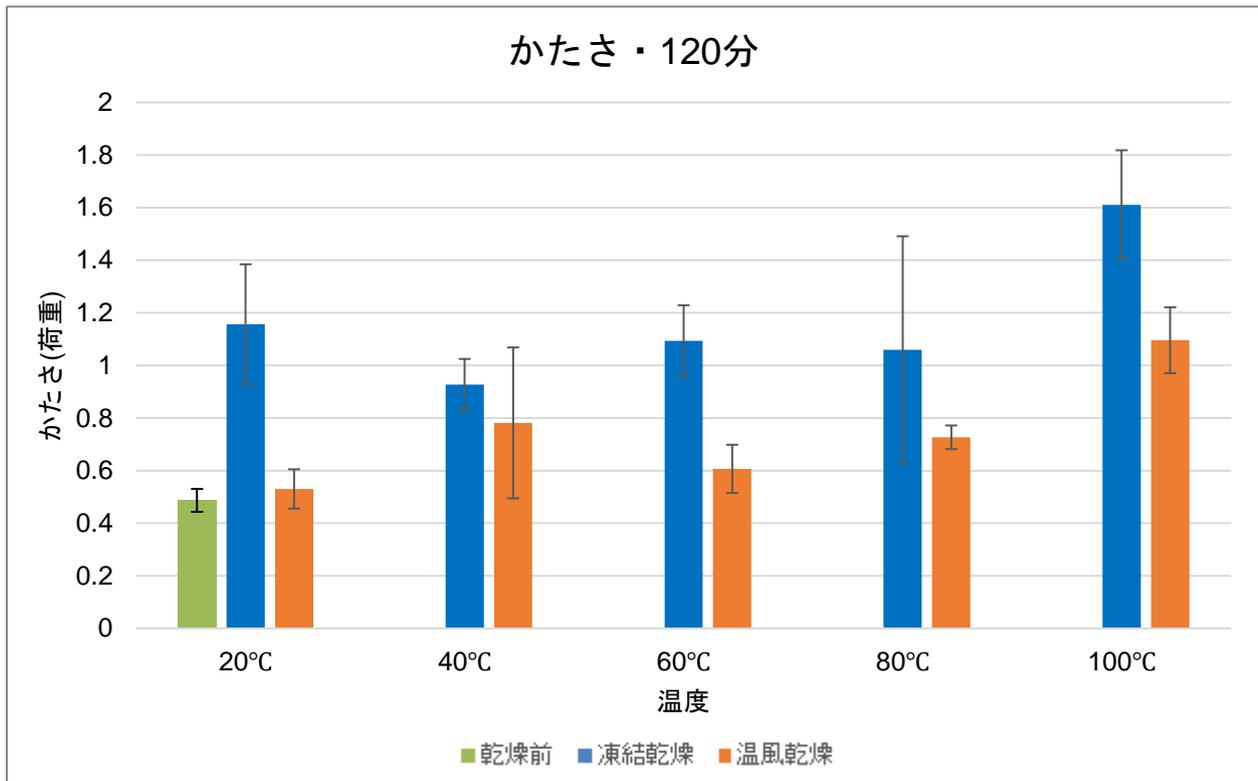


Fig. 2-2-16 水(湯)戻しによるかたさの変化(120分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

Table 2-2-5 水(湯)戻しによる凝集性の変化

戻し時間	凝集性			検定			
	乾燥前	凍結乾燥	温風乾燥	乾燥前 vs.凍結	乾燥前 vs.温風	凍結 vs.温風	
30分	20°C	0.79±0.07	0.39±0.10	0.65±0.09	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.45±0.08	0.58±0.11	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.36±0.04	0.53±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.43±0.04	0.52±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.05
	100°C		0.91±0.03	0.31±0.03	p<0.01	p<0.01	p<0.01
60分	20°C	0.79±0.07	0.39±0.10	0.61±0.08	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.45±0.10	0.56±0.14	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.37±0.04	0.58±0.10	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.40±0.08	0.48±0.03	p<0.01	p<0.01	NS
	100°C		1.10±0.02	0.30±0.04	p<0.01	p<0.01	p<0.05
90分	20°C	0.79±0.07	0.36±0.04	0.60±0.07	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.41±0.04	0.51±0.10	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.34±0.03	0.54±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.41±0.10	0.52±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		1.18±0.02	0.31±0.03	p<0.01	p<0.01	NS
120分	20°C	0.79±0.07	0.34±0.05	0.55±0.08	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	40°C		0.37±0.03	0.49±0.12	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	60°C		0.35±0.03	0.50±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	80°C		0.39±0.10	0.49±0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01
	100°C		1.30±0.03	0.36±0.03	p<0.01	p<0.01	NS

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

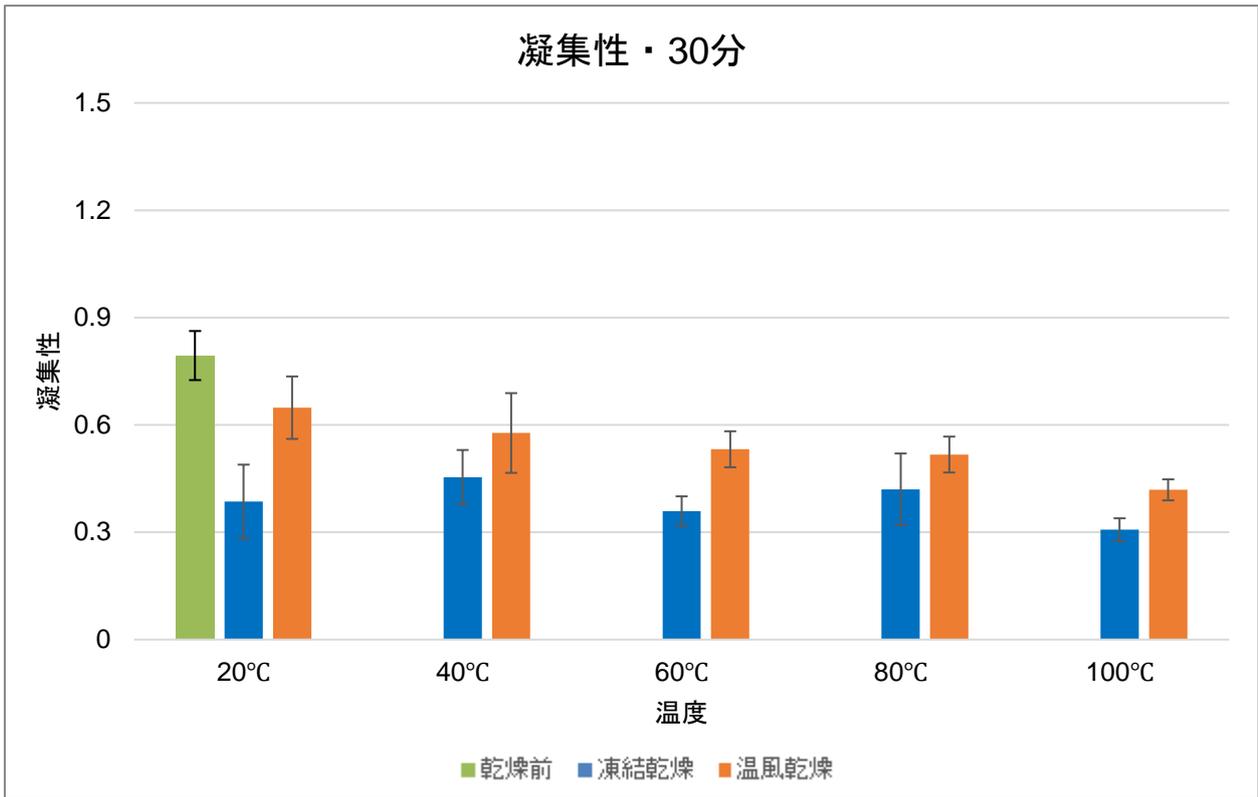


Fig. 2-2-17 水(湯)戻しによる凝集性の変化(30分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)。

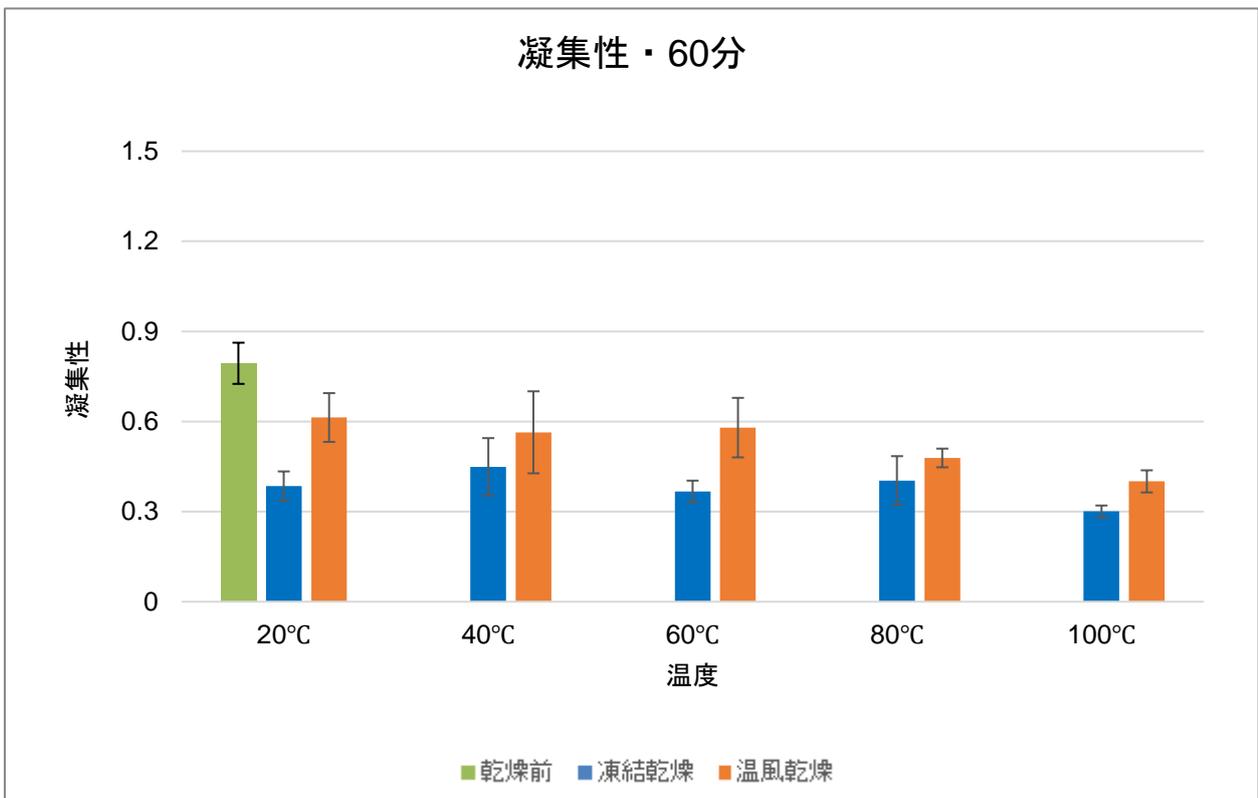


Fig. 2-2-18 水(湯)戻しによる凝集性の変化(60分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2試料7連測定、80°C、100°Cは3試料7連測定)

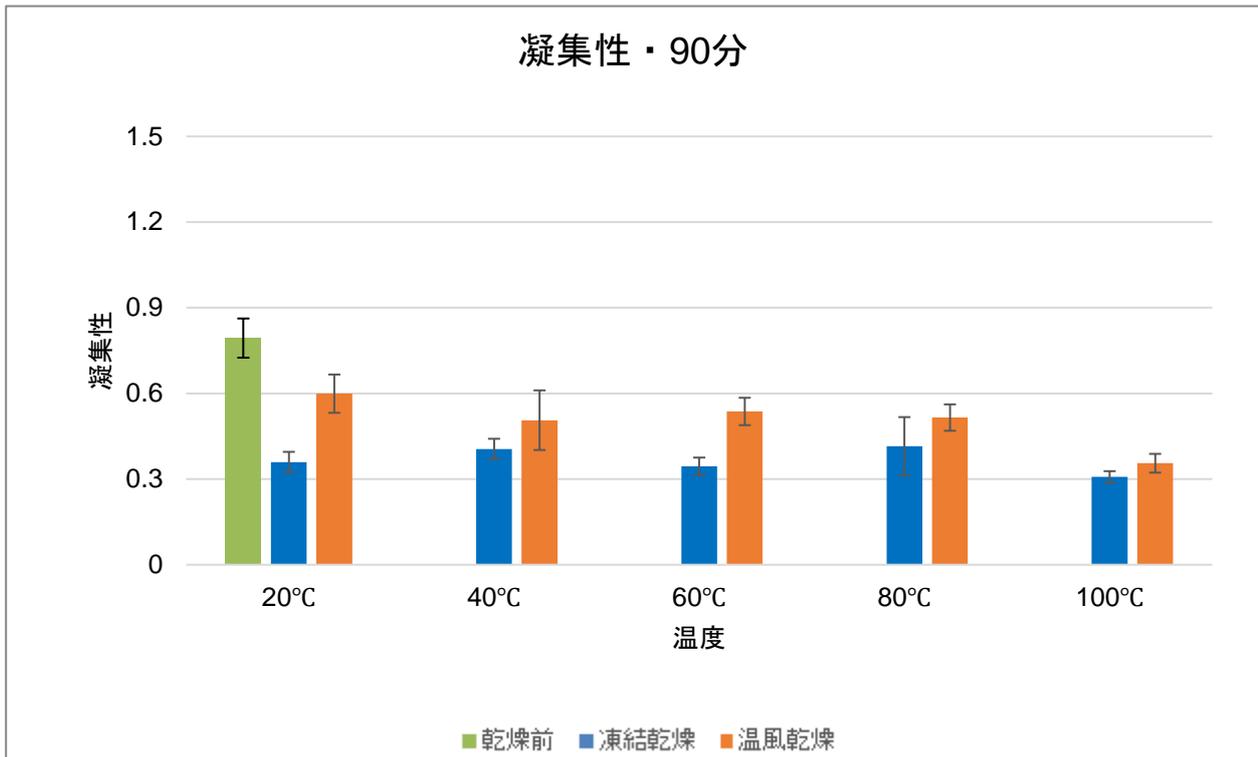


Fig. 2-2-19 水(湯)戻しによる凝集性の変化(90分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2 試料 7 連測定、80°C、100°Cは3 試料 7 連測定)。

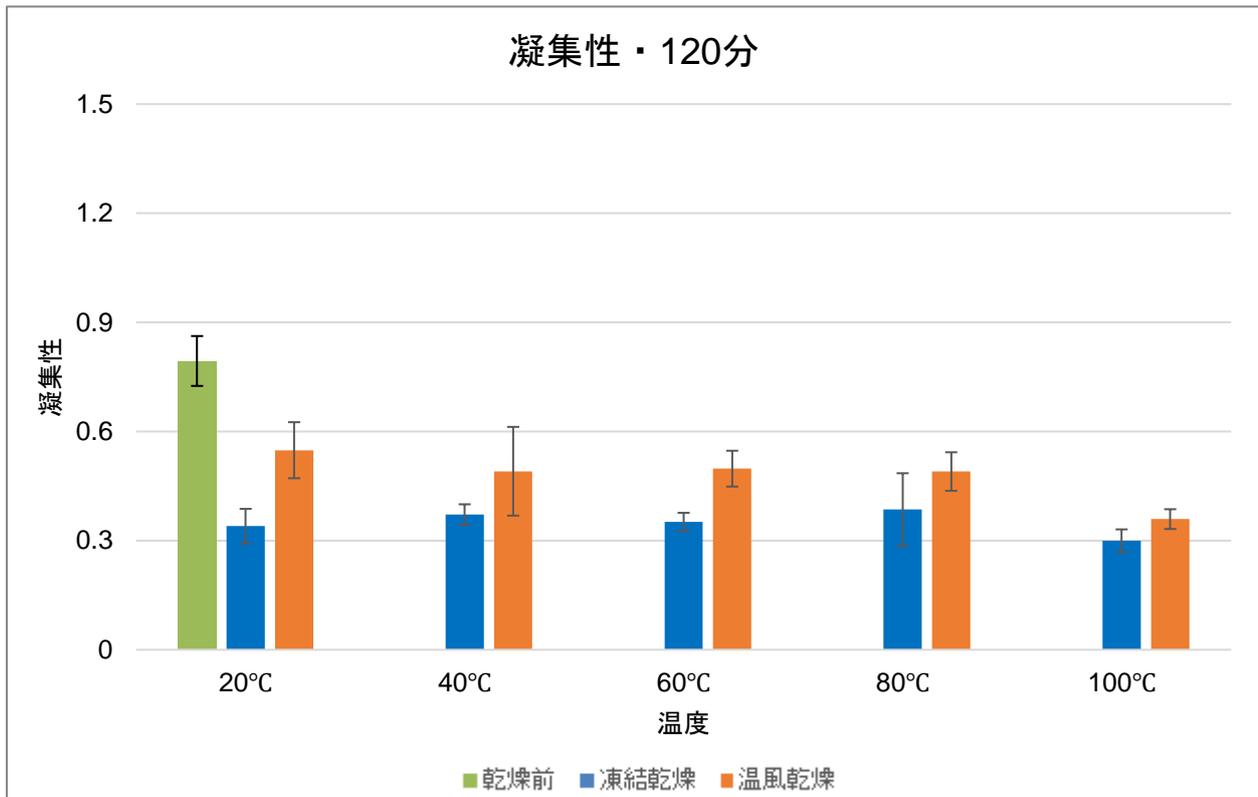


Fig. 2-2-20 水(湯)戻しによる凝集性の変化(120分)

※値は平均値±SD (20°C、40°C、60°Cは2 試料 7 連測定、80°C、100°Cは3 試料 7 連測定)。

Table 2-2-6 水(湯)戻しによる色差の変化

戻し時間	L*値		a*値		b*値		
	凍結乾燥	温風乾燥	凍結乾燥	温風乾燥	凍結乾燥	温風乾燥	
	アカモク	アカモク	アカモク	アカモク	アカモク	アカモク	
乾燥前	25.34		-0.89		22.61		
30分	20°C	20.80	18.94	-0.55	4.36	24.03	22.15
	40°C	19.18	18.80	-0.14	3.90	22.88	22.56
	60°C	20.91	19.72	1.86	4.00	22.78	22.59
	80°C	19.94	18.72	2.83	4.66	22.36	21.77
	100°C	19.51	19.07	4.13	5.82	23.39	22.10
60分	20°C	21.16	19.38	-0.39	4.22	23.72	21.95
	40°C	19.19	18.77	-0.08	3.97	22.86	22.50
	60°C	21.54	19.66	1.88	4.18	23.96	22.71
	80°C	19.61	18.57	2.93	4.80	22.60	21.86
	100°C	20.16	18.99	4.73	5.86	23.56	22.03
90分	20°C	21.10	19.29	-0.18	4.37	23.82	22.27
	40°C	19.17	18.94	0.09	3.92	22.76	22.21
	60°C	21.50	19.70	2.01	4.09	22.48	22.46
	80°C	19.55	18.66	2.39	4.81	22.33	21.27
	100°C	20.01	18.99	4.68	5.84	23.38	22.06
120分	20°C	20.94	19.32	-0.02	4.20	23.78	22.15
	40°C	19.08	19.11	0.07	3.98	22.52	21.97
	60°C	21.38	19.83	1.99	4.22	23.28	22.07
	80°C	19.79	18.61	2.95	4.82	22.02	21.86
	100°C	19.86	19.10	4.57	5.75	23.41	21.75

※3点測定の平均値。

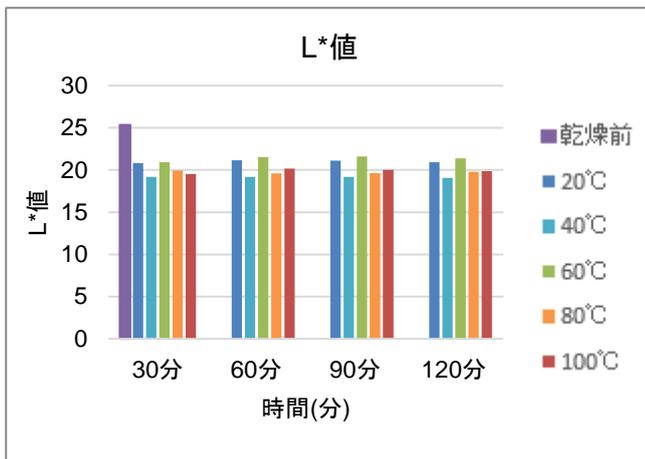


Fig. 2-2-21 水(湯)戻しによる L*値の変化
(凍結乾燥)

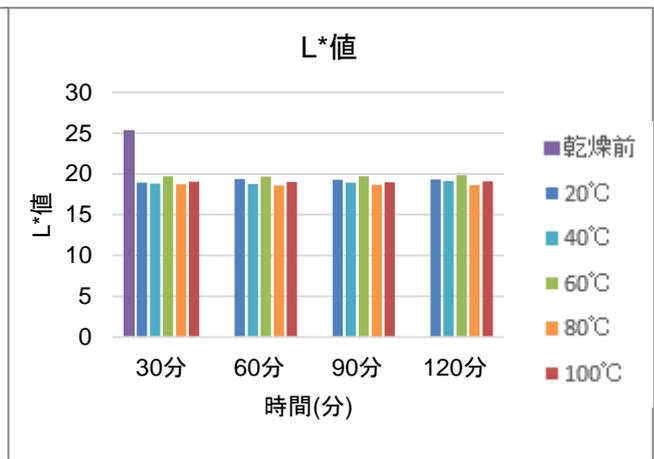


Fig. 2-2-22 水(湯)戻しによる L*値の変化
(温風乾燥)

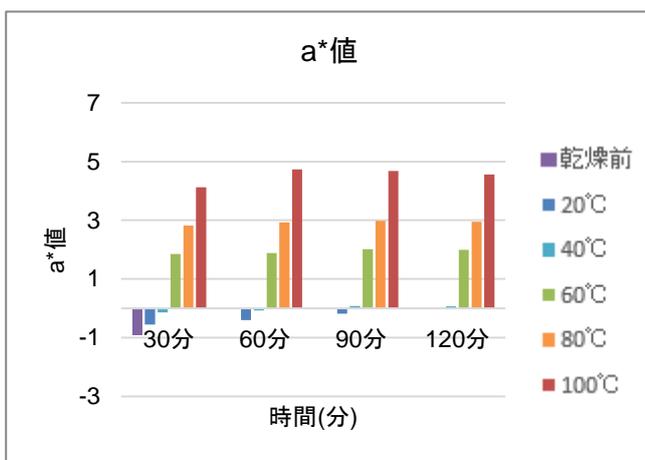


Fig. 2-2-23 水(湯)戻しによる a*値の変化
(凍結乾燥)

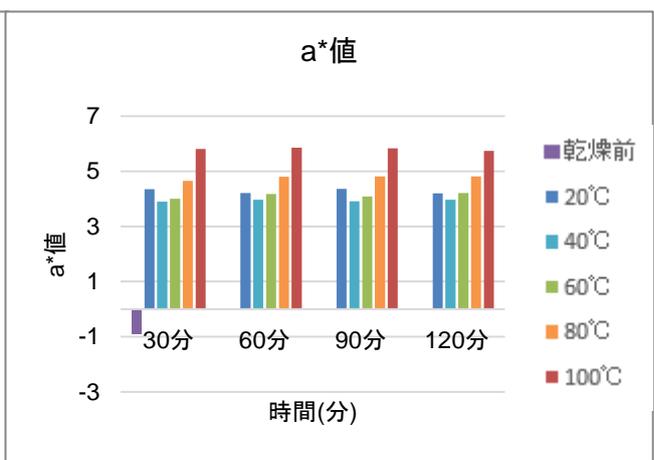


Fig. 2-2-24 水(湯)戻しによる a*値の変化
(温風乾燥)

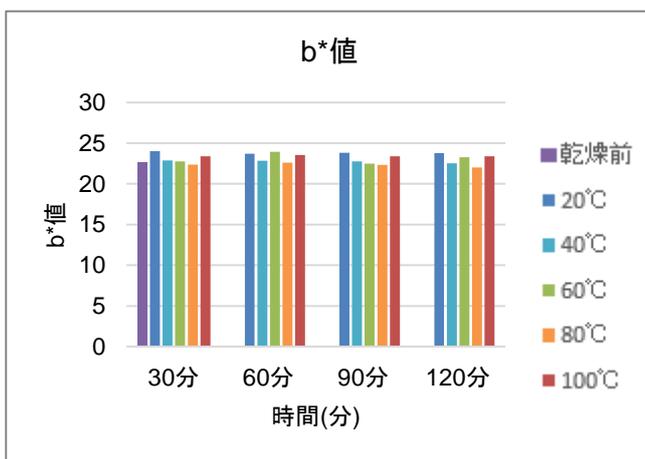


Fig. 2-2-25 水(湯)戻しによる b*値の変化
(凍結乾燥)

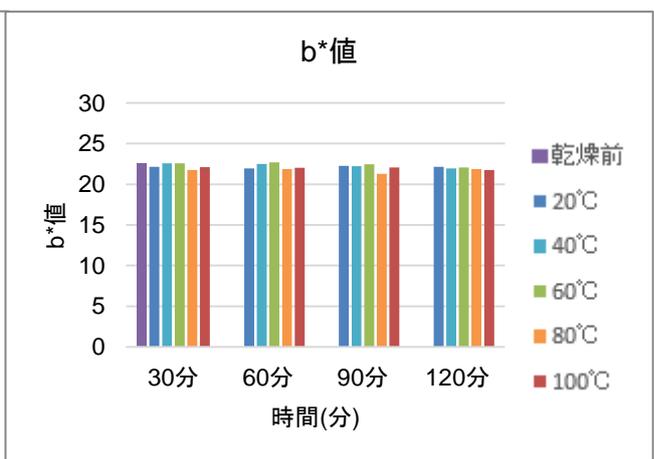


Fig. 2-2-26 水(湯)戻しによる b*値の変化
(温風乾燥)

※ページ内のグラフは全て 3 点測定の平均値。

2-5 引用文献

- 1)人見英里,二宮静香,齋藤義之: 山口県における海藻アカモクの認知度. 山口県立大学
学術情報, 13, 看護栄養学部紀要, 85-98, 2020.
- 2)SHIMADZU: 静的試験ソリューション. テクスチャーアナライザー.
<https://www.an.shimadzu.co.jp/test/products/mtrl03/mtrl0313/features.htm> 2024年12月
1日閲覧.
- 3)西村公雄,松井徳光: 食べ物と健康 3, 食品加工学(第2版). 化学同人, 京都, 94-95,
2017.
- 4)Freesh 株式会社: DozoFreesh. 果物乾燥の方法と特徴. <https://www.freesh.com/dry.html>
(2024年12月1日閲覧)
- 5)株式会社宝エーテーエム: 凍結乾燥とは. https://tatm.co.jp/about_freezedry/index.html
(2024年12月1日閲覧)
- 6)株式会社キミカ: KIMICA Alginate. [https://www.kimica.jp/pdf/catalog/kimica_algin_](https://www.kimica.jp/pdf/catalog/kimica_algin_catalog.pdf)
[catalog.pdf](https://www.kimica.jp/pdf/catalog/kimica_algin_catalog.pdf) (2024年12月1日閲覧)
- 7)株式会社キミカ: アルギン酸. <https://www.kimica.jp/products/Algin/> (2024年12月1
日閲覧).
- 8)守康則,北久美子,宮崎節子: クロロフィルの安定性に関する研究. 家政学会誌, 15(1),
1-5, 1964.
- 9)竹内昌昭,藤井建夫,山澤正勝: 水産食品の事典. 朝倉書店, 東京, 66, 2000.
- 10)山崎清子,島田キミエ,渋川祥子,下村道子,市川朝子,杉山久仁子: NEW 調理と理論.
同文書院, 434-436, 2014.
- 11)相良泰行: 食品凍結乾燥技術の進歩と実用操作への応用. 日本食品工学会誌, 11(1),
1-11, 2010.

第3章 アカモクの加工による機能性の変化

3-1 緒言

アカモクは様々な機能性が期待され、機能性成分の含量の変化、抽出された成分による効果等に関する研究が行われているがその数は少ない^{1),2),3),4)}。しかし、食品としてのアカモクの機能性や特徴を明らかにしていくことは、アカモクの消費を促進していくことにおいて重要である。これまでの研究で、アカモクには抗腫瘍性¹⁾、抗ウイルス作用²⁾および皮膚抗老化作用³⁾、骨代謝の同化作用⁴⁾などが報告されており、これらはアカモクに含まれる水溶性多糖の効果であることが示唆されている。一方、アカモクのメタノール抽出物に抗酸化作用が認められ、活性物質としてフコキサンチンが同定されている¹⁾。また、フコキサンチン以外の抗酸化物質としては、ポリフェノールが関与していることが示されている⁵⁾。しかし、アカモクを茹で加工した場合の抗酸化作用の変化については明らかになっていない。また、現在アカモクの茹で加工においては、温度等に統一された基準はなく品質は加工者の経験と勘に依存している。

抗酸化性に関しては、老化をはじめとした各種疾病の重要な要因として、生体内で生じる活性酸素種が注目され、それらを消去し、生体内を防御する酵素系や抗酸化物質が重要な役割をしていることが明らかにされている⁶⁾。

そこで本章では、茹で加工による抗酸化性の変化を明らかにすることを目的とし、抗酸化機能の評価として、アカモクの抗酸化性に関与しているとされるポリフェノールの量的な指標となる総ポリフェノール量、食品の抗酸化機能の評価に広く用いられる DPPH ラジカル捕捉能の測定を行い、アカモクの抗酸化性を検討した。

3-2 材料と方法

3-2-1 材料

山口県長門市の水産加工業者から購入した、2019年3月上旬に山口県長門市地先で

収穫されたアカモク（以下、長門）と 2019 年 3 月下旬に山口県萩市地先で収穫されたアカモク（以下、萩）を用いた。長門、萩いずれのアカモクも収穫後、生の状態で凍結させた加工用のもの（以下、生アカモク）と、販売用に茹で加工後ミンチ状に加工し凍結されたもの（以下、加工アカモク）の計 4 種類（Photo 3-1～3-4）を、真空凍結乾燥機（DRZ350WC：株式会社 アドバンテック）を用いて約 1 週間乾燥させたものを用いた。乾燥した試料は粉末ミルグラインダー（SG-10BKJ：Cuisinart）を用いて粉碎し、抽出用試料とした。

なお、長門、萩いずれのアカモクも生アカモクについては条件を変え茹で加工を行った後に凍結および乾燥を行った。すなわち、流水で解凍し主軸を取り除いたアカモク約 200g を、約 3.5L の湯を用いて茹で加工を行った後、流水で十分に冷却し、ざる上で 20 分間静置し水切りをした。茹で条件は 60℃1 分、60℃5 分、90℃1 分、90℃5 分の 4 条件とした。

3-2-2 試料の抽出方法

各アカモク粉末 2.5g に、50%エタノール溶液を加え 50mL に定容し、50℃の水浴中で約 15 分加温抽出後、冷蔵庫で 5 日間抽出した。その後、ろ紙もしくは遠心分離（2,500rpm、15 分間、室温、高速大容量冷却遠心機 7000：久保田商事株式会社）により抽出液を得た。

3-2-3 アカモクの抗酸化能の評価

(1) Folin-Ciocalteu 法による総ポリフェノール量の測定

3-2-2 で得られたアカモクエタノール抽出液をエタノールでそれぞれ 30 倍希釈したものを測定用試料液として用いた。2ml 容マイクロチューブに試料液を 0.5ml 入れ、Folin-Ciocalteu 試薬（Sigma-Aldrich）を 0.5ml 加え試験管ミキサーでよく混和した

後、3 分間室温に放置した。そこに 10%Na₂CO₃ 溶液 0.5ml を加え混和後、遮光し、室温で 60 分間放置したものを 11,000rpm、室温にて 2 分間遠心分離し、紫外可視分光光度計 (UV-1800: 株式会社 島津製作所) を用いて 760nm で吸光度を測定した。なお測定は 3 連で行った。また、没食子酸エタノール溶液を用いて検量線を作成し、総ポリフェノール量を乾燥重量当たりの没食子酸当量で表した。

(2) DPPH ラジカル捕捉能による抗酸化性測定

アカモクエタノール抽出液を 50%エタノールでそれぞれ 100 倍希釈したものを測定用試料液として用いた。しかし、B 加工は 50 倍希釈、B90°C1 分・B60°C1 分・B60°C 5 分は 200 倍希釈したものを用いた。1.5ml 容マイクロチューブに 0.1M 酢酸緩衝液 (pH5.6)、0.2mM DPPH エタノール溶液、試料液をそれぞれ 0.3mL ずつ入れ混和し、遮光して 60 分間室温に放置した後、紫外可視分光光度計 (UV-1800: 株式会社 島津製作所) を用いて 517nm で吸光度を測定した。なお測定は 3 連で行った。コントロールとして蒸留水を用いた。また、アスコルビン酸 (AsA) を用いて検量線を作成し、DPPH ラジカル捕捉能を乾燥重量当たりの AsA 当量として表した。

3-2-4 統計解析

統計解析には統計解析ソフト (エクセル統計 株式会社 社会情報サービス) を用い、2 群間比較には t 検定を、多重比較には一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定を用い各試料間の比較を行った。有意水準は 5%および 1%とした。

3-3 結果

3-3-1 生アカモクと加工アカモクの比較

結果を Table 3-1、Fig. 3-1、Table 3-2、Fig. 3-2 に示した。

Folin-Ciocalteu 法による総ポリフェノール量の測定では、長門ー生アカモク、長門ー加工アカモク、萩ー生アカモク、萩ー加工アカモクの総ポリフェノール量は、26.6mg/g、15.1mg/g、26.4mg/g、5.5mg/g（没食子酸当量）であり、長門、萩いずれのアカモクにおいても生アカモクの方がポリフェノール量が多いという結果になった。

DPPH ラジカル捕捉能は、長門ー生アカモク、長門ー加工アカモク、萩ー生アカモク、萩ー加工アカモクそれぞれ、166.9 μ mol/g、56.4 μ mol/g、156.2 μ mol/g、7.6 μ mol/g であり、こちらも生アカモクの方が高い結果となった。

3-3-2 茹で条件の違いによる比較

結果を Table 3-3、Fig. 3-3、Table 3-4、Fig. 3-4 に示した。

Folin-Ciocalteu 法による総ポリフェノール量の測定では、長門のアカモクについては 60°C1分、60°C5分、90°C1分、90°C5分の総ポリフェノール量は、27.7mg/g、21.4mg/g、15.4mg/g、17.4mg/g であり、萩のアカモクについては、それぞれ 31.7mg/g、32.3mg/g、39.1mg/g、25.4mg/g であった。

DPPH ラジカル捕捉能は、長門のアカモクについて 60°C1分、60°C5分、90°C1分、90°C5分においてそれぞれ 129.4 μ mol/g、106.0 μ mol/g、56.2 μ mol/g、76.6 μ mol/g であり、萩のアカモクについてはそれぞれ、115.6 μ mol/g、169.7 μ mol/g、157.4 μ mol/g、165.1 μ mol/g であった。

茹で加工条件のうち温度に着目すると、90°Cよりも 60°Cで茹で加工をした場合の方がポリフェノール量、DPPH ラジカル捕捉能ともに各試料間でのバラつきが少なかった。試料間における違いについては、総ポリフェノール量、DPPH ラジカル捕捉能いずれにおいても萩のアカモクの方が茹で加工の条件によるバラつきが少なかった。

3-4 考察

生アカモクと加工アカモクの比較においては、本章の実験において茹で加工が高温・長時間になるにつれ茹で汁の色が赤くなったことから、茹で加工によりアカモクに含まれるポリフェノールが茹で汁に流出し、抗酸化性も低下したと考えられた。竹ノ内らによるとマコンブにおいては、高温（180-200℃）で加熱焙煎処理をすると、ポリフェノールとラジカル消去活性の増加が認められたと報告されている⁷⁾ことから、海藻中のポリフェノールは加熱によって損失することは少ないと考える。一般に野菜や果物の保形性は細胞壁ペクチン質に依存し、ペクチン質は加熱により分解するため煮熟軟化を引き起こす⁸⁾。本研究においても、茹で加工による刺激にて煮熟軟化し組織中のポリフェノールが流出したために、茹で加工においてポリフェノール量が減少し、DPPH ラジカル捕捉能も低下したと考える。しかし、茹で加工を行った場合でも藻体中にポリフェノールが残り、抗酸化作用を示すことが明らかになった。

また、アカモクは多糖類の含量が季節により大きく変動することが明らかになっているが^{9),10)}、ポリフェノールについては産地間で差があるものの季節変動は明らかになっていない¹¹⁾。今回使用したアカモクは収穫時期、収穫場所が異なる2種類を用いたが生アカモクにおけるポリフェノール量、DPPH ラジカル捕捉能に差は認められなかった。

一方、茹で加工条件の違いによる比較においては、より高温、長時間の茹で加工でポリフェノール量の減少や、DPPH ラジカル捕捉能の低下が見られたわけではない。しかし、バラつきという点においては、90℃よりも60℃の方が、各試料間や茹で加工時間の間に差が出にくい傾向が見られた。これらのことから、品質保持の観点から、現在の加工現場において注目されていない低温での加工が有効である可能性が示唆された。

アカモクにおける抗酸化能の評価にあたって、総ポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能について相関関係を調べた。

総ポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能において、相関関係の強さを示す r 値が生アカモクと加工アカモクの比較、茹で条件による比較においてそれぞれ 0.98 (Fig. 3-5)、0.798 (Fig. 3-6) となり正の相関を持つことが明らかになった。拓殖らは、ポリフェノール類は、DPPH ラジカル捕捉能に関与し、アカモクを含む海藻類において、総ポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能の間に高い相関係数 ($r=0.939$) を示したと報告しており⁹⁾、本研究においても同様の結果となった。

以上のことから、本研究で行った生アカモクと加工アカモクの比較、茹で条件による比較においては、アカモクに含まれるポリフェノールが DPPH ラジカル捕捉能に関与し、アカモクの 50%エタノール抽出液において抗酸化活性の主たる成分はポリフェノール類であることを示すものである。

しかし、本研究で用いた 50%エタノールではフコキサンチンは抽出されないため、他の抽出溶媒（極性の低い有機溶媒）では別の結果になる可能性がある。今後さらに他の抽出溶媒で抽出を行った場合についても検討することが望まれる。



Photo 3-1 長門生（収穫後、凍結）



Photo 3-2 長門加工（茹でミンチ加工後凍結）



Photo 3-3 萩生（収穫後、凍結）



Photo 3-4 萩加工（茹でミンチ加工後凍結）

Table 3-1 生アカモクと加工アカモクの総ポリフェノール量

試料	総ポリフェノール量(mg*/g 乾燥重量)
長門生	26.6±0.5 ^a
長門加工	15.1±0.2 ^b
萩生	26.4±0.6 ^a
萩加工	5.5±0.5 ^c

※3 連測定 of 平均値±SD。各試料間の比較を一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定により行い、異なるアルファベット間で有意差 (p<0.01) があるとした。*:没食子酸当量

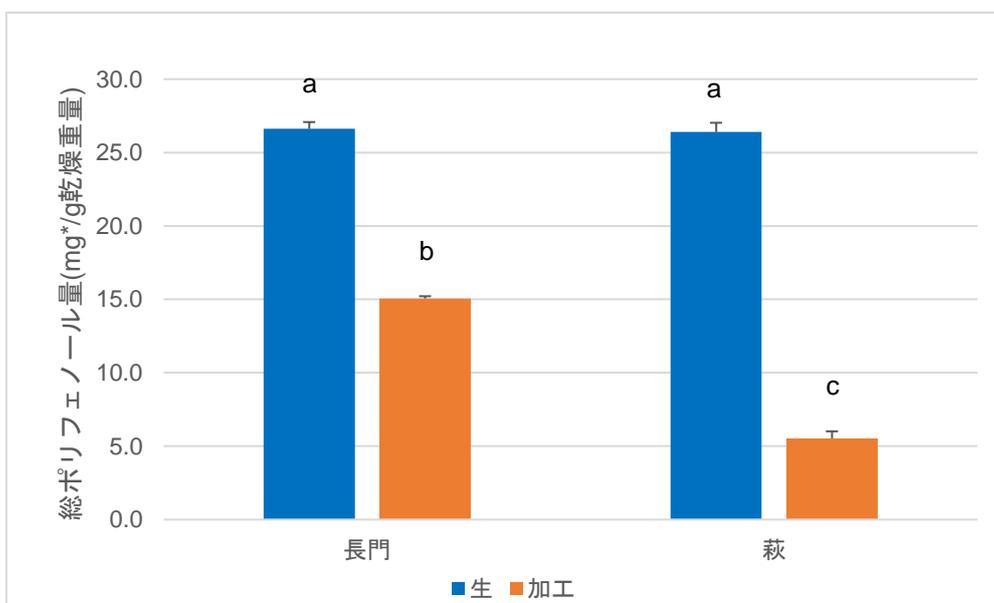


Fig. 3-1 生アカモクと加工アカモクの総ポリフェノール量

※3 連測定 of 平均値±SD。各試料間の比較を一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定により行い、異なるアルファベット間で有意差 (p<0.01) があるとした。*:没食子酸当量

Table 3-2 生アカモクと加工アカモクの DPPH ラジカル捕捉能

試料	AsA 当量($\mu\text{mol/g}$)
長門生	166.9 \pm 8.2 ^a
長門加工	56.4 \pm 8.1 ^b
萩生	156.2 \pm 1.0 ^a
萩加工	7.6 \pm 6.5 ^c

※3 連測定 of 平均値 \pm SD。各試料間の比較を一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定により行い、異なるアルファベット間で有意差 ($p<0.01$) があるとした。

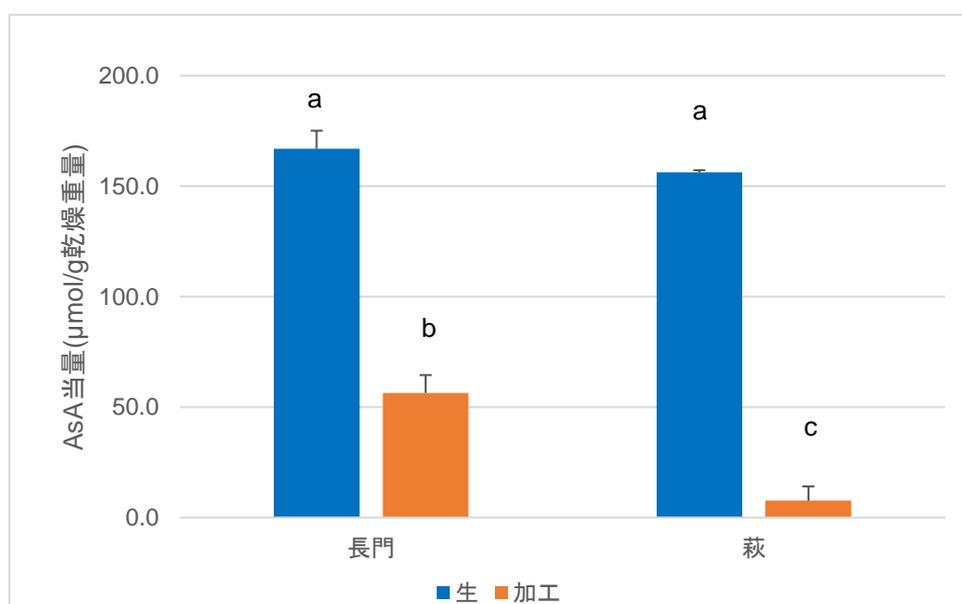


Fig. 3-2 生アカモクと加工アカモクの DPPH ラジカル捕捉能

※3 連測定 of 平均値 \pm SD。各試料間の比較を一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定により行い、異なるアルファベット間で有意差 ($p<0.01$) があるとした。

Table 3-3 茹で加工条件の違いによるアカモクの総ポリフェノール量

試料	条件	総ポリフェノール量(mg*/g 乾燥重量)
長門	60°C 1分	27.7±0.3 ^A
	60°C 5分	21.4±0.1 ^B
	90°C 1分	15.4±0.1 ^D
	90°C 5分	17.4±0.3 ^C
萩	60°C 1分	31.7±1.2 ^b
	60°C 5分	32.3±0.6 ^b
	90°C 1分	39.1±0.8 ^a
	90°C 5分	25.4±0.6 ^c

※3 連測定 of 平均値±SD。同一産地内の加工条件間の比較を一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定により行い、異なるアルファベット間では有意差 (p<0.01) があるとした。*:没食子酸当量

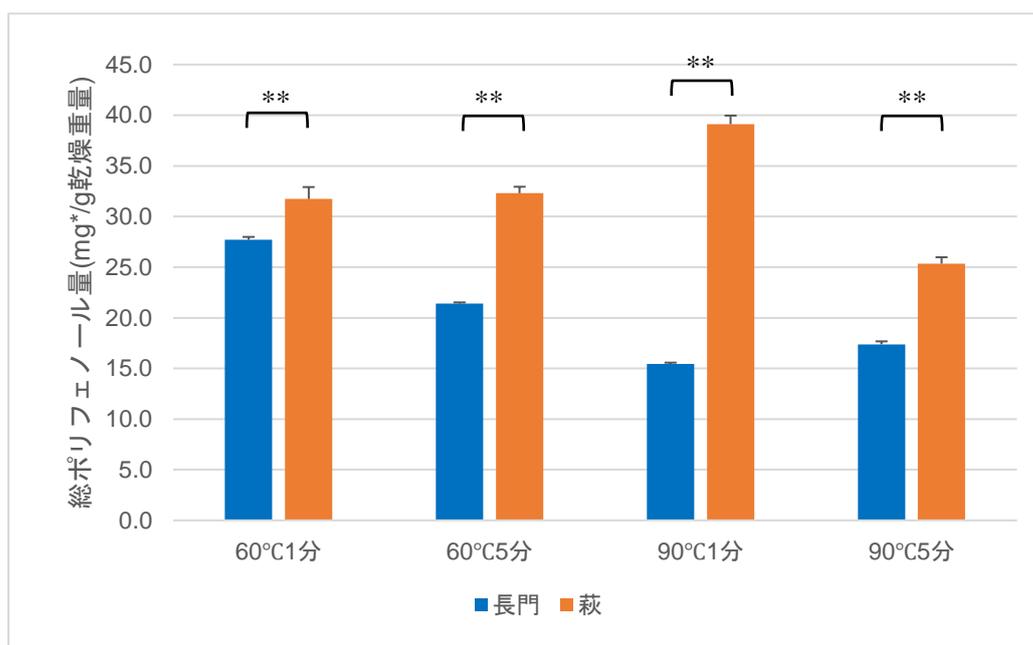


Fig. 3-3 茹で加工条件の違いによるアカモクの総ポリフェノール量

※3 連測定 of 平均値±SD。同一加工条件内の長門 vs.萩間の比較を t 検定により行った (** : p<0.01)。

Table 3-4 茹で加工条件の違いによるアカモクの DPPH ラジカル捕捉能

試料	条件	AsA 当量($\mu\text{mol/g}$)
長門	60°C 1分	129.4 \pm 2.8 ^A
	60°C 5分	106.0 \pm 4.8 ^B
	90°C 1分	56.2 \pm 15.0 ^C
	90°C 5分	76.7 \pm 7.7 ^C
萩	60°C 1分	115.6 \pm 3.4 ^b
	60°C 5分	169.2 \pm 12.9 ^a
	90°C 1分	157.4 \pm 4.9 ^a
	90°C 5分	165.1 \pm 7.6 ^a

※3 連測定 of 平均値 \pm SD。各試料間の比較を一元配置分散および Tukey-Kramer の多重比較検定により行い、異なるアルファベット間で有意差（長門：60°C1分 vs.60°C5分、60°C5分 vs.90°C5分は $p < 0.05$ 、それ以外の組み合わせは $p < 0.01$ 、萩： $p < 0.01$ ）があるとした。

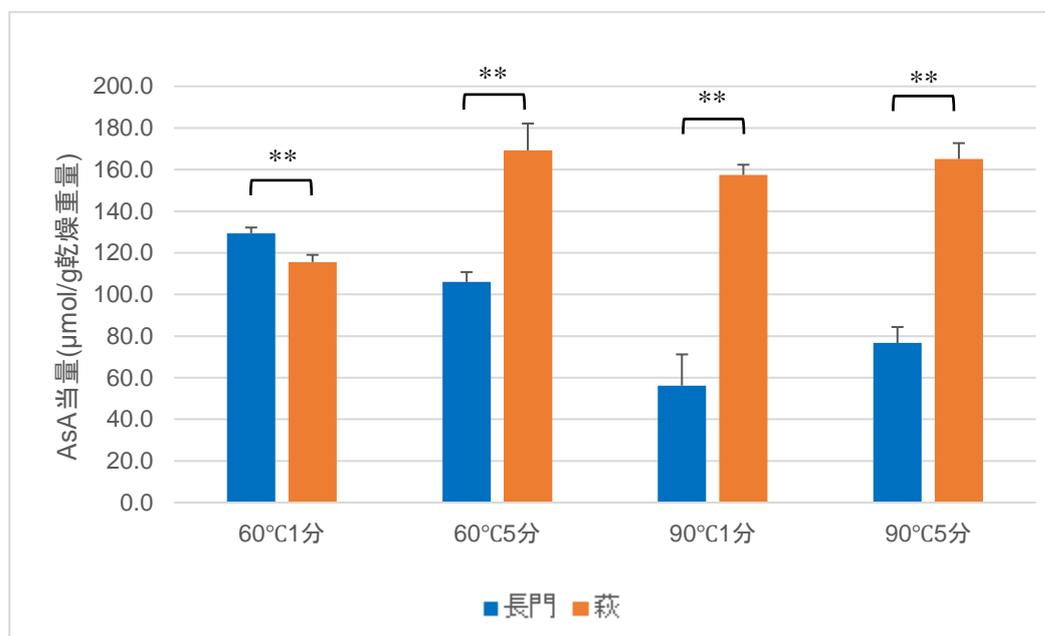


Fig. 3-4 茹で加工条件の違いによるアカモクの DPPH ラジカル捕捉能

※3 連測定 of 平均値 \pm SD。同一加工条件内の長門 vs.萩間の比較を t 検定により行った (** : $p < 0.01$) 。

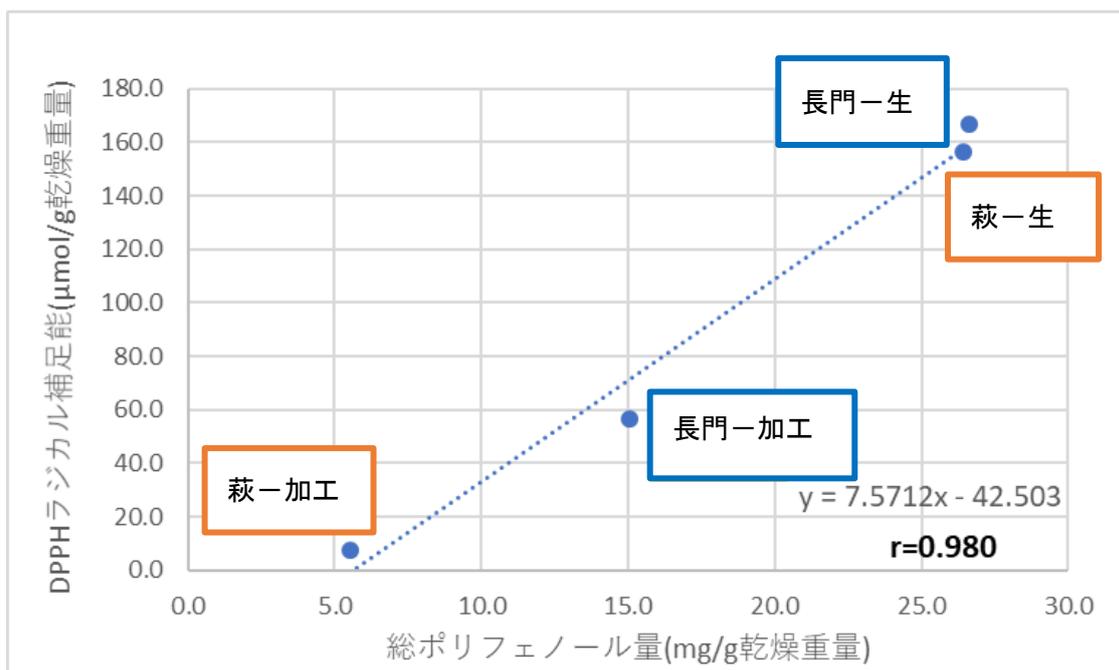


Fig. 3-5 生アカモクと加工アカモクの総ポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能の相関関係

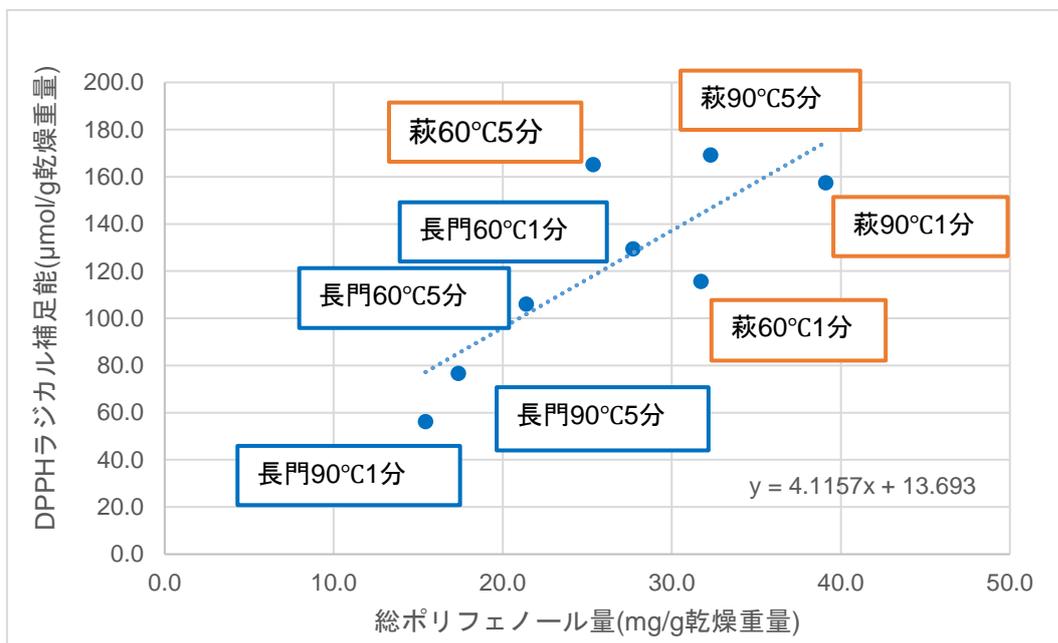


Fig. 3-6 茹で加工条件の違いによる総ポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能の相関関係

3-5 引用文献

- 1) 松田太一, 佐々木甚一, 栗原秀幸, 波多野六男, 高橋是太郎 : アカモク (*Sargassum horneri*)抽出物の抗腫瘍性. 北大水産彙報, 75-86, 2005.
- 2) Hoshino, T., Hayashi, T., Hayashi, K. and Sankawa, U. : Antivirally active sulfated polysaccharide from *Sargassum horneri* (Turner) C. Agardh. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 21(7), 730-734, 1998.
- 3) 大島久華, 森律子, 喜多悠子, 鶴澤史帆 : 天然糖質の化粧品・機能性表示食品素材としての有用性—海藻アカモク及び霊芝(レイシ)の機能性評価—. 香川県産業技術センター研究報告, 9, 70-75, 2009.
- 4) Uchiyama, S. and Yamaguchi, M. : Anabolic Effect of Marine Alga *Sargassum Horneri* Extract on Bone Components in the Femoral-diaphyseal and metaphyseal Tissues of Young and Aged Rats in Vivo. Journal of Health Science, 48(4), 325-330, 2002.
- 5) 拓殖圭介, 岩本彬, 鶴田裕美, 山内良子 : 海藻の産業利用に関する可能性の研究(第1報)-機能性を有する佐賀県産海藻資源の選抜-. 佐賀県工業技術センター, 1, 35-46, 2017.
- 6) 福田靖子, 大澤俊彦, 川岸舜朗, 並木満夫 : 黒ゴマ種子の抗酸化性について. 日本食品工業会誌, 38(100), 915-919, 1991.-
- 7) Takenouchi, A., Okai, Y., Ogawa, A., Higashi-Okai, K. : Enhancing Effect on Radical Scavenging Activity of Edible Brown Alga, *Laminaria japonica* (Makonbu) by Roasting Treatment. Journal of UOEH, 41(4), 363-373, 2019.
- 8) 渕上倫子 : 野菜の加熱とペクチン質. 日本調理学会誌, 40, 1-9, 2007.
- 9) 木村太郎, 上田京子, 黒田理恵子, 赤尾哲之, 篠原直哉, 後川龍男, 深川敦平, 秋本恒基 : 福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の

季節変動. 日本水産学会誌, 73(1), 739-744, 2007.

10) 袁春紅: さんりく産海藻アカモクの健康機能成分分析と食品開発研究.

三陸総合研究, 47, 23-26, 2022.

11) 谷口(山田) 亜樹子, 栗彩子, 佐藤裕子, 風見真知子, 野口治子: 産地の異なるアカモクの成分比較とアカモクの食品への利用. 日本家政学会誌, 70(3),

133-139, 2019.

第 4 章 アカモク加工品の摂取が血糖動態に及ぼす影響¹⁾

4-1 緒言

アカモクは、熱湯で茹でることによって鮮やかな緑色に変化し、特有の強い粘り気のある食感となる²⁾。その粘り成分は水溶性食物繊維のフコイダンとアルギン酸であるが、春先（山口県日本海沿岸においては 2 月から 3 月）にアカモクが成熟し、生殖器床が出現するとフコイタン量が急増する³⁾。フコイタンには抗血液凝固活性⁴⁾やコレステロール低下作用⁵⁾、抗腫瘍効果^{6),7)}などの生理活性があることが知られている。

一方、厚生労働省⁸⁾によれば「令和元年国民健康・栄養調査」において、20 歳以上で「糖尿病を強く疑われる者」の割合は男性 19.7%、女性 10.8%とされており、糖尿病に罹患すると、神経障害や腎症、網膜症、心疾患などの合併症の発症リスクが高まることから、糖尿病の予防は日本人の健康にとって重要な課題であると言える。糖尿病の予防には食事を含む生活習慣の改善が重要であり、中でも食物繊維の十分な摂取は糖尿病の予防に有効であることが Reynolds et al.によるメタ解析により示されている⁹⁾。食物繊維の中でも粘性の高い水溶性食物繊維は、糖質の輸送や消化吸収を抑制あるいは遅延し、これによって血糖の上昇は抑制され、インスリン分泌も減少すると考えられている^{10),11),12),13)}。最近では、水溶性食物繊維におけるこれらの機能性から、食物繊維を多く含む食品の摂取により血糖動態の変化を観察する研究がマウスや人を対象に行われている。海藻類については、Kim et al.によるメタ解析¹⁴⁾により、アカモクと同じ褐藻類の海藻やその抽出物の摂取が食後血糖値を低下させることが報告されているが、これまで食用としては敬遠され、利用度が高くなかったアカモクを用いて人を対象とした同様の研究はまだない。

また、アカモクはフコキサンチンを多く含んでおり、その含量は同じ褐藻類のマコンブやホンダワラより多いことが報告されている^{15),16)}。フコキサンチンにはがんの予防作用、抗肥満作用、脂質代謝改善作用、高血糖改善効果など多くの機能が期待されている¹⁵⁾。アカモクを副菜として摂取することは、水溶性食物繊維だけでなく、フコキサンチンの摂取も可能となることから、これらの機能性についても期待できる可能性がある。

そこで本章では、粘性の高い水溶性食物繊維に富むアカモクを用いて、血糖上昇の抑制に関与しているとされる粘性の有無にも着目し、アカモクおよび粘性を低減させるために電子レンジにより加熱したアカモクそれぞれを米飯とともに摂取した際に血糖動態に及ぼす影響を調べた。

なお、本章は副論文¹⁾と同じデータを用いているが、統計処理方法を一部変更し加筆・修正したものである。そのため、図表の一部は文献¹⁾から引用して用いた。

4-2 材料と方法

4-2-1 被験者

本研究は、本学生命倫理委員会の承認を得たのち実施した(承認番号 2019-26、2019-46、2020-17、2020-24)。被験者は、本研究への参加に同意の得られた本学に所属する 40～65 歳までの教職員男女 25 名とした。なお、直近の検診時や病院受診時に糖尿病等の耐糖能異常や血糖値異常に関する指摘を受けておらず、かつ本研究で試験食として摂取する食品(アカモク以外の海藻も含む海藻類、ポン酢、米飯、吸い物、ふりかけ、それぞれに含まれる成分)に対する食物アレルギーの無い者を被験者とした。

4-2-2 試験食

試験食は、包装米飯（ふっくらつや炊きたきたてご飯：TableMark）180g、インスタント吸い物（松茸の味お吸い物：永谷園）3g、ふりかけ（タナカの〈ふりかけ〉ミニパック：田中食品株式会社）2.5gを基本食とした。基本食に市販のアカモク加工品（ポン酢たれ付き山口県産アカモク：株式会社EVAH）70gと付属のポン酢10gを加えたものをアカモク食とした。また、基本食に粘性を低減させるため電子レンジ（500w）で5分間加熱した前述の市販アカモク加工品と付属のポン酢10gを加えたものを加熱アカモク食とした。水については、ペットボトル入り飲用水（麒麟のやわらか天然水310mL：麒麟ビバレッジ株式会社）を1食につき1本配布した（Table 4-1）。

本研究で用いた市販のアカモク加工品は、加工業者が原料のアカモクを一度ボイルし、ミートチョッパーを用いて細切した状態で販売されているものを用いた。35gの個包装で冷凍あるいは冷蔵流通しており、解凍後は強い粘性を有しているが、電子レンジ加熱により水分を蒸発させることで粘性を低減することができる。用いたアカモク加工品の栄養成分をTable 4-2に示した。

4-2-3 使用機器

血糖値測定には、連続血糖値測定器（FreeStyle リブレ®：アボットジャパン Photo 4-1）を用いた。

4-2-4 試験デザイン

試験は最長 14 日間行い、被験者は血糖値測定器を装着してから 3 日目以降に 1 日 1 食、朝食または昼食として試験食を摂取した。

朝食に摂取する場合は前日 22 時以降、水のみを摂取可とした。昼食の場合は、朝食後 2 時間以上空けて昼食を摂取し、かつ、昼食まで水以外摂取しないよう指示した。試験食はできるだけ食事開始から 15 分以内に完食するよう指示した。試験食摂取時の飲水については、配布したペットボトル入り飲用水で必要な量を摂取するように指示し、飲水量の指定はしなかった。試験食を摂取後 3 時間以降は 22 時までには自由摂食とし、試験期間内を通してできるだけ通常通りの食事や生活を行うよう指示した。

14 日間の試験期間中に各試験食を摂取する日は被験者自身で設定した。

4-2-5 血糖値測定および評価方法

血糖値測定は最長 14 日間行い、最初の 2 日間は、試験食を摂取しない常生活時の血糖動態を測定し、3 日目以降に朝食または昼食の代わりに試験食を摂取した場合の血糖動態を測定した。測定は摂取後 2 時間まで行った。測定に用いた「FreeStyle リブレ®」は 15 分間隔で血糖値を自動測定するが、血糖動態を正確に把握するため、試験食摂取直前、摂取直後（0 分）、摂取後 15 分、30 分、45 分、60 分 90 分および 120 分に手動での測定もあわせて行った。

測定された血糖値から①食後最大血糖値、②血糖上昇値、③血糖上昇時間、④血糖下降時間、⑤血糖上昇速度、⑥血糖値曲線下面積を求めて比較検討した。②血糖上昇値は、食後最大血糖値から摂取直前の血糖値をひいた値、③血糖上昇時間は、食事開始から食後最大血糖値となるまでの時間、④血糖下降時間は、食後最大血糖値から食事開始時の血糖値に戻るまでの時間をそれ

ぞれ表す。また⑤血糖上昇速度は、②血糖上昇値を③血糖上昇時間で除した値であり、⑥血糖値曲線下面積はグルコースの吸収量を表す。

4-2-6 統計解析

統計解析には統計解析ソフト(エクセル統計 株式会社 社会情報サービス)を用いた。評価方法の項で示した各評価項目における 3 種の試験食間の差について一元配置分散分析(対応あり)および Sidak の多重比較を行った。有意水準は 5%とした。

4-3 結果

4-3-1 被験者の基本情報

被験者は男性 8 名、女性 17 名の計 25 名であった (Table 4-3)。年齢は 52.5 ± 7.3 歳で、身長は男性 172.3 ± 4.3 cm 女性 159.8 ± 3.6 cm、体重は男性 71.5 ± 6.3 kg、女性 58.5 ± 7.2 kg (平均値 \pm 標準偏差) であった。

4-3-2 試験食摂取の基本データ

それぞれの試験食について、朝食・昼食別の食事回数、食事に要した時間、摂食量・飲水量が 100%未満であった回数、服薬がある人数、サプリメントを摂取した人数を Table 4-4 に示した。

試験食は延べ数として、朝食として摂取された回数が 59 回、昼食として摂取された回数が 91 回であった。また、平均食事時間は試験食間で大きな差はなかった。アカモク食において摂食量が 100%に満たない者が 3 名いたが、いずれも味付け用のふりかけ摂取量の差であり血糖動態に及ぼす影響は少ないと考えデータを利用した。

4-3-3 血糖値データ

被験者の血糖動態を Table 4-5 および Fig. 4-1～4-6 に示した。各試験食間で比較した結果、食後最大血糖値、血糖上昇値、血糖上昇速度において、アカモク食摂取時および加熱アカモク食摂取時は普通食摂取時と比較して有意に低値を示した。また、血糖上昇時間は、アカモク食摂取時および加熱アカモク食摂取時は普通食摂取時と比較して有意に高値を示した。血糖下降時間および血糖値曲線下面積については有意な差は認められなかった。

本研究では試験食の摂取のタイミングを朝食と昼食のいずれかとし、ひとつに指定していない。そこで、試験食を朝食として摂取した場合（以下朝食群）と昼食として摂取した場合（以下昼食群）とで群分けし比較検討した。

比較方法は各評価項目について、①朝食群における試験食別 3 群間、②昼食群における試験食別 3 群間の比較を一元配置分散分析（対応あり）および Sidak の多重比較検定により行い、③各試験食群における朝食群と昼食群の 2 群間の比較をそれぞれ t 検定により行った。

摂取タイミング別に比較した結果を Table 4-6 および Fig. 4-7～4-18 に示した。①の朝食群における試験食別 3 群間の比較では、血糖上昇時間においてアカモク食が普通食と比較し有意に高値であったが、その他の項目では有意な差は認められなかった。②の昼食群における試験食別 3 群間の比較では、食後最大血糖値、血糖上昇値、血糖上昇速度において、アカモク食摂取時および加熱アカモク食摂取時は普通食摂取時と比較して有意に低値を示した。また、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積については有意な差は認められなかった。③の各試験食群における朝食群と昼食群の 2 群間の比較では、食後最大血糖値および血糖上昇速度については全ての試験食群において朝食群と昼食群との間に有意な差は認められなかった。一方、

血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積については、血糖下降時間の加熱アカモク群を除き、昼食群は朝食群と比較して有意に高値を示した。

4-4 考察

本研究では、水溶性食物繊維であるフコイダンを含むアカモクの血糖値上昇抑制効果について、通常の食事を想定し米飯とともに副菜として摂取した際の血糖動態を把握し検討した。水溶性食物繊維の血糖値上昇抑制効果は、主にその粘性によるグルコースの消化管内滞留時間の延長と小腸での吸収阻害の2つの要因によるものであると考えられている¹⁷⁾。穀類では、モチ性的大麦混合米飯摂取により、 β グルカン量に依存した血糖値の上昇抑制効果があることや¹⁸⁾、小麦全粒粉配合パンの摂取により小麦粉と比較して食後の最大血糖値上昇を抑制することが報告されている¹⁹⁾。また、日本沿岸に分布する海藻においてはワカメの摂取が食後血糖値を低下させることや²⁰⁾、マウスへのエゴノリ抽出物の前投与が、グルコースによる血糖値の上昇を抑制することが報告されている²¹⁾。

本研究では、食後最大血糖値、血糖上昇値のいずれの結果からも、アカモクおよび加熱アカモクは血糖値上昇抑制作用を持つことが推測された。また、グルコースの消化管内滞留時間に関与する指標として血糖上昇時間を算出したが、アカモクおよび加熱アカモクいずれも血糖上昇時間の延長が認められたことから、グルコースの消化管内滞留時間の延長が血糖値上昇に影響を及ぼしたと推測された。また、血糖上昇値と血糖上昇時間から算出した血糖上昇速度についても、アカモク食および加熱アカモク食摂取時とともに基本食摂取時と比べて低下することが認められた。以上のことから、アカモクお

よび加熱アカモクの摂取には、血糖値上昇抑制に加え、上昇速度を抑制する作用があることが示された。

食後血糖値の急激な上昇を繰り返すことは血糖値スパイクとも言われ、空腹時血糖値の上昇にもつながると考えられている²²⁾。このことから、アカモク食および加熱アカモク食の摂取は、食後の血糖値の急激な上昇を抑制することで高血糖を予防する効果を持つ可能性が示唆された。また、血糖値スパイクは慢性の代謝異常や、これにより引き起こされる生活習慣病と関連すると考えられている^{23),24)}ことから、アカモク食および加熱アカモク食は前述のワカメなどと同様に代謝異常や生活習慣病のリスク低減にも有効である可能性が示唆された。

アカモク食および加熱アカモク食摂取時の血糖値曲線下面積は、基本食摂取時と比べ有意な差は認められなかった。これは、血糖値上昇が抑制された一方で血糖上昇時間が延長することで、グルコースの消化管内滞留時間が延長したことによるものと推測された。血糖値曲線下面積は人体における糖質の吸収量をあらわす指標であるため、アカモクまたは加熱アカモクの摂取は人体に吸収される糖質量を抑制する働きは持たず、栄養素の吸収を阻害しないことが示唆された。

粘性については、水溶性食物繊維は粘度が大きいほどグルコースの消化管内滞留時間が延長し、吸収量が減少したという報告がある²⁵⁾。今回用いたアカモクおよび加熱アカモクでは、糖質の吸収量の抑制作用は確認されなかったが、いずれにおいても血糖値上昇抑制作用が認められた。電子レンジ加熱したアカモクは水分が蒸発することで粘性が大幅に減少しているが、減少した量の水分を加えることで、加熱前のアカモクほどではないが粘性が復活することを確認している。このことから、加熱アカモクは加熱直後には粘性

を有していないものの、摂食された後に口腔内の唾液や消化管内の消化液によって粘性が回復することで、その粘性がアカモク食と同様に血糖値上昇抑制に影響を与えたと推測された。

試験食を摂取したタイミングにより朝食群、昼食群を分けて群間で比較検討した結果からは、血糖上昇値、血糖上昇時間、血糖下降時間および血糖値曲線下面積のいずれも、ほとんどの比較において昼食群が朝食群より有意に高い値を示したことから、朝食より昼食の方が糖質の消化管内滞留時間が長く、体内吸収量が大きかったことが示された。一方で、朝食群、昼食群を分けて群内で試験食間の比較検討をした結果からは、昼食群においてアカモクおよび加熱アカモクいずれも、血糖値上昇抑制に加え、上昇速度を抑制する作用があることが示された。このことから、朝食、昼食の摂取タイミングに着目すると、アカモクおよび加熱アカモクは昼食として摂取した場合に、より血糖値上昇や上昇速度を抑制する作用がある可能性が示唆された。

一方、朝食の欠食や食事内容の違いは昼食の血糖応答に影響を与えたとされており²⁶⁾、中でも低GIの食事が高GIの食事と比べて次の食事の後の血糖応答をより低くする現象はセカンドミール効果と呼ばれている²⁷⁾。本研究では被験者に対して試験食を摂取するタイミングを朝食もしくは昼食と指定しており、全150回の摂取のうち91回で昼食が選択された。そのため、昼食に試験食を摂取した場合、その日の朝食は各自で異なっており、その内容によってセカンドミール効果のように昼食後の血糖動態に影響を及ぼした可能性も考えられる。このことから、より正確なデータを得るためには、試験食の摂取を朝食時に統一するなどの方法が有効であると考えられる。

本章では、アカモクの粘性に着目して血糖動態に及ぼす影響について検討した。本種を茹で加工した際、特有の粘性を示す成分として水溶性食物繊維

のフコイダンやアルギン酸がある。一方、粘性には関与しない成分であるが、海洋性カロテノイドの一つであるフコキサンチンを含んでおり、フコイダン同様にアカモクが成熟する春先に含量が高くなることが報告されている²⁸⁾。ワカメやヒジキ、モズクなどの褐藻類に多く含まれるこの3成分は、抗血液凝固活性やコレステロール低下作用、抗腫瘍効果、抗肥満作用、脂質代謝改善作用、抗酸化能など多様な健康効果が期待され、サプリメントも販売されている。これらの成分を多く含むアカモクを通常の食事における副菜として摂取した際の健康効果について、今回は高血糖を予防する効果を持つ可能性が示唆された。他の多様な健康効果についても、さらなる研究が望まれる。

Table 4-1：各試験食の構成¹⁾

①基本食	②アカモク食	③加熱アカモク食	分量
包装米飯	包装米飯	包装米飯	180g
インスタント吸い物	インスタント吸い物	インスタント吸い物	1袋
ふりかけ	ふりかけ	ふりかけ	1袋
	アカモク	アカモク (粘性を低減させるため 電子レンジで5分加熱)	70g
	ポン酢	ポン酢	10g
水	水	水	310mL

Table 4-2：アカモクの栄養成分¹⁾

エネルギー (kcal)	14.4
たんぱく質 (g)	0.8
脂質 (g)	0.0
炭水化物 (g)	3.7
糖質 (g)	2.0
食物繊維 (g)	1.7
食塩相当量 (g)	1.0

※アカモク 35g、ポン酢 10g あたりの値 (製造会社調べ)



Photo 4-1 FreeStyle リブレ
左：センサー 右：リーダー

Table 4-3：被験者の属性^{1)より改変}

	男性 (8人)	女性 (17人)
年齢 (歳)	53.1 ± 5.6	52.2 ± 8.4
身長 (cm)	172.3 ± 4.3	159.8 ± 3.6
体重 (kg)	71.5 ± 6.3	58.5 ± 7.2
BMI (kg/m ²)	24.1 ± 2.3	22.9 ± 2.7

※値は平均値±SD。

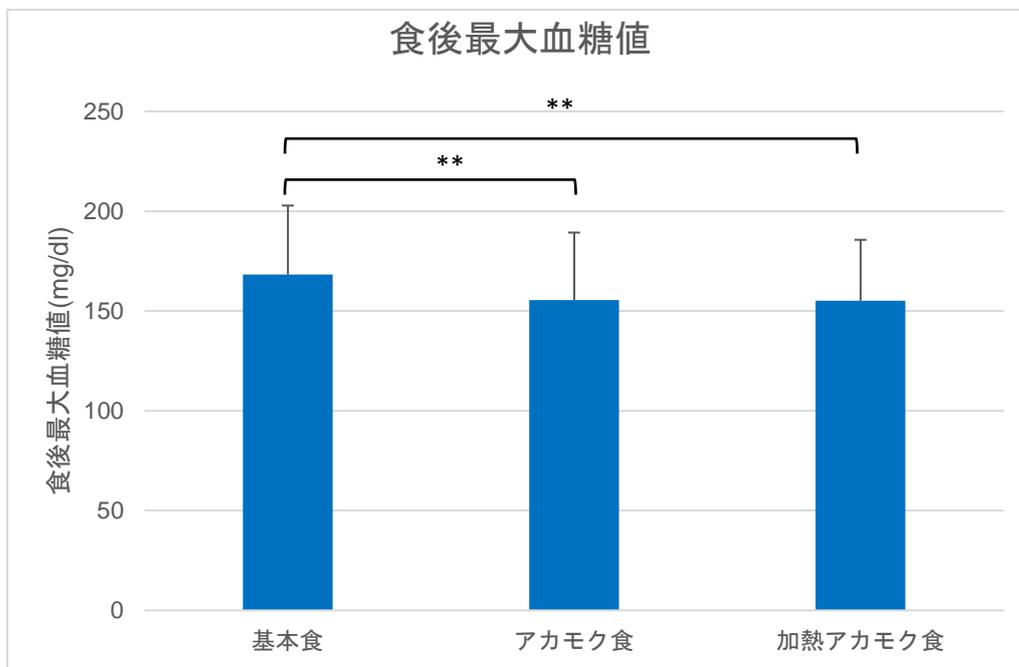
Table 4-4：試験食摂取の基本データ^{1)より改変}

	基本食	アカモク食	加熱アカモク食
食事回数 (回)	朝食	20	20
	昼食	31	30
食事時間 (分)	11.2±4.1	11.8±3.7	12.0±3.3
摂食量 100%未満 (回)	0	3	0
飲水量 100%未満 (回)	16	16	13
服薬あり者(人)	5	5	7
サプリメント摂取者 (人)	1	2	1

Table 4-5 : 各試験食別の食後血糖動態 ¹⁾より改変

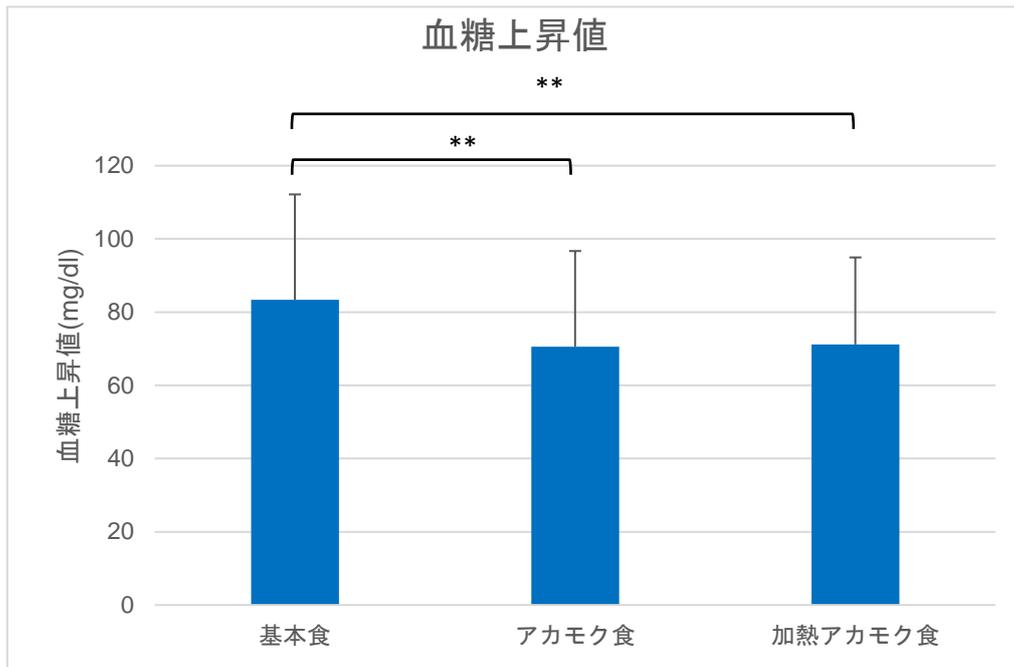
	基本食	アカモク食	加熱アカモク食
食後最大血糖値 (mg/dl)	168.2±34.6 ^a	155.5±33.8 ^b	155.1±30.5 ^b
血糖上昇値 (mg/dl)	83.3±28.8 ^a	70.3±26.2 ^b	71.2±23.8 ^b
血糖上昇時間 (時間)	0.92±0.27 ^a	1.06±0.32 ^b	0.99±0.29 ^b
血糖下降時間 (時間)	2.10±0.69	2.15±0.75	2.35±0.93
血糖上昇速度 (mg/dl/時間)	98.1±32.5 ^a	71.5±24.7 ^b	75.2±18.7 ^b
血糖値曲線下面積 (mg・min/dl)	6,761±3,599	6,341±3,508	6,859±3,588

※値は 25 人の平均値±SD。各測定項目の試験食間の比較は一元配置反復分散分析および Sidak の多重比較により行い、異なるアルファベット間で有意差 (p<0.01) があったとした。



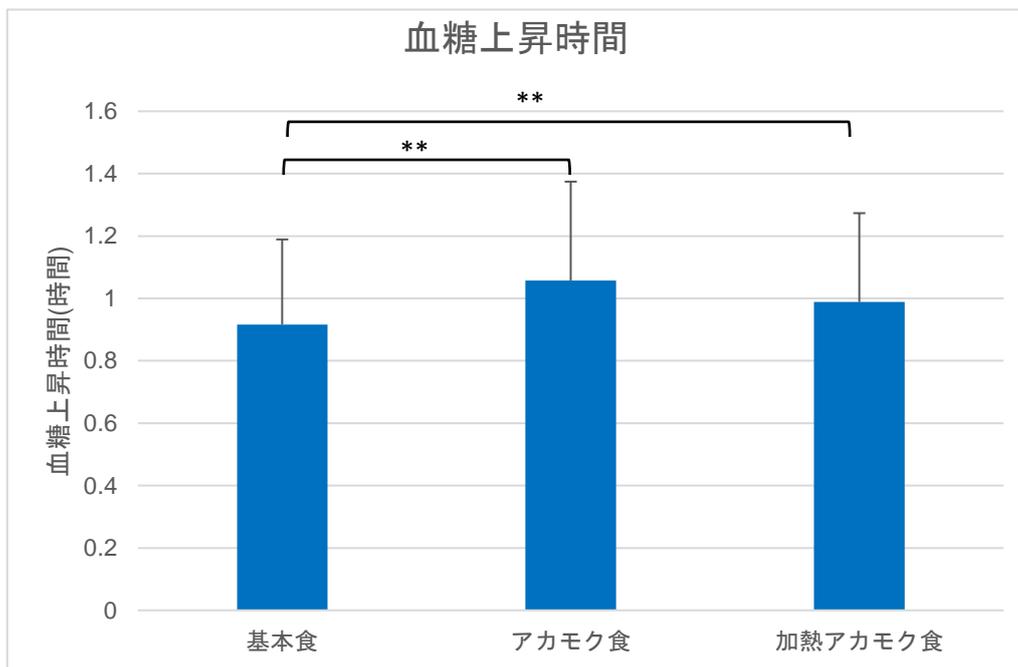
** : p<0.01

Fig. 4-1 各試験食別の食後最大血糖値(値は 25 人の平均値±SD)



** : p<0.01

Fig. 4-2 各試験食別の血糖上昇値(値は 25 人の平均値±SD)



** : p<0.01

Fig. 4-3 各試験食別の血糖上昇時間(値は 25 人の平均値±SD)

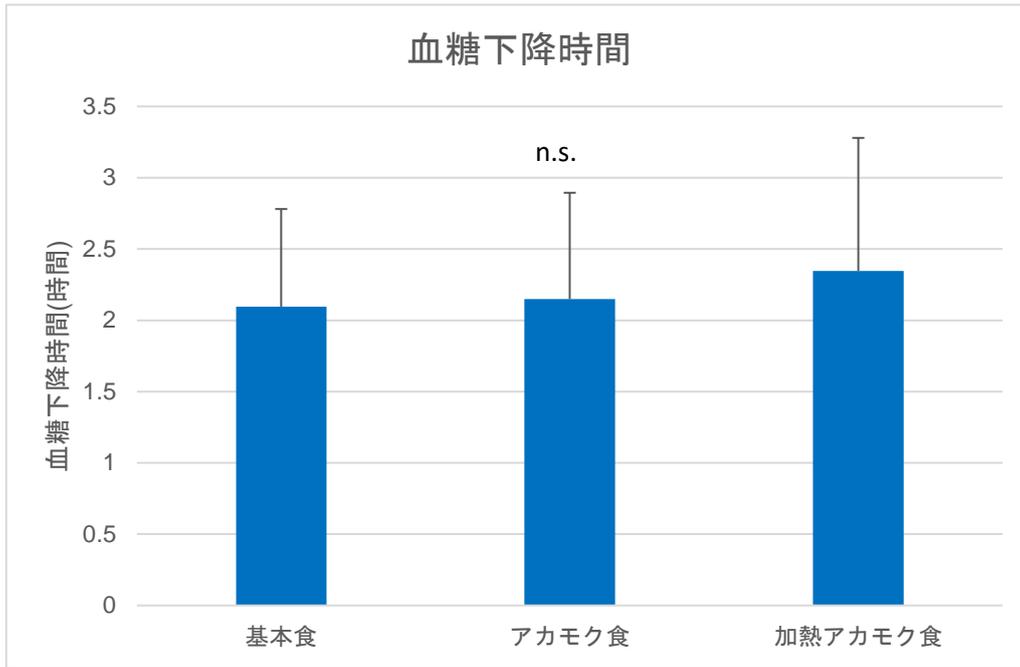
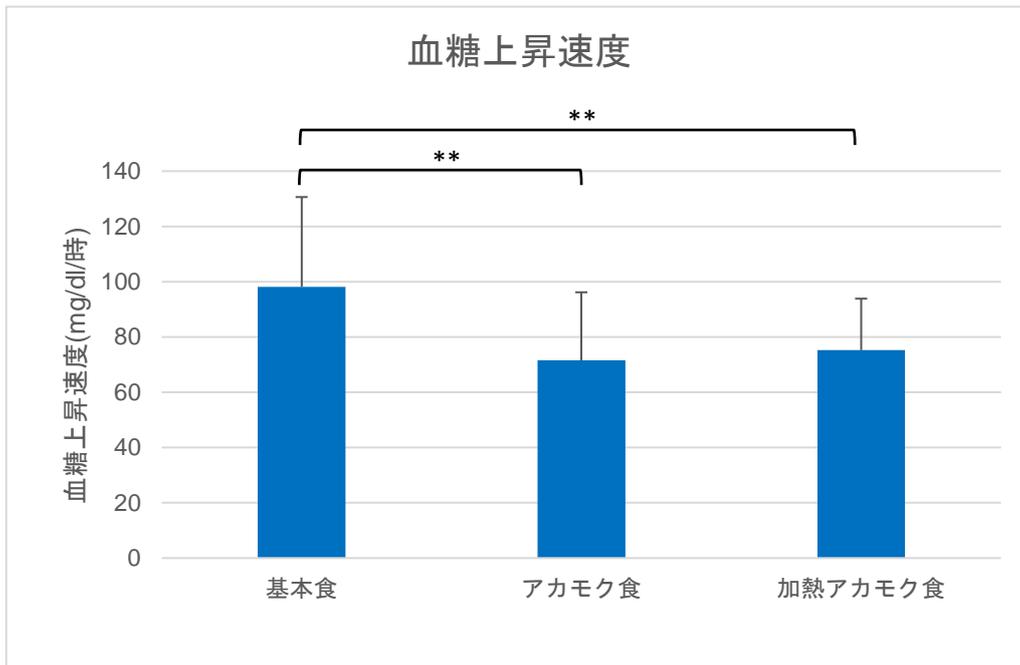


Fig. 4-4 各試験食別の血糖下降時間(値は 25 人の平均値±SD)



** : p<0.01

Fig. 4-5 各試験食別の血糖上昇速度(値は 25 人の平均値±SD) ※1)より改変

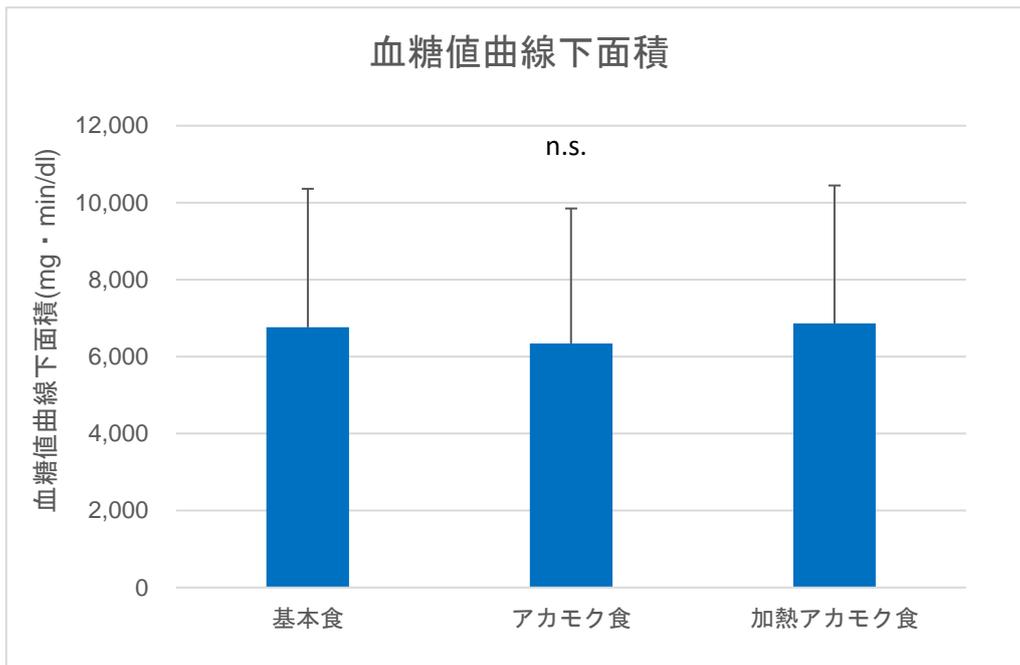


Fig. 4-6 各試験食別の血糖値曲線下面積(値は25人の平均値±SD)

Table 4-6 : 各試験食別・摂取タイミング別の血糖動態¹⁾より改変

		基本食	アカモク食	加熱アカモク食
食後最大血糖値 (mg/dl)	朝食群	151.4 ± 23.9	143.4 ± 24.8	144.8 ± 24.2
	昼食群	175.4 ± 38.3	163.6 ± 36.4	163.3 ± 31.6
血糖上昇値 (mg/dl)	朝食群	64.3 ± 11.9	56.5 ± 14.6	56.3 ± 13.2
	昼食群	92.7 ± 31.6*	79.9 ± 27.9*	81.0 ± 23.7**
血糖上昇時間 (時間)	朝食群	0.70 ± 0.18	0.82 ± 0.19	0.76 ± 0.15
	昼食群	1.05 ± 0.22**	1.21 ± 0.29**	1.12 ± 0.25**
血糖下降時間 (時間)	朝食群	1.69 ± 0.49	1.69 ± 0.65	2.02 ± 1.00
	昼食群	2.40 ± 0.66**	2.46 ± 0.64**	2.59 ± 0.77
血糖上昇速度 (mg/dl/時間)	朝食群	100.5 ± 35.5	72.5 ± 18.1	76.1 ± 15.5
	昼食群	93.6 ± 31.8	70.9 ± 28.2	75.7 ± 20.3
血糖値曲線下面積 (mg・min/dl)	朝食群	3,875 ± 1,784	3,574 ± 1,765	4,636 ± 2,502
	昼食群	8,360 ± 3,340**	8,186 ± 3,151**	8,409 ± 3,461**

※値は朝食群：10人、昼食群：15人の平均値±SD。各行の試験食3群間の比較を一元配置分散分析（対応あり）およびSidakの多重比較により行った（検定の結果は各グラフに示した）。各列の測定項目ごとの朝食群 vs. 昼食群の比較をt検定により行い、有意に高値を示した群を*：p<0.05，**：p<0.01で示した。

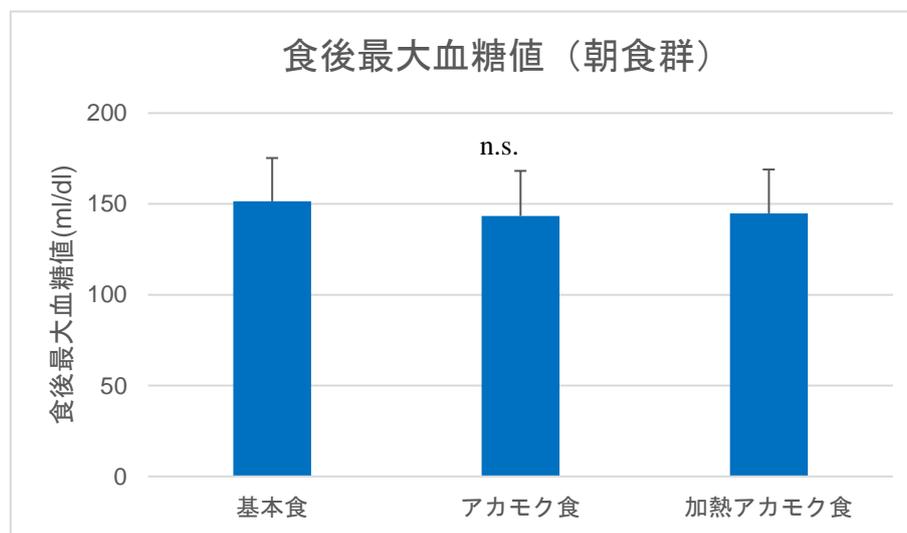
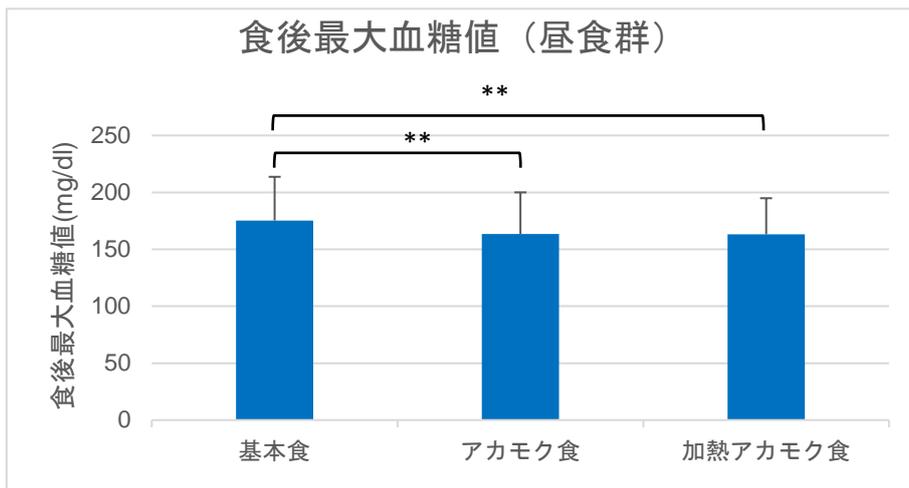


Fig. 4-7 各試験食別の食後最大血糖値（値は朝食群10人の平均値±SD）



** : p<0.01

Fig. 4-8 各試験食別の食後最大血糖値 (値は昼食群 15 人の平均値±SD)

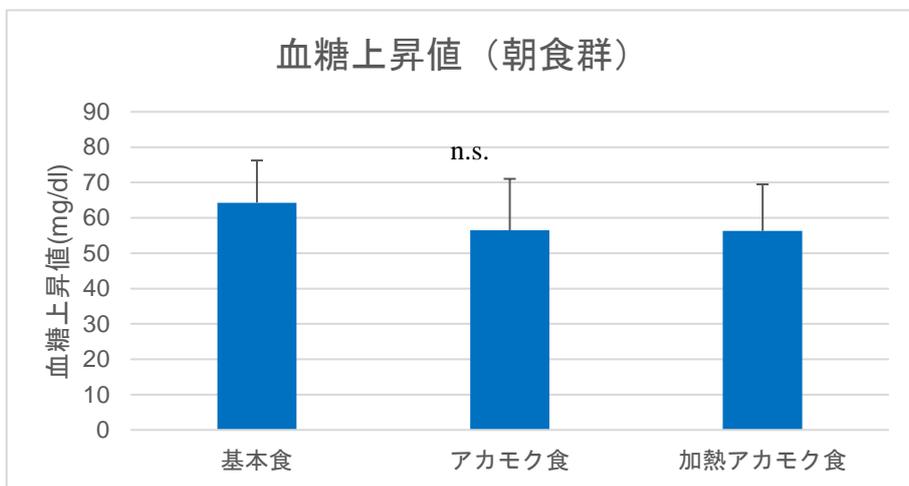
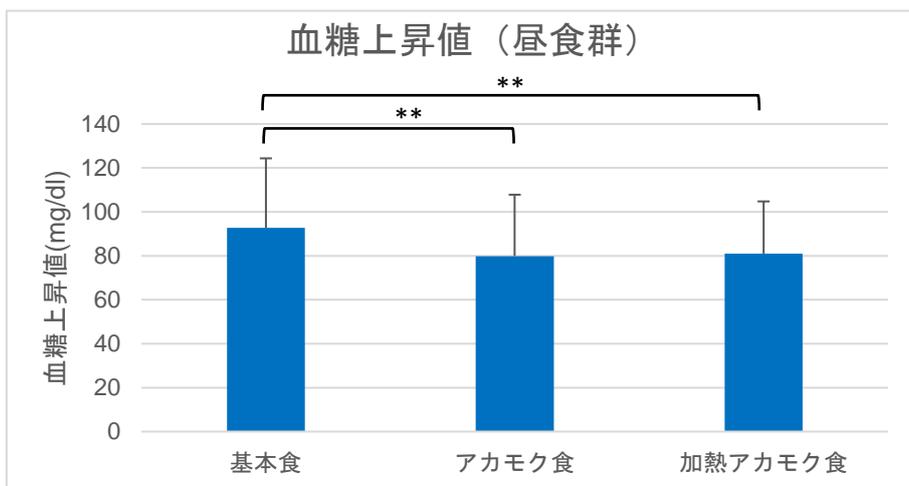
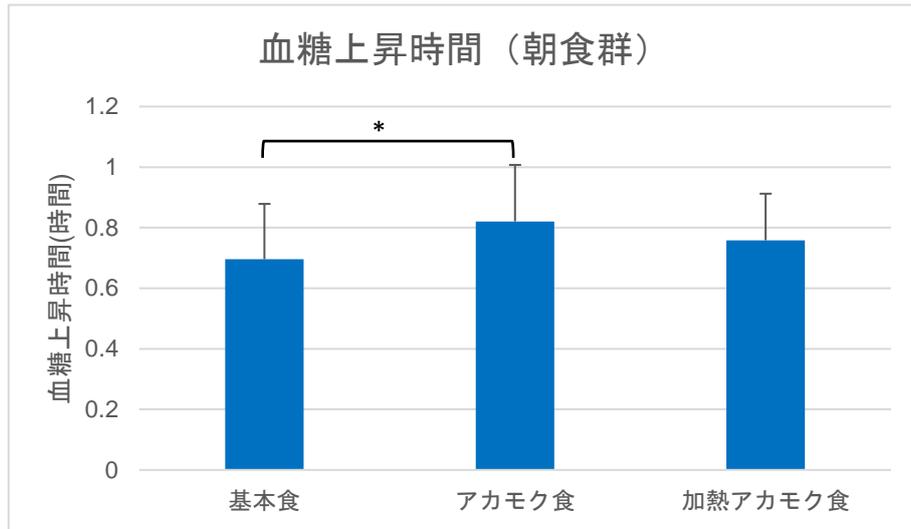


Fig. 4-9 各試験食別の血糖上昇値 (値は朝食群 10 人の平均値±SD)



** : p<0.01

Fig. 4-10 各試験食別の血糖上昇値 (値は昼食群 15 人の平均値±SD)



* : p<0.05

Fig. 4-11 各試験食別の血糖上昇時間 (値は朝食群 10 人の平均値±SD)

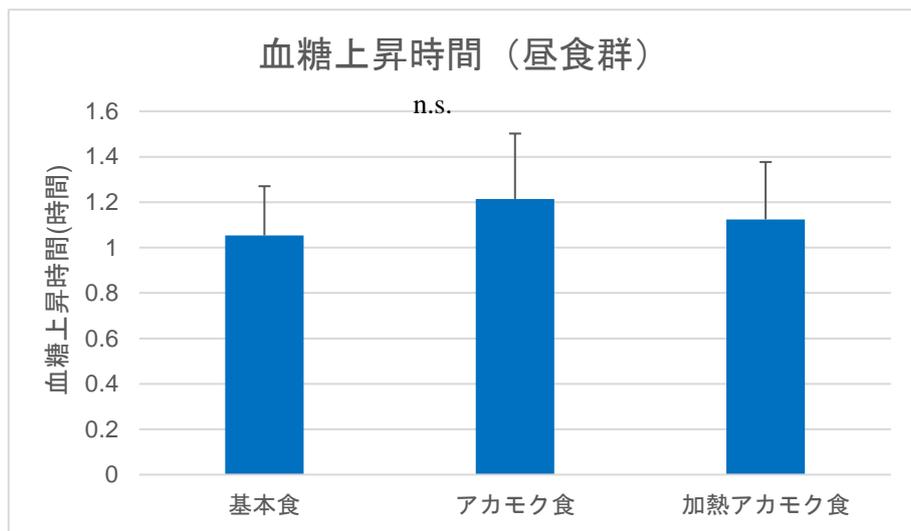


Fig. 4-12 各試験食別の血糖上昇時間 (値は昼食群 15 人の平均値±SD)

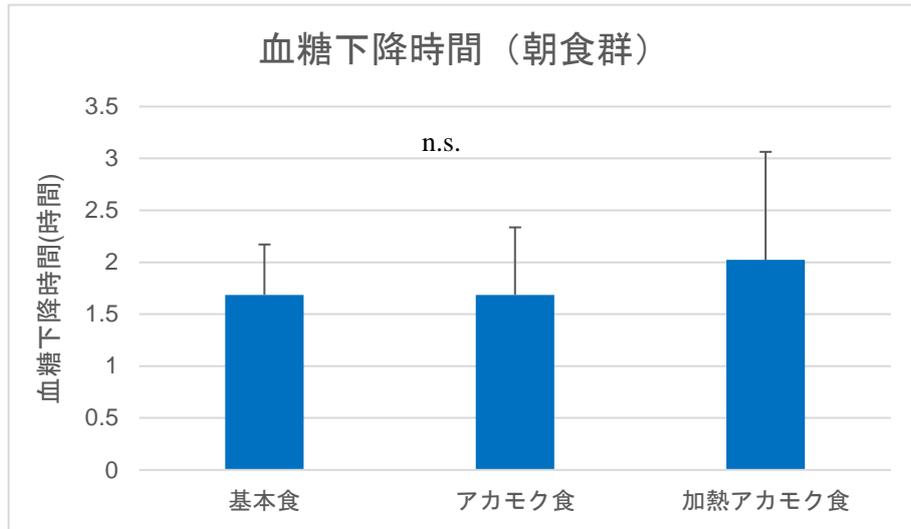


Fig. 4-13 各試験食別の血糖下降時間（値は朝食群 10 人の平均値±SD）

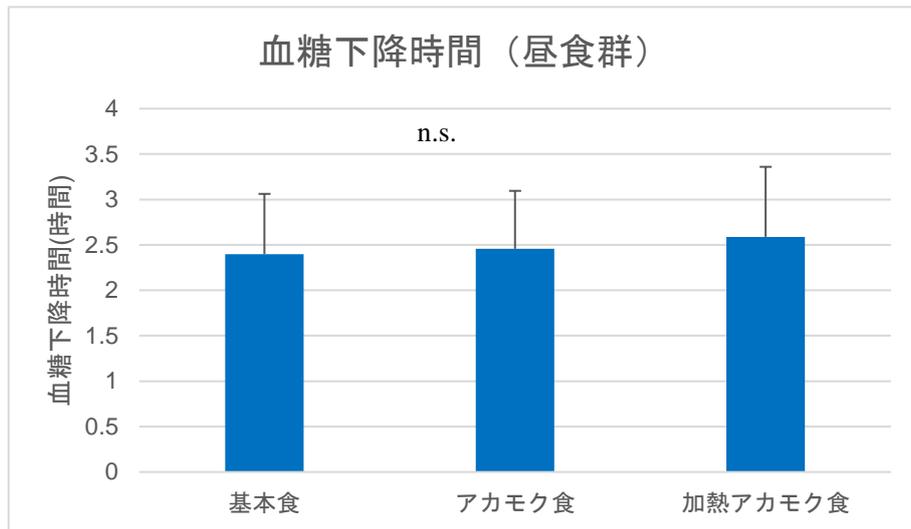


Fig. 4-14 各試験食別の血糖下降時間（値は昼食群 15 人の平均値±SD）

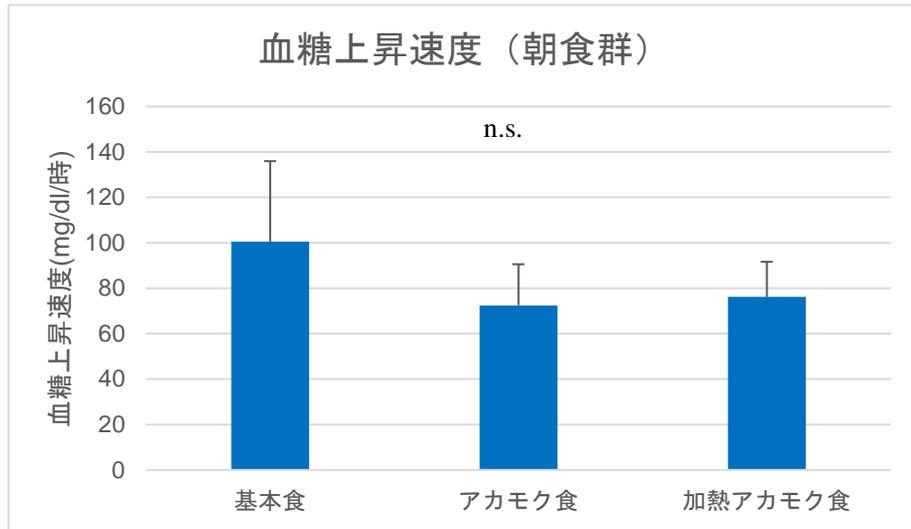
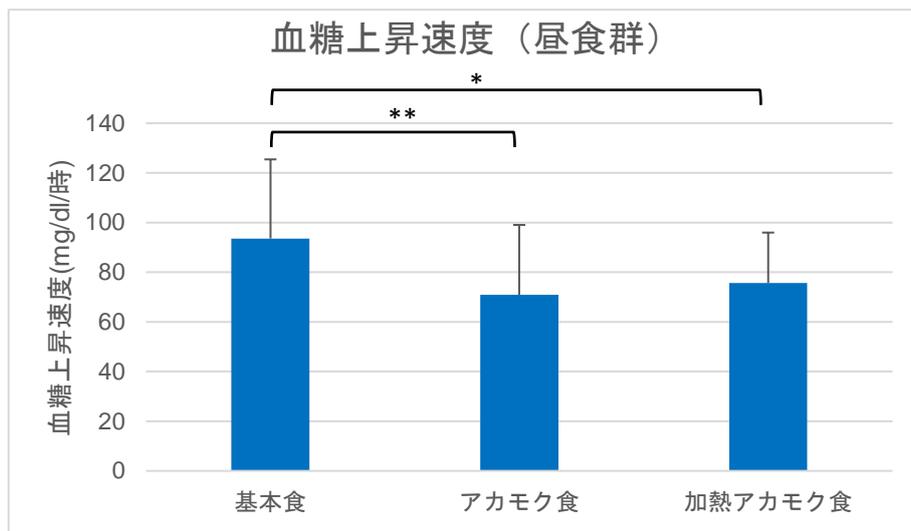


Fig. 4-15 各試験食別の血糖上昇速度 (値は朝食群 10 人の平均値±SD)
※1)より改変



** : p<0.01

* : p<0.05

Fig. 4-16 各試験食別の血糖上昇速度 (値は昼食群 15 人の平均値±SD)
※1)より改変

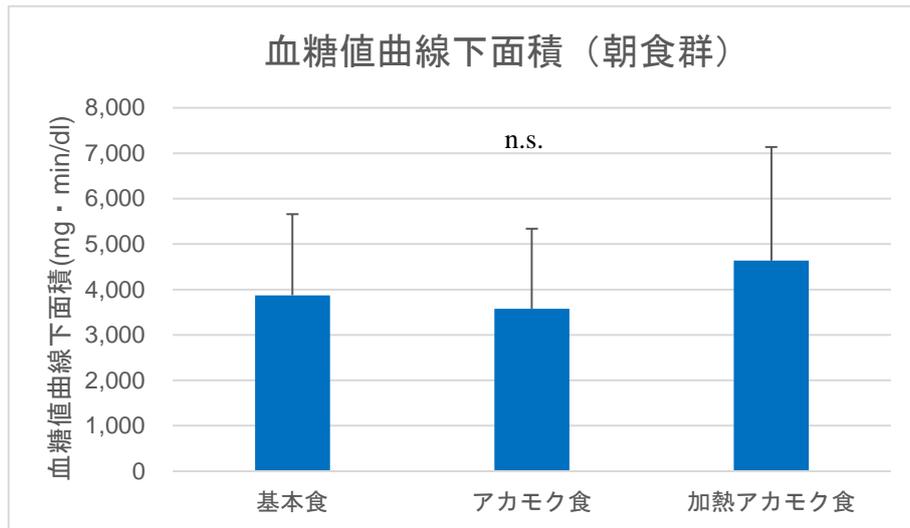


Fig. 4-17 各試験食別の血糖値曲線下面積（値は朝食群 10 人の平均値±SD）

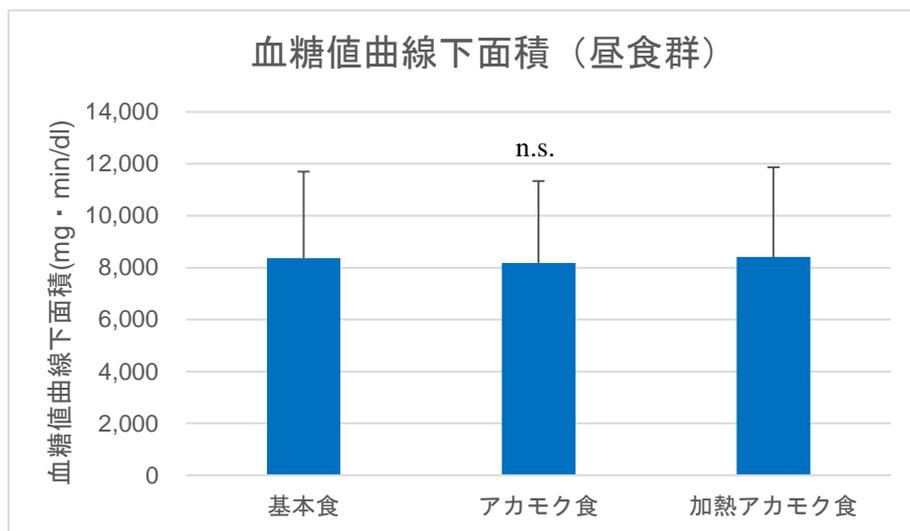


Fig. 4-18 各試験食別の血糖値曲線下面積（値は昼食群 15 人の平均値±SD）

4-5 引用文献

- 1) 齋藤義之, 森田捺美, 平田修弥, 小柳藍衣, 徳田和央, 内田耕一, 人見 英里 : アカモク加工品が米飯摂取時の血糖動態に及ぼす影響. 科学・技術研究, 13(1), 39-45, 2024.
- 2) 村上香 : 海藻アカモクの特徴と食品利用. 広島工業大学紀要研究編, 45, 263-270, 2011.
- 3) 木村太郎, 上田京子, 黒田理恵子, 赤尾哲之, 篠原直哉, 後川龍男, 深川敦平, 秋本恒基 : 福岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の季節変動. 日本水産学会誌, 73(1), 739-744, 2007.
- 4) Church, F.C., Meade, J.B., Treanor, R.E., Whinna, H.C. : Antithrombin activity of fucoidan, The interaction of fucoidan with heparin cofactor II, antithrombin III, and thrombin. Journal of Biological Chemistry, 264, 3618-3623, 1989.
- 5) 上原めぐみ, 田幸正邦, 川島由次, 福永隆生, 尚弘子, 知念功, 本郷富士弥 : オキナワモズクから分離したフコイダンが高コレステロール食供与ラットの血清コレステロール濃度に及ぼす影響. 応用糖質化学, 49-153, 1996.
- 6) 松田太一, 佐々木甚一, 栗原秀幸, 波多野六男, 高橋是太郎 : アカモク (*Sargassum horneri*) 抽出物の抗腫瘍性. 北海道大学水産科学研究彙報, 56(3), 75-86, 2005.
- 7) 山下真路, 三木康成, 川本仁志, 東和生, 大崎智弘, 岡本芳晴 : フコイダン経口投与による抗腫瘍効果. Functional Food Research, 13, 28-34, 2017.
- 8) 厚生労働省 : 令和元年度国民健康・栄養調査結果の概要 . <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000687163.pdf> (2023/01/18 閲覧)
- 9) Reynolds, A., Mann, J., Cummings, J., Winter, N., Mete, E., Te Morenga, L. : Carbohydrate quality and human health. Lancet, 393(10170), 434-445, 2019.
- 10) Blackburn, N.A., Redfern, J.S., Jarjis, H., Holgate, A.M., Hanning, I., Scarpello, J.H., Johnson, I.T., Read, N.W. : The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. Clinical Science, 66, 329-336, 1984.

- 11) Jenkins, D.J.A., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Cochet, G., and Alberti, G.M.M. : Decrease in postprandial insulin and glucose concentrations by guar and pectin. *Annals of Internal Medicine*, 80, 20-23, 1977.
- 12) Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull, M.A., Haisman, D., Dilawari, J., Goff, D.V., Metz, G.L., and Alberti, G.M.M. : Dietary fiber analogues and glucose tolerance; importance of viscosity. *British Medical Journal*, 1, 1392-1394, 1978.
- 13) Morgan, L.M., Tredger, J.A., Madden, A., Kwasowski, P., and Marks, V. : The effect of guar gum on carbohydrate-, fat-, and protein-stimulated gut hormone secretion. *British Journal of Nutrition*, 53, 467-475, 1985.
- 14) Kim, Y.R., Park, M.J., Park, S.Y., and Kim, J.Y. : Brown Seaweed Consumption as a Promising Strategy for Blood Glucose Management: A Comprehensive Meta-Analysis. *Nutrients*, 15(23), 4987, 2023.
- 15) 金沢和樹 : 生体内で有効な機能を発揮する褐藻カロテノイドのフコキサンチン. *日本食品科学工学会誌*, 59(2), 49-55, 2012.
- 16) 西川翔, 細川雅史, 宮下和夫 : 褐藻由来フコキサンチンの抗肥満, 抗糖尿病効果とその機序. *化学と生物*, 54(8), 580-585, 2016.
- 17) 海老原清 : 食物繊維の栄養・生理機能に関する研究. *日本栄養・食糧学会誌*, 61(1), 3-9, 2008.
- 18) 青江誠一郎, 小前幸三, 井上裕, 村田勇, 峰岸悠生, 金本郁男, 神山紀子, 一ノ瀬靖則, 吉岡藤治, 柳沢貴司 : 配合比率の異なるモチ性大麦混合米飯の摂取が食後血糖値に及ぼす影響. *日本栄養・食糧学会誌*, 71(6), 283-288, 2018.
- 19) 青江誠一郎, 野崎聡美, 菊池洋介, 福留真一 : 小麦全粒粉配合パンの食後血糖値上昇抑制効果. *栄養学雑誌*, 76(1), 20-25, 2018.

- 20)Zaharudin, N. Tullin, M., Pekmez, C.T., Sloth, J.J., Rasmussen, R.R., Dragsted, L.O. :
Effects of brown seaweeds on postprandial glucose, insulin and appetite in humans–A
randomized, 3-way, blinded, cross-over meal study. *Clinical Nutrition*, 40(3), 830-838, 2021.
- 21)村上茂,木村公一,川崎安都紗,小野鮎子,水谷俊貴,杉浦彩香,平澤ちひろ,矢田知美,新
木順子,伊藤崇志 : エゴノリの血糖上昇抑制および血管内皮細胞保護作用. *日本食品
科学工学会誌*, 67(8), 257-263, 2020.
- 22)Monnier, L., Colette, C., Dunseath, G.J., Owens, D.R. : The loss of postprandial glycaemic
control precedes stepwise deterioration of fasting with worsening diabetes. *Diabetes Care*,
30, 263-269, 2007.
- 23)赤嶺百子 : 食後高血糖および血糖変動とその評価方法についての臨床的研究. 京都
女子大学大学院博士論文, 2021
- 24)市川陽子 : 食事の Glycemic Index と生活習慣病一次予防. *日本調理科学会誌*, 44(4),
259-262, 2011.
- 25)Ebihara, K., Kiriya, S. : Comparative effects of water-soluble and water-insoluble dietary
fibers on various parameters relating to glucose tolerance in rats. *Nutrition Reports
International*, 26, 193-201, 1982.
- 26)Hayashi, S., Takabe, W., Ogura, M., Yagi, M., Yonei, Y. : Effect of breakfast on lunch time
postprandial blood glucose. *Glycative Stress Research*, 4, 124-131, 2017.
- 27)Wolever, T.M., Jenkins, D.J., Ocana, A.M., Rao, V.A., Collier, G.R. : Second-meal effect :
low-glycemic-index foods eaten at dinner improve subsequent breakfast glycaemic response.
American Journal of Clinical Nutrition, 48(4), 1041-1047, 1988.
- 28)二村和視,山崎資之,早川優,高柳正夫,小泉鏡子,石原賢司 : 静岡市駿河区沿岸に生育
するアカモクの成熟に伴う粘質多糖およびフコキサンチン含有量の変化. *水産技術*,
15(2), 21-24. 2023.

第 5 章 総括

5-1 総括

本研究では、本県において食経験が豊富ではないアカモクの加工による食品特性の変化を、物性、色の両面から、機能性の変化をポリフェノール量、DPPH ラジカル捕捉能の面から、また市販の加工済みアカモクの摂取がヒトの血糖動態に与える影響について検討した。

物性測定では、アカモクの冷凍保存がその特徴的な物性に与える影響は少ないこと、乾燥方法（凍結乾燥と温風乾燥）がそのテクスチャーに大きく影響を与えることが明らかとなった。また、凍結乾燥は付着力が高く、フコイダンの溶出が促進されることが示唆された。一方、かたさや凝集性においては、温風乾燥は凍結乾燥に比べて柔らかく、まとまりやすいテクスチャーを示した。色差に関しては、冷凍保存の影響は限定的であることが示された。また、水戻し温度が上がるとアカモクの緑色が褐色に近づくことが確認されたが、凍結乾燥ではより鮮やかな緑色が保持された。これらの結果から、アカモクの特徴である粘り気のある物性や鮮やかな緑色の保持の観点からは、冷凍保存や凍結乾燥法を用いることは有用な方法である可能性が示された。

抗酸化性に関する検討では、アカモクのポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能において、生アカモクが加工アカモクよりも高い値を示した。これは茹で加工によってポリフェノールが茹で汁に流出し、抗酸化性が低下するためと考えられたが、茹で加工後でも一定量のポリフェノールが藻体中に残り、抗酸化活性を持つことが確認された。また、先行研究と同様にポリフェノール量と DPPH ラジカル捕捉能の間に高い相関関係が示されたことから、ポリフェノールが抗酸化活性に寄与していることが示唆された。また、温度による影響では、60℃での茹で加工がポリフェノール量や抗酸化性において安定しており、品質保持の観点から低温での加工が有効である可能性が示された。しかし、茹で加工の工程において重要であるヒ素濃度の低減という観点か

らは、低温での加工による影響は明らかになっていない。今後は他の加工条件による食品特性やヒ素などの成分の含量への影響や、今回用いた方法と異なる抽出法についても検討が望まれる。

血糖値上昇抑制作用に関する検討では、アカモクには血糖値上昇抑制作用があることが示された。このことにより、アカモクや加熱アカモクを米飯とともに副菜として摂取することが、血糖値の上昇やその速度を抑制し、血糖値スパイクを抑制する可能性を持つことが示された。これには、水溶性食物繊維であるフコイダンの粘性が関与していると考えられた。食後血糖値の急激な上昇は生活習慣病リスクの増加と関連しているため、アカモクの摂取はこれらのリスク低減に寄与する可能性があると推測された。一方で、血糖値曲線下面積には影響を与えないことから、アカモクの摂取は糖質の吸収量に直接影響を与えず、栄養素の吸収は阻害しないことが示唆された。また、試験食の摂取タイミングによる比較では、昼食群が朝食群に比べて血糖値応答が高く、食後の血糖動態に食事のタイミングが影響を与えることも確認された。この点については、今後より正確なデータを得るためには摂取タイミングの統一などの方法が有効であると考えられた。

消費者（管理栄養士および一般消費者）を対象として行われた、アカモク食文化の無い地域におけるアカモクの認知度に関する調査¹⁾では、これまで食経験がなかった地域においては、アカモクは名前こそ認知されているものの実際に食べたことのある者は限られており、一般食材としては未だ浸透していないことが明らかとなっている。さらにアカモクの利用にあつ

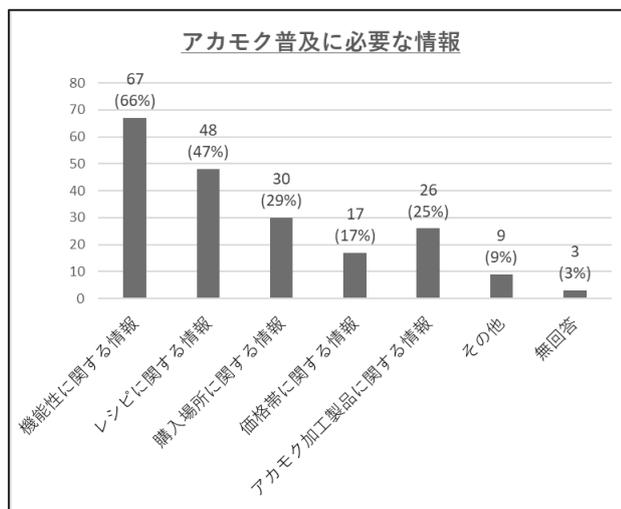


Fig. 5-1 アカモク普及に必要な情報¹⁾

て必要な情報として求められていたのは「機能性に関する情報」と「レシピ（利用法）に関する情報」であったり（Fig. 5-1）。

一部地域でしか利用されてこなかったアカモクが最近になって全国的に普及した背景としては、マスコミによる報道がアカモクブームを引き起こした影響が大きいと考えられるが、消費者はマスコミ情報をどこまで信用して良いものなのか警戒しており、このことが、認知はしていても必ずしも喫食につながらない一因である可能性がある。アカモクは、フコイダンなどの水溶性食物繊維を多く含み、特有の強い粘り気があることから、インターネット上で多くの販売業者が血糖値低下作用や脂質吸収抑制作用等の「効果」があたかも証明されているかのような宣伝を繰り返している。しかし、実際にはこれまで機能性成分の含量の変化に関する研究等は行われているものの、アカモクそのものを食材として摂取した際のヒトに与える影響に関する科学的なエビデンスはごく一部に留まっているのが現状である。今回、アカモク加工品そのものを米飯と同時に喫食する実験を行った結果、アカモクに血糖値上昇抑制作用があることが初めて示されたことで、消費者の求める「機能性に関する情報」を一部ではあるが、科学的根拠とともに提示することが可能となった。

ヒト以外のアカモクの血糖値低下作用については、Murakami et al.により、C57BL/6Jマウスを用いてアカモク粉末を添加した高脂肪食を継続摂取させた後の採血において、血糖値、血糖値曲線下面積が有意に低下することが報告されている²⁾。一方、人見ら（未発表データ）により、同じ C57BL/6J マウスを用いてアカモク粉末を添加した高脂肪・高ショ糖食を継続摂取させた際のメタボリックシンドローム関連指標に与える影響について検討がなされているが、アカモク粉末添加餌料に血糖値の上昇抑制作用は認められていない。上昇抑制作用が認められなかった要因の一つに、アカモク粉末添加餌料群に見られた高い血清遊離脂肪酸により、インスリン抵抗性が惹起されたことが挙げられている。餌に添加したアカモク粉末の状態（Murakami et al.：生のアカモ

クを粉末化、人見ら：茹で加工済みのアカモクを粉末化)、飼育期間 (Murakami et al. : 13 週間、人見ら：約 7 週間) などに違いはあるものの、マウス試験でこのように異なった結果が得られている。また、アカモクに含まれる粘質多糖類フコイダンやアルギン酸などの機能性成分は産地によって、また収穫するタイミングによって含有量が異なる^{3),4)}。このことから、実験方法以外にも用いたアカモク自体に含まれる成分の多寡が結果に影響を与えている可能性もあると考えられる。本研究では、アカモクは山口県日本海側 (長門市および萩市沿岸) で採取されたものを用いた。第 2 章において収穫時期や産地の異なる試料間では比較は行っていないが、Fig. 2-1-11 および Fig. 2-1-12 に示したように試料間で茹で加工条件による物性の変化の傾向は異なっていた。また、第 3 章においては茹で加工前の生の状態ではポリフェノール量、DPPH ラジカル捕捉能ともに長門-萩間で差はなかったが、茹で加工後はいずれも差が認められるなど、隣接する市で収穫されたアカモクでも特性が異なることが示唆された。これらのことから、今後は県内の他地域で採取されたアカモクの特性についても明らかにすることで、より詳細な情報が消費者に提供できるようになることが望まれる。

今回、アカモクは冷凍保存による影響は受けにくいこと、茹で加工ミンチ後の乾燥方法によって、その特有の食感や緑色の保持に大きな影響を与えることが確認された。また、アカモクには抗酸化作用があり、特に生アカモクが高い抗酸化性を示すこと、これまでは注目されることのなかった 60℃程度の比較的低温での茹で加工がポリフェノール量や抗酸化性において有効である可能性が示された。さらに、アカモクの摂取は血糖値上昇を抑制する作用があり、生活習慣病の予防にも寄与する可能性が示された。しかし、水戻しにおける水分量などのさらに詳細な条件や、様々な加工条件における食品特性の変化やヒ素などの成分の含量の変化、抗酸化性の評価方法、高血糖を予防できる可能性以外にも期待される多様な健康効果など、さらなる検討や研究が望まれる。

海に囲まれた日本においては、海藻類は有史以前より食用以外にも様々な用途で利用されてきた⁵⁾。食用として代表的なものは、海苔や褐藻類に属する昆布類やワカメ、褐藻類の中でもアカモクと同じホンダワラ科に属するヒジキが、古くから日常的に利用されている^{5),6)}。これらの海藻類に関しては、本県では山陽小野田市から宇部市にかけては海苔養殖が⁷⁾、下関市においてはワカメ養殖が営まれている⁸⁾。また、ワカメ、ヒジキは県内沿岸全域に分布しており^{9),10)}、伝統的に収穫、消費されている。一方、アカモクはヒジキと同様に広範囲かつ採取に適した水深に分布する身近な海藻であるにも関わらず、その生態的な特徴から海の邪魔者扱いをされ敬遠されてきた。いくつかの地域で利用はされていたが、近年マスコミなどで取り上げられたことで急速に注目されはじめ、それまで利用していなかった地域においても利用に向けて採取方法や加工方法などの研修が行政や業界団体により行われた^{11),12)}。また、アカモクの採取と加工、販売には大きな設備が不要であるため、農林水産省の進める6次産業化の取組みにも適していたことから、山口県漁協長門女性部仙崎支部などの生産者団体によっても加工・販売に取り組み、品質や取組みに対して高い評価を受けた事例もある¹³⁾。しかし、採取および加工する業者が増加する一方で、利用方法に関してはこれまで食経験が豊富でなかったため知識や情報が不足しており、知名度ほどの利用はなされてこなかった。本研究で得られた知見を活用し、アカモクの利用方法や機能性について周知を図ることで、消費者のアカモクという食材に対するより深い理解を促進し、海苔や昆布、ワカメ、ヒジキなどの伝統的に食されてきた他の海藻類と同様に、日常かつ継続的に消費されるようになることが期待される。そのためには、本研究をさらに発展させ、加工や調理における詳細な条件の検討や、地域ごとの成分や生長・成熟の差異、それによって得られる健康効果の違いなどの調査についても充実させることで、アカモクへの理解をより深めていくことが必要である。

消費者がアカモクを食材として選択するためには様々な情報が必要であるが、得ら

れる情報はいまだ限られたものであり、特に機能性成分が人に与える影響などに関する科学的なエビデンスはごく一部に留まっている。今後は、本研究で得られた知見をはじめとして、今後も明らかにされるであろうアカモクの特長や機能性を消費者だけでなく生産者や加工業者にも正しく伝え、アカモクに対する理解を促進するとともに食品産業におけるさらなる応用へ繋げていくことが求められる。このことが、アカモクの消費の拡大につながり、ひいてはアカモクを採取する漁業者の増加やアカモク資源の保護、6次産業化の取り組みをはじめとする多様な利用にもつながり、衰退する地域漁業の振興、漁村の活性化にも貢献できるものと強く期待される。

5-2 引用文献

- 1)人見英里,二宮静香,齋藤義之：山口県における海藻アカモクの認知度．山口県立大学
学術情報, 13, 看護栄養学部紀要, 85-98, 2020.
- 2)Murakami, S., Hirazawa, C., Ohya, T., Yoshikawa, R., Mizutani, T., Ma, N., Moriyama, M.,
Ito, T., Matsuzaki, C. : The Edible Brown Seaweed *Sargassum horneri* (Turner) C.Agardh
Ameliorates High-Fat Diet-Induced Obesity, Diabetes, and Hepatic Steatosis in Mice.
Nutrients, 13, 551, 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13020551>
- 3)木村太郎,上田京子,黒田理恵子,赤尾哲之,篠原直哉,後川龍男,深川敦平,秋本恒基：福
岡県大島産アカモク *Sargassum horneri* 中に含まれる多糖類の季節変動．日本水産学
会誌, 73(1), 739-744, 2007.
- 4)袁春紅：さんりく産海藻アカモクの健康機能成分分析と食品開発研究．三陸総合研
究, 47, 23-26, 2022.
- 5)西澤一俊：海藻学入門．講談社学術文庫, 東京, P.3-5, 1989.
- 6)藤田大介：日本の食用海藻の分布と食文化の拡大．海洋と生物, 42(6), 523-531, 2020.
- 7)宇部日報デジタル：県漁協宇部岬支店で“一番のり”の品質検査【宇部】．
<https://ubenippo.co.jp/2020/12/12/138414/> (2024年12月24日閲覧)
- 8)下関市：しもマル.net．漁業者紹介．【山口県漁業協同組合彦島支店】漁師 浦健一
さん． <https://www.shimo-maru.net/88165.html> (2024年12月24日閲覧)
- 9)河野光久：山口県日本海沿岸の海藻相．山口県水産研究センター研究報告, 10, 1-6,
2013.
- 10)河野光久：山口県瀬戸内海沿岸の海藻相．山口県水産研究センター研究報告, 15, 57
-64, 2018.
- 11)長門市：長門の話題．海藻「アカモク」を学ぶ． [https://www.city.nagato.yamaguchi.jp/
wadairoot/wadai/20160824akamoku.html](https://www.city.nagato.yamaguchi.jp/wadairoot/wadai/20160824akamoku.html) (2024年10月1日閲覧)

12)山口県：水産振興局（旧ページ）．海藻利用について勉強会を開催しました．

<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/uploaded/attachment/58002.pdf> (2024 年 10 月 1 日閲覧)

13)山口県：報道発表．第 67 回山口県漁村青壮年女性活動実績発表大会の結果について．<https://www.pref.yamaguchi.lg.jp/press/39243.html> (2024 年 10 月 1 日閲覧)

謝辞

本研究を進めるにあたり、県内の水産業関連団体および企業の関係各位に多大なるご協力をいただきました。深く感謝の意を申し上げます。

山口県立大学大学院健康福祉学研究科 人見 英里 教授には、指導教員として研究全般へのご指導のみならず、科学者としての在り方など多岐にわたり、ご指導賜りました。心より感謝申し上げます。

山口県立大学大学院健康福祉学研究科 吉村 耕一 教授には主査として、横山 正博 教授には副査として、論文の執筆にあたり多くの有益なご助言を賜りました。深く感謝いたします。

貴重な時間をいただき研究にご協力いただいた被験者の皆様に感謝申し上げます。

サンプルの手配にご協力いただき、成分分析結果を提供していただいた株式会社 EVAH 様に深く感謝いたします。

最後に、研究に対し多大なるご協力をいただきました山口県立大学看護栄養学部栄養学科生化学研究室の学生の皆様に感謝申し上げます。