

スケトウダラ冷凍すり身かまぼこのレオロジー的性質の温度依存性

北上誠一*¹・加藤 登*²・阿部洋一*³・新井健一*⁴

Temperature dependence of the rheological properties of kamaboko made from walleye pollack frozen surimi

Seiichi KITAKAMI, Noboru KATO, Yoichi ABE, Ken-ichi ARAI

Abstract

The temperature dependence of the rheological properties of kamaboko was investigated by measuring the breaking strength (BS) and breaking strain (bs) of kamaboko under various temperature conditions. Kamaboko was prepared from walleye pollack frozen surimi using a conventional method (heating at 90 °C for 30 min for directly heated gel; at 20 °C for 20 h followed by 90 °C for 30 min for two-step heated gel). The results were as follows.

(1) Kamaboko was kept at various temperatures between 5 and 70 °C for 2 h, after which BS and bs were measured as quickly as possible. At temperatures higher than 45 °C, BS tended to decrease, but no remarkable change in bs was observed.

(2) After kamaboko was kept at various temperatures between 5 and 80 °C for 2 h, the temperature was promptly shifted to 25 °C. The BS and bs of kamaboko kept at 5–65 °C and then shifted to 25 °C were equally high; however, the BS and bs of kamaboko kept at 80 °C and shifted to 25 °C were relatively low.

(3) Kamaboko was cooked at 70–80 °C for 7 h and the BS and bs were measured quickly at cooking temperature over time. After cooking, the temperature was promptly shifted to 25 °C for cooling and the BS and bs were again measured. The BS and bs of kamaboko cooked at 70 °C did not change over time, but those of kamaboko cooked at 75 °C slightly decreased, and those at 80 °C greatly decreased. The decreases in BS and bs induced in the kamaboko cooked at 70–75 °C were generally fully recovered upon cooling, but those decreases in the kamaboko cooked at 80 °C were not fully restored upon cooling. These results suggest that change in temperature of kamaboko is significantly related to its texture.

Keywords: walleye pollack, frozen surimi, rheological property, temperature dependence, kamaboko forming ability

緒言

かまぼこは、水産動物筋肉を原料とした高栄養のタンパク質食品である。生産量は年50万トン以上に及び、その種類は極めて多岐にわたる。全国各地において、それぞれの地方で水揚げされる各種の魚類を原料とし、地域特産のかまぼこが製造されており賞味されている(柴, 2002)。通常かまぼこは10℃以下で保存されており、そのまま生食されることもあり、また調理(加熱)して食膳に供される

(おでん種のように加熱調味液中に浸漬したり、油燻したりする場合)場合もかなり多いと思われる。また、アメリカなどで賞味されているカニ脚様のかまぼこは、低温で salad bar におかれ、また casserole (蒸し焼) 鍋では高温(60℃)で食事に供されている。すなわち、かまぼこ製品は食膳に供される時は、その時に応じて品温が変わるので、これがかまぼこのテクスチャーに及ぼす影響について検討する必要がある。しかしこの問題に関わる食品学的な研究はこれまで充分に行われていないため、かまぼこのテクスチャー制御のための知見が不足している。

2014年7月25日受付 2014年9月20日受理

* 1 一般社団法人全国すり身協会 (National Surimi Manufacturers Association Kita 7, Higashi 1, Abashiri, Hokkaido 093-0057, Japan)

* 2 東海大学海洋学部水産学科 (School of Marine Science and Technology, Tokai University 3-20-1 Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8610, Japan)

* 3 元・阿部十良商店 (Former, Abe Jyuro Inc. 1-3-8 Daimachi, Abashiri, Hokkaido 093-0031, Japan)

* 4 元・酪農学園大学農学部 (Former, Department of Food Science, Faculty of Dairy Science, Rakuno Gakuen University 583 Midorimachi Bunkyoudai, Hokkaido 069-8501)

かまぼこは、魚肉の筋原繊維タンパク質が加塩加熱によって変性、凝集して形成する三次元構造のゲルで、網目状の構造を成していることは良く知られている（ジャン・クラウド・シェフテルほか、1988）。そのゲルの構造は隣接するタンパク質鎖間の各種の結合（イオン結合、水素結合、疎水性相互作用およびジスルフィド結合など）の引力と反発力とのつり合いによって保持されていると云われている（ジャン・クラウド・シェフテルほか、1988）。さらにタンパク質分子間の絡み合いや坐り加熱ゲルでは共有結合（イソペプチド結合）の関与もまた論じられている（丹羽、1981；國本ほか、2013, 2014）。高温では、ゲル構造に関わる結合種の中、水素結合やS-S結合のように弱まるタイプもあり、また疎水性作用のように、温度域次第でその効力が変わるタイプもある。それゆえ、環境温度とかまぼこの物性との関係がしばしば研究の課題として取り上げられている（磯ほか、1992；劉ほか、1997；Niwa *et al.*, 1987, 1988；Hamann *et al.*, 1992）。ただし、これらの研究は、弾性体の一つとして、レオロジー学上の観点からかまぼこの構造を評価することに目的をおいたものである。

本研究は、一般に食膳に供される際のかまぼこの品温がそのテクスチャーに及ぼす影響を明らかにし、その調節を計ることを目的として、スケトウダラすり身から作ったかまぼこ（坐りゲルと非坐りゲル）の物性について、その温度との関わりを詳細に検討した。

実験方法

加熱ゲルの調製：スケトウダラ冷凍すり身（FA, SA, および二級品）を半解凍し、3% NaCl (w/w) を添加して小型サイレントカッターで15分間塩ずりした。タンパク質濃度を変える実験では、塩ずりをするときに0~100% (w/w) の水を同時に添加した。塩ずり肉の温度は6℃前後を保つように調節した。肉糊を折り径48mmのポリ塩化ビニリデンチューブに詰め、直加熱ゲル（非坐りゲル）は90℃で30分間、また二段加熱ゲル（坐りゲル）は20℃で20時間（または30℃で2時間）予備加熱後、90℃で30分間加熱して調製したが、この二段の加熱条件は、坐りの効果が最大（物性が最大値）になる条件である（北上ほか、2004）。得られた加熱ゲルは25℃（恒温器中）に保管し、物性の測定に供した。なお、加熱ゲルのタンパク質濃度はケルダール法で測定した。

加熱ゲルの物性測定：加熱ゲルは、直径30mmで厚さ25mmの切片とし、レオメーター（不動工業㈱製、NRM2002J）を使用し、直径5mmの球状プランジャーにより進入速度6mm/minで、破断強度（BS, g）と破断凹み（bs, cm）を測定した。測定温度の影響を調べる場合を除いて、測定は25℃で行った。また、ゲル剛性（Gs = BS/bs, g/cm）を算出した。ゲル剛性は弾性率に相当す

る同じ次元の物性パラメーターであり、加熱ゲルのテクスチャーを評価する尺度の一つとして利用してきた（北上ほか、2002）。また、予備加熱に伴って増加するBS vs Gsプロット間には正の相関があるので、関係直線の回帰式を最小自乗法で求めたが、必要に応じて統計処理を行った。

物性に対する測定温度の影響の検討：直径30mm、厚さ25mmに切断した加熱ゲル切片の数をポリエチレン袋に入れて、品温が10~80℃の場合は恒温槽（温度制御±0.1℃、ヤマト科学㈱製、サーモメイトBF400）、5℃は氷水中に保持して調節した。所定の時間後に、温度が変動しないように配慮しながら、レオメーターにより、可及的速やかにBSとbsを測定し、Gsを算出した。また、引き続き試験片を25℃の恒温槽中に移し2時間保管して、品温を室温（25℃）に戻してから再びBSとbs値を測定し、Gs値を算出した。また、当初の品温が80℃の場合は、25℃で長時間（20時間）保持した後の値も測定した。なお、品温が高いときは、変化が経時的に進行するので、試験片を70, 75, および80℃の高温槽中に1~7時間保持しながら、長時間に及ぶときのBSとbs値の変化を走査し、Gs値を求めた。さらに、品温が80℃の場合は変化が特に大きいので、加熱後25℃恒温槽中に移し、24時間保管して、25℃におけるBSとbs値を再測定した。比較のため、室温（25℃）の加熱ゲルについては、より長時間（7~96時間）にわたってBSとbs値を走査し、Gs値を求めた。この場合は加熱ゲルの変質を防ぐためクロラムフェニコール（150mg/kg）を添加し、変敗を防止した。

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動（PAGE）：加熱ゲルを2% SDS-8M尿素-2%β-メルカプトエタノール混液（pH8.0）に溶解し、タンパク質量各10μgを、10%ポリアクリルアミドゲルを支持体として電気泳動に供した（Laemmli, 1970）。染色はCoomassie Brilliant Blue R250によって行い、泳動図を撮影し、記録した。

結果および考察

かまぼこ物性の測定温度依存性：かまぼこを5~75℃で2時間保持し、その温度で物性を測定した。得られた結果を測定温度と物性値との関係としてFig.1に示した。FA級のすり身原料からの二段加熱ゲル（A）と直加熱ゲル（B）、二級のすり身原料からの二段加熱ゲル（C）と直加熱ゲル（D）について測定したが、いずれの場合も、加水によってタンパク質濃度をほぼ7~16%の間で変えたかまぼこについて比較した結果を示した。まずFA級のすり身の二段加熱ゲル（A）の場合、BSとGs値はいずれもタンパク質濃度が高いほど高値となるが、測定温度（品温）が上がると低値となる傾向は全て同じで、タンパク質濃度に関わりないことが示された。一方、bsに関しては温度に関わりなく、またタンパク質濃度にも影響されず、ほとんど同じ値となることが示された。また直加熱ゲル（B）

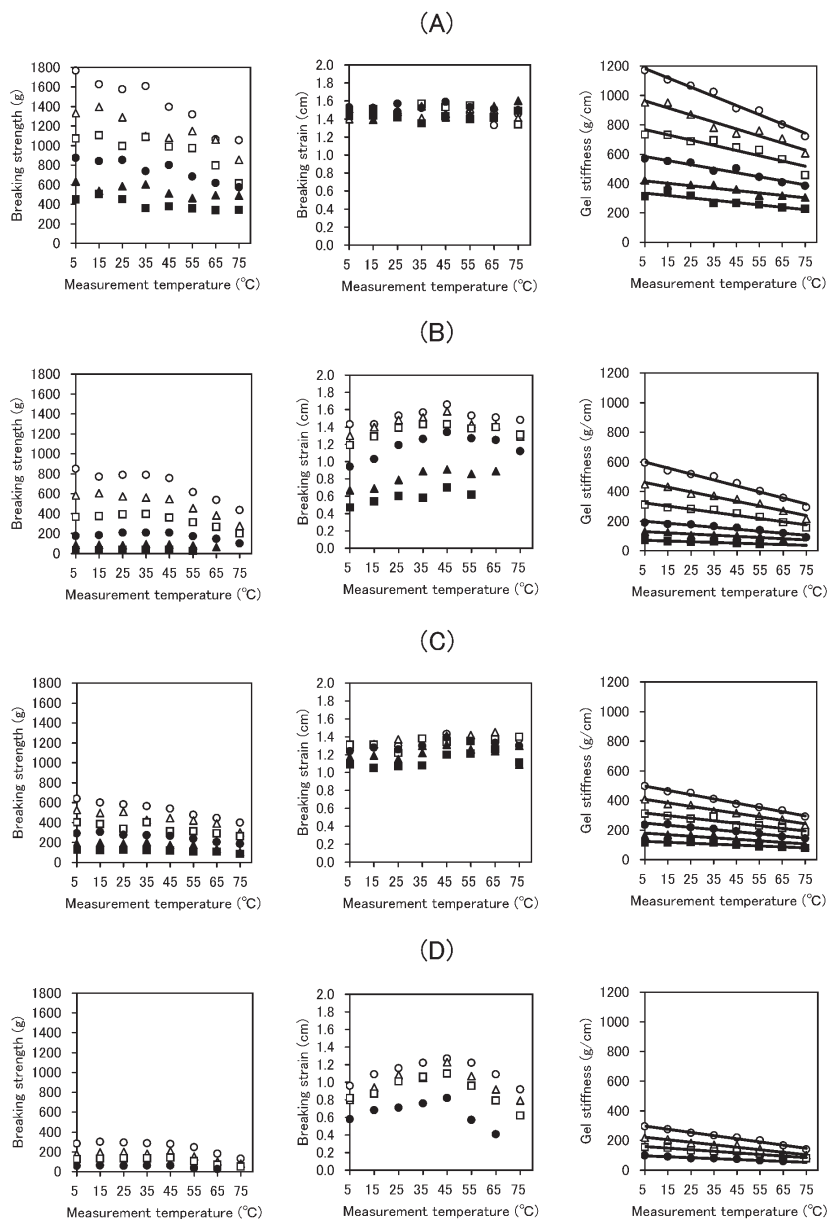


Fig.1 Measurement temperature dependence of rheological parameters of kamaboko gels formed from walleye pollack frozen surimi.

Frozen surimi was thawed and ground with 3.0% NaCl (w/w), upon addition of 0 ~ 100% water. The salt ground meat was heated at 90°C for 30 minutes to obtain the directly heated gel (= unset gel) / heated at 90°C for 30 minutes after preheating at 20°C for 20 hours to obtain the two-step gel (= set gel). Kamaboko gel was kept in a thermostat at a temperature in the ranges from 5 to 70°C for 2 hours. Rheological parameters (as breaking strength, BS and breaking strain, bs) were measured with a rheometer as quickly as possible after the termination.

(A,B) Kamaboko from FA-grade frozen surimi.

(C,D) Kamaboko from 2nd-grade frozen surimi.

(A,C) Two-step heated gel. (B,D) Directly heated gel.

Protein concentration : (A,B) 15.9 (○), 14.3 (△), 12.9 (□), 11.0 (●), 10.0 (▲), 8.9 (■) %. (C,D) 14.2 (○), 12.9 (△), 11.4 (□), 10.0 (●), 9.1 (▲), 7.3 (■) %.

The protein concentrations of kamaboko gel was determined by Kjeldahl method.

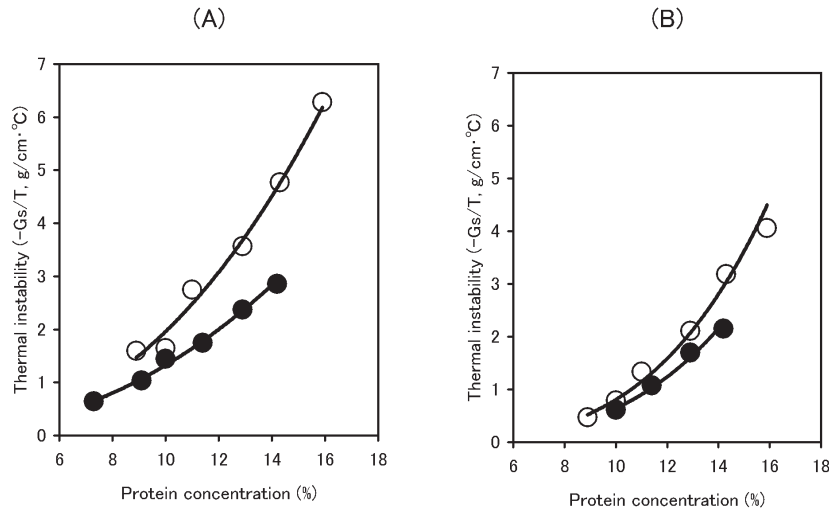


Fig.2 Thermal instability of gel stiffness of kamaboko gel formed from walleye pollack frozen surimi.

By using the linear relation between gel stiffness ($G_s=BS/bs$, g/cm) and measurement temperature (T) shown in Fig.1, temperature dependent-decreasing rate in G_s was estimated as ($\Delta G_s/\Delta T$, g/cm · T). Thermal instability of kamaboko gel was evaluated by comparing of $(-G_s/T)$ as a function of protein concentration.

- (A) Two-step heated gel. (B) Directly heated gel.
 (○) Kamaboko from FA-grade frozen surimi.
 (●) Kamaboko from 2nd-grade frozen surimi.

の物性値は全体に二段加熱ゲルよりも低いレベルにあるが、物性値の温度依存性は二段加熱ゲルの場合と良く似ており、BSとGs値はタンパク質濃度に関わりなく、高温で低くなる傾向を示し、またbsはタンパク質濃度が低い場合にやや低いレベルの値になるが、温度の影響は小さく、近似する値を示した。また二級のすり身の二段加熱ゲル(C)の場合も、全体的には、FA級のすり身からの場合(A)と類似する結果となった。すなわち、BSとGs値については、タンパク質濃度の高い加熱ゲルほど高いレベルの値ではあるものの、温度が高くなると低い値となる傾向を示し、これは全く同じであった。一方、bsに関しては、タンパク質濃度の影響を受け、低いほど低いレベルの値となったが、この点は(A)と異なった。さらに、bsは温度が35~45℃で高く、より低温および高温域で低い値となったが、これも(A)の場合と異なる結果であった。またこれらの相違は、直加熱ゲル(D)の場合にも同様に認められた。すなわち、直加熱ゲルの物性値は全体的に二段加熱ゲルに比べて低いレベルであるが、BSとGs値はタンパク質濃度に関わりなく、高温になるほど低いレベルの値となり、またbs値は低温域および高温域で低い値となり、35~45℃で高い値を示した。

加熱ゲルのBS値は低温域で高く、その値が保持されるが、高温域(35~45℃以上)では大きく低下する事実は、二段加熱ゲルおよび直加熱ゲルのいずれの場合も、また原料すり身の等級(FA級と二級)にも関係がない点で共通していた。これは加熱ゲルのタンパク質構造の形成に寄与

している水素結合や塩結合が高温域で不安定となり、切断されることに起因していると推定されている(丹羽, 1981, 1990)。bs値は、FA級のすり身から調製した二段加熱ゲルだけは、温度の影響を受けず高いレベルの一定値を保持したが、FA級のすり身からの直加熱ゲルおよび二級からの二段加熱ゲルと直加熱ゲルでは35~45℃前後を境にして、両側の温度域で値が低下した。それゆえbs値に強く影響を及ぼしているタンパク質間の結合種は、BS値に影響している結合種とは明らかに異なっていることが推定される。スケトウダラのすり身タンパク質は各種魚類の中でも極めて温度耐性が劣っており、加熱ゲル化が著しく速く進行することが知られている(橋本ほか, 1982; 加藤ほか, 1984)。それゆえ、bs値が35~45℃前後で高い値に達するのは、この条件下で疎水性基の露出が大きく起こり、その作用によるタンパク質分子間力が強く影響を及ぼしているとする説を支持するものと考えられる(丹羽, 1981)。実際に、坐りゲルの形成は予備加熱温度が35℃以下の低温域において起こり、BSばかりでなく、bs値も高値に達するが、このとき疎水性相互作用も参加するようになり、より強い結合力によってゲル構造の不溶化に進むことが報じられている(國本ほか, 2014)。かまぼこ物性の温度依存性を検討したFig.1の結果から、原料すり身の品質の優劣に関わりなく、また調製した加熱ゲルが二段加熱ゲルか、または直加熱ゲルであるかを問わず、さらに加熱ゲルのタンパク質濃度の高低に関わりなく、常にGs値(g/cm)と測定温度T(℃)の間には直線関係が成立する

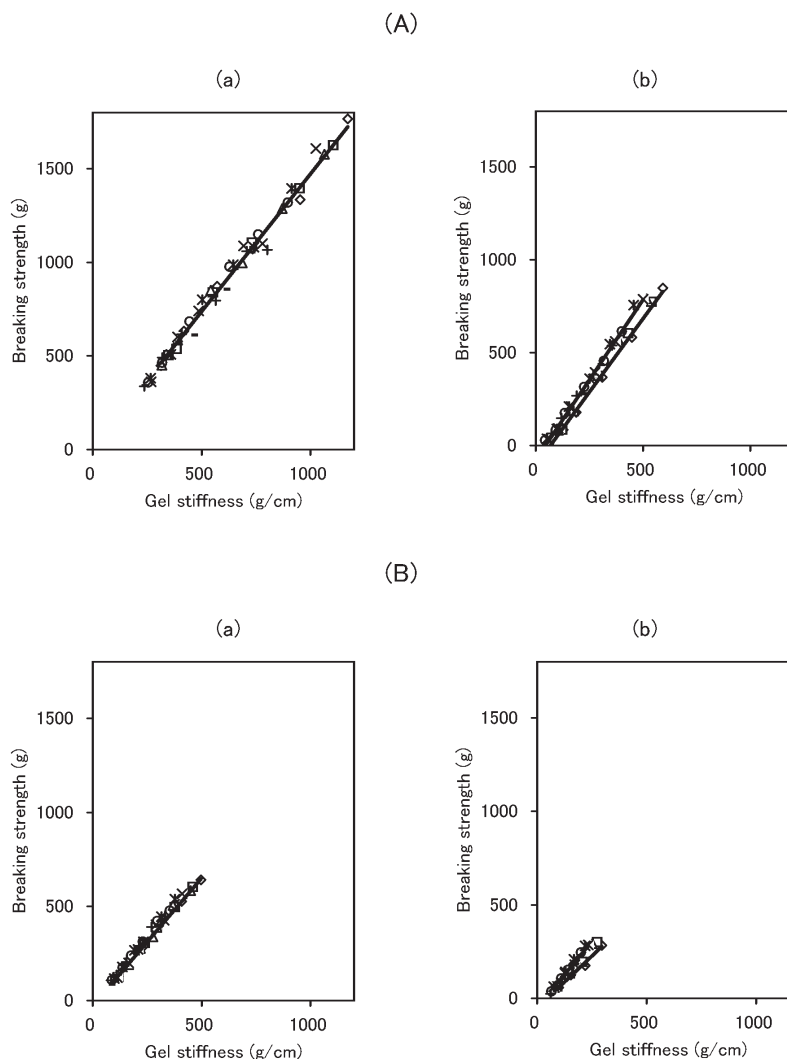


Fig.3 Protein concentration dependent-decrease in BS vs Gs plots of kamaboko gel caused by rising measurement temperatures of it.

The identical data shown in Fig.1 were cited in this figure.

(A) Kamaboko from FA-grade frozen surimi. (B) Kamaboko from 2nd-grade frozen surimi. Measurement temperature : 5(◇), 15(□), 25(△) 35(×), 45(*), 55(○), 65(+), 75(-) °C.

Protein concentration : (A) 8.9 ~ 15.9%. (B) 7.3 ~ 14.2%. (a) Two-step heated gel. (b) Directly heated gel.

ことを見出した。そこで関係式、 $G_s = a \times T + b$ 、(a と b は定数) を求めると、a 値はゲル剛性を尺度としたかまぼこ物性の熱不安定性 (加熱による G_s の低下度の大きさ) と見なすことが出来る。a が高値であることは、かまぼこの構造の熱感受性が高く、弾性が変動し易いことを示す。a 値とタンパク質濃度との関係は Fig. 2 に示したが、a 値はタンパク質濃度 C (%) の増加に伴って幾何級数的に増加することがわかった。FA 級および二級から調製した二段加熱ゲルと直加熱ゲルの順にそれぞれ、 $a = 6.54 \cdot 10^{-3} \times C^{2.48}$ ($R^2 = 0.968$), $a = 7.33 \cdot 10^{-3} \times C^{2.26}$ ($R^2 = 0.994$), $a = 0.16 \cdot 10^{-3} \times C^{3.70}$ ($R^2 = 0.986$), そして $a = 0.16 \cdot 10^{-3} \times C^{3.61}$ ($R^2 = 0.989$) となった。R は相関係数である。この結果は、加熱ゲルの物性 (G_s) は等級が上位のすり身から

得られる加熱ゲルの方が、また坐りを伴った加熱ゲルの方が、熱感受性が高いこと、言い換えれば、加熱するとき起こるかまぼこ物性の低下は、原料すり身が上位のもの、また、坐りが強いものほど、大きく起こることを示している。ただし、Fig. 1 の結果も考慮すると、FA 級すり身の二段加熱ゲルでは BS 値が本来著しく高いため、加熱により物性が低下しても、なおかつ依然として高いレベルを保持している。また bs 値は加熱によって変わらないため、結果として bs 値が相対的に強化されることになる。また加水 (タンパク質濃度の低下) しても bs 値は変わらないが、BS 値は大きく減少するので、これも bs 値の相対的な強化につながる事がわかる。これらは全て二級のすり身のかまぼこでも同様であった。なお、直加熱ゲルでは BS

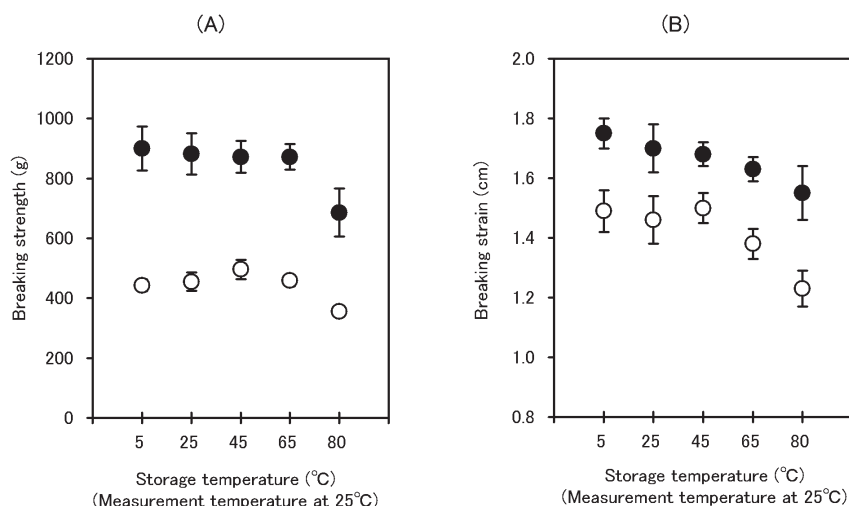


Fig.4 Effect of stepwise change in temperature for storage and measurement of rheological parameters of kamaboko gel.

Kamaboko was prepared from frozen surimi of SA grade on addition of 10% water (w/w) as in the same manner as Fig.1. Kamaboko was stored at a temperature in the ranges from 5 to 80 °C for 2 hours. After the termination, temperature of kamaboko was sifted to 25°C by keeping for additional 2 hours. The rheological parameter were measured at a fixed temperature of 25°C. Mean values was obtained from 8 samples and standard deviation was shown with bars.

(●) Two-step heated gel. (○) Directly heated gel.

と bs 値に対する温度の影響が異なるが、二段加熱ゲルに比べて全物性値が低いために加熱による物性への影響は目立たなくなる。さらに加水によって BS ばかりでなく bs 値も低下するため、加熱による物性への影響はさらに小さくなる。これらの結果は、かまぼこのテクスチャーは調理など二次的な加熱によって変化するが、それは原料すり身の品質と調製方法（加熱条件）によって異なるので、それぞれに応じて適切な対応をする必要があることを示唆している。

品温が異なるかまぼこ物性の特徴：5～75°C間の温度に2時間保持し、品温を変えて測定したかまぼこの物性を Fig.1 に示したが、この結果から物性上の特徴を BS vs Gs プロットして Fig.3 に示した。原料すり身は FA 級の場合 (A) と二級の場合 (B) の結果である。これによると、どちらの原料すり身から調製された加熱ゲルでも、ほぼ同じような傾向の結果を示した。すなわち、二段加熱ゲルの場合は、タンパク質濃度に関わりなく、5～75°Cにおける BS vs Gs プロット（最大値）は全て同一直線上に位置した。また直加熱ゲルの場合は、5°Cに調節した加熱ゲルの場合を例外とし、15～75°Cでの加熱ゲルの BS vs Gs プロットは、同じくタンパク質濃度に関わりなく同一直線上に位置した。5°Cでの関係直線は15～75°Cにおける関係直線に比べて同じ図中でやや右側に位置した。これは BS に対する bs の相対比率がやや低値であるためである。5°Cでは BS 値が極めて高い値を保つので、特に硬さ (BS) が強調されることになる。なお、同じ原料すり身から得られるタンパク質濃度を変えた加熱ゲルの BS vs Gs プロット（最

大値）間には正の相関が成り立つことは既に知られているが（加藤ほか、2011）、品温を変えた加熱ゲルの BS vs Gs プロットの最大値間にも正の相関が成り立つことは、見出された新しい知見である。この事実、変温によって起こるかまぼこの BS と bs 値を予知することが可能であることを示唆する。Fig.3 に示された BS vs Gs プロット間の関係直線は、FA 級のすり身から得られる加熱ゲルの方が、いずれも二級からの加熱ゲルのそれらよりもその勾配が大きく、同じ図中では左側に位置した。これは BS に対する bs 値の相対比率が大きいため、いわば弾力の優れた品質であることを意味している（北上ほか、2005）。原料すり身の品質が優れているときはかまぼこの品温が変化しても、かまぼこの物性上に認められる優れた特徴は依然として維持されることがこれによって明らかである。

加熱による物性変化と冷却による回復：かまぼこを5～75°Cにおいて2時間保持したときの物性への影響については、Fig.1 で結果を示したが、端的には二段加熱ゲルか直加熱ゲルに関わりなく、BS 値は5～35°Cでは影響を受けないが、45°Cを超えると低下するようになり、高温になるほど大きく低下すること、また、bs 値は原料すり身の品質（等級）によってやや異なるが、FA 級からの加熱ゲルの場合は、温度の影響は小さいことが示された。そこで、これに続いて、かまぼこを5～80°Cの温度で2時間保持した後、直ちに25°Cの恒温槽中に移して、さらに2時間保持して全ての品温を25°Cに再調節し、物性を再び測定した。その結果は Fig.4 に示したが、これによると、初めに5～65°Cで保持した後25°Cに戻したかまぼこの BS と bs

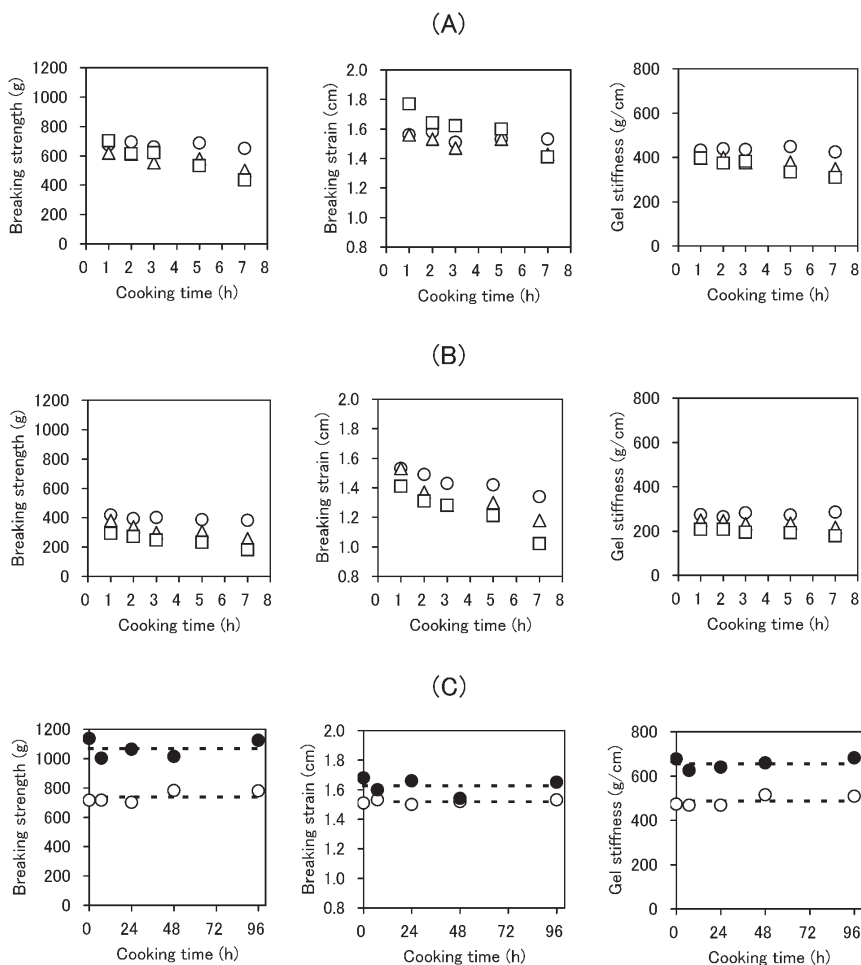


Fig.5 Cooking temperature dependent-change in rheological parameters of kamaboko gel.

Kamaboko gel was cooked at 70 (○), 75(△), and 80(□) °C for 7 hours as shown in Fig.4.

The BS and bs were measured promptly with the progress of cooking time as quickly as possible.

As a contrast, the same rheological parameters of the kamaboko gel was measured at 25°C over a keeping span of 96 hours.

(A,B) Cooking and measured at 70 (○), 75(△), and 80(□) °C.

(A) Two-step heated gel. (B) Directly heated gel.

(C) Measured at 25°C, after cooking. (●) Two-step heated gel. (○) Directly heated gel.

値は、いずれも近似する高値を示した。しかし、初めに80°Cにしたかまぼこの場合はその後25°Cに再調節しても、両物性値は、5~65°Cで加熱後25°Cに再調節した場合に比べると低い値にとどまることを示した。それゆえ二段加熱ゲルか直加熱ゲルかを問わず、65°C以下の場合、加熱による物性の低下は冷却による品温の再調節によって回復すること、いわば可逆的な変化であることがわかった。一方80°Cに加熱した場合の物性の低下は、品温を25°Cに調節(冷却)しても回復しないので、不可逆な変化であると判断された。80°Cの場合は25°Cに戻してから、より長時間(20時間)保持してその効果も調べたが、物性の回復度は依然として小さく、可逆性は認められなかった。次いで物性変化に対する加熱時間の影響を検討した。すなわち、かまぼこを70, 75, および80°Cで1~7時間にわたって加熱

し、その温度における物性値を測定した。先ず物性の経時的な変化を Fig.5 に示した。なお、室温(25°C)の測定と比較対照するためにかまぼこを25°Cで7~96時間にわたって保持したときの物性変化をも測定した。これらの結果によると、かまぼこの物性は、品温が70°Cでは低値となるが、さらにこの温度に保持しても7時間にわたってその値を保ち、変化しなかった。また品温が75°Cになると、物性値は70°Cの場合と余り変わらないがこの温度に保持している間に僅かながら低下する傾向を示した。この結果は物性がBS, bs, およびGs値のいずれについても同様であった。さらに品温が80°Cになると物性値はいずれも大きく低下し、7時間後のBS, bs, およびGs値はかなり低いレベルになることを示した。また、常温の25°Cでは、BS, bs, およびGs値は長時間にわたっていずれも安定に保た

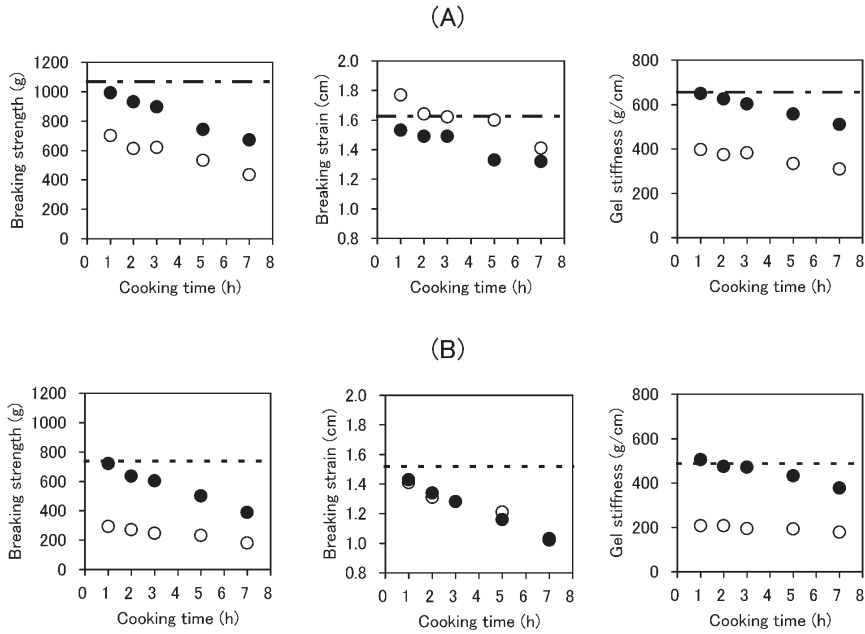


Fig.6 Cooking time dependent-decrease in rheological parameters of kamaboko gel at 80°C and increase caused by lowering to 25°C.

Kamaboko gel was cooked at 80°C for 7 hours. Rheological parameters were measured promptly with the progress at cooking time as in Fig.5. After cooking, temperature of kamaboko gel was shifted to 25°C on cooling and hold for 24 hours. Rheological parameters were again measured at 25°C.

(A) Two-step heated gel. (B) Directly heated gel.

(○) Cooked at 80°C. (●) Shifted to 25°C after cooking.

Mean values at 25°C (5 samples in Fig.5). ----- Two-step heated gel. (BS) 1068 ± 55 g, (bs) 1.63 ± 0.05 cm, (Gs) 656 ± 21 g/cm
 Directly heated gel. (BS) 739 ± 35 g, (bs) 1.52 ± 0.01 cm, (Gs) 487 ± 21 g/cm

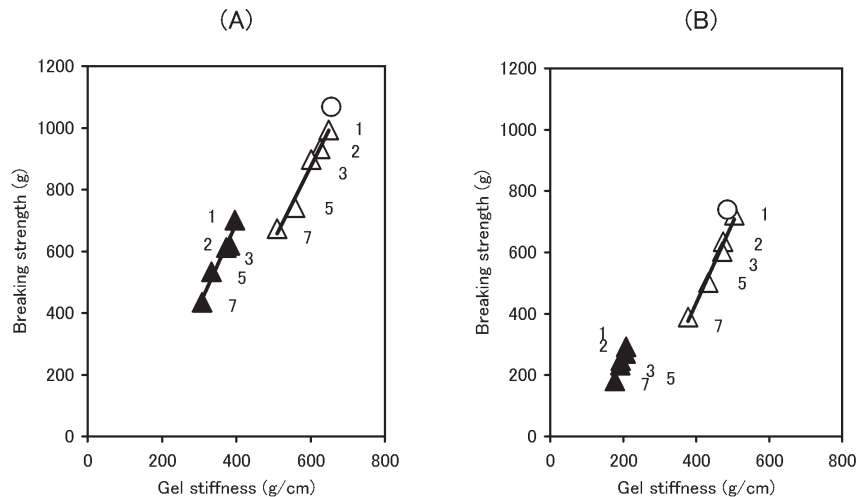


Fig.7 Change in linear relation of BS vs Gs plots of kamaboko caused by 80°C and recovery on cooling to 25°C after cooking.

Identical data shown Fig.6 were used to plot the BS against the Gs as a function of cooking time.

Numbers beside the line indicate the cooking time (hours) at 80°C.

(○) BS vs Gs at 25°C. (▲) BS vs Gs at 80°C for 1 ~ 7 hours. (△) BS vs Gs at 80°C for 1 ~ 7 hours, followed by 25°C for 24 hours. (A) Two-step heated gel. (B) Directly heated gel.

れていることを確かめた。なお、以上の物性の変化は、二段加熱ゲルか直加熱ゲルかを問わず全く同様に起こるので、両加熱ゲルに共通するような根拠に依っていると想像される。おそらくかまぼこのゲル構造に貢献しているタンパク質鎖間の結合のタイプとそのバランスが高温下で同様に影響を受けることに起因している可能性が大きい（國本ほか、2013）。

高温で起こる物性と構成タンパク質の変化：かまぼこの物性は45~70℃において短時間（2時間）の中に低下した。これらを室温（25℃）に戻すと同じく短時間の中に元の高い値（5~35℃の値に相当する）に回復した。また70℃では長時間（7時間）にわたって物性値は低下しないが、80℃になると経時的に大きく低下するようになった。そこで、80℃における物性の低下と冷却によるその回復性について次に検討した。その結果を Fig. 6 に示したが、これによると80℃においては、BS と Gs 値の低下は7時間にわたり進行するが、25℃に戻すと物性は上昇に転じ、回復する傾向を示した。しかし回復はその一部にとどまり、加熱前の値にまで上昇することはなかった。bs 値は7時間にわたって大きく変化しないように見えるが、25℃に戻すと低下の度合いがさらに大きくなり、BS の場合と同様に、回復性が失われてゆく事実が示された。そこで、この物性の変化をレオロジカルな視点で比べるために、加熱による BS vs Gs プロットの動きを調べた。Fig. 7 にその結果を示した。（A）は二段加熱ゲル、（B）は直加熱ゲルについて検討した場合である。これによると、いずれの加熱ゲルの場合も、80℃に7時間保持すると BS vs Gs プロットは経時的に低下するが各プロット間には直線関係が成り立った。また25℃の加熱ゲルの BS vs Gs プロットに比べて、関係直線は同図中では左側下方に位置することが示された。これは BS と bs 両値が共に大きく低下した結果である。次いで、それぞれの品温を25℃に戻すと、80℃での加熱時間が短いほど BS vs Gs プロットは高い値へと回復し、また時間が長いほど回復し難くなるが、各プロット間に直線関係が成り立ち、この関係直線は図中右上方に位置した。すなわち、80℃においては短時間の間はその BS vs Gs プロットは加熱をしない加熱ゲルの示す BS vs Gs プロットとほとんど近似するレベルまで増加したが、長時間になると、同関係プロットはかなり低いレベルにとどまり、加熱ゲルのレオロジカルな性質の変化が不可逆的に進行していることを示した。このとき、BS vs Gs プロット間に直線関係が成り立つので、これを利用して温度の調節によるかまぼこ物性の制御が可能であることが示唆される。また、直加熱ゲルの物性は二段加熱ゲルのそれより全体に低値であるが、80℃での加熱と冷却による25℃への調節によって起こる物性の回復は二段加熱ゲルの場合と全く同様に起こった。なお、70および75℃で7時間保持したかまぼこについては、加熱後に冷却して再び25℃に戻したときの物性の回復度は調べなかったが、しかし、先に示した例を見

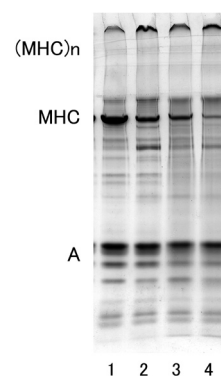


Fig.8 SDS-polyacrylamide gel electrophoretic patterns of solubilized protein components from kamaboko gel.

Kamaboko gel was solubilized into a medium of 2% SDS (sodium dodecyl sulfate) - 8M urea - 2% β -mercaptoethanol (pH 8.0). Each 10 μ g of solubilized protein was applied on 10% polyacrylamide gel by using a running buffer of 25mM Tris - 75 mM Boric acid - 0.1% SDS and stained with Coomassie Brilliant Blue R-250.

1. Directly heated gel.
2. Directly heated gel, cooked at 80℃ for 7 hours.
3. Two-step heated gel.
4. Two-step heated gel, cooked at 80℃ for 7 hours.

(MHC)n: Cross-linked myosin heavy chain. MHC: Myosin heavy chain. A: Actin.

ると、5~65℃で2時間保持した加熱ゲルは品温を25℃に戻すとそれまでに起こった物性の変化はほぼ元の値に回復したこと（Fig. 4），また、7時間にわたって物性を走査すると、70℃においては物性の経時変化はほとんど認められないので、おそらく5~70℃の温度域で見られる物性の変化は品温の調節によって可逆的に回復すると判断出来る。なお、75℃においては80℃の場合ほど大きくないが、物性値は経時的にゆっくりと低下する傾向が認められるので、75℃以上の温度域では、加熱時間の進行に伴って、物性に起こる変化は僅かに不可逆的に進行し、冷却による回復性が失われてゆくのではないかと推定される。

そこで、次に、80℃で7時間保持したかまぼこのタンパク質成分組成に起こる変化を SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動法によって分析し検討した。染色した泳動図型を撮影して、Fig. 8 に示した。ここには25℃で7時間保管前後の直加熱ゲルと二段加熱ゲルを供試した結果を示したが、既に良く知られているように直加熱ゲルを構成するタンパク質組成はミオシン重鎖とアクチンに相当する成分が主である。また二段加熱ゲルを構成するタンパク質組成はミオシン重鎖が減少してその多量体に相当する成分（泳動ゲルの上端部分が染色されている）が生成、蓄積していることが確かめられた（沼倉ほか、1985、1989）。次に、80℃で7時間保持した直加熱ゲルについてタンパク質組成を見ると、ミオシン重鎖が大きく減ってその多量体に相当

する成分が増加していることが示された。これは二段加熱ゲルについても同じであり、80℃、7時間保持するとミオシン重鎖はほとんど消失して多量化していることが示された。多量化が進行したため、この条件では泳動ゲル中に進入出来ないほどの粒子サイズに成ったと判定される。加塩・加熱によってすり身タンパク質が坐りゲルを形成するときには、ミオシン重鎖が多量化する事実は既に良く知られているが、同じ反応がさらに進行して多量体が巨大化すると、加熱ゲルの物性は逆に低下することがある事実も知られている(阿部ほか, 1996; 安永ほか, 1998)。それゆえ、かまぼこを80℃の高温に保持するときに見られる不可逆的な物性低下は、かまぼこ中のミオシン重鎖の多量化がより促進された事実と関わっている可能性が大きいと考えられる。かまぼこの加熱中で起こる変化であるから、酵素作用を介した反応ではなく、既に報じられているように、高温下におけるイソペプチド結合の生成反応が起こった可能性が大きい(フィーニーほか, 1984)。スケトウダラすり身を原料とした本研究のかまぼこの場合は、80℃、数時間の保管中に上記の反応が起こったが、これは不安定な魚類の筋原繊維タンパク質の特性の一つであるかも知れない。高温下でかまぼこの物性が大きく低下する原因は、加熱ゲルのタンパク質構造の形成に関与している分子間結合が熱運動によって不安定化することがあると云われているが、冷却して品温を下げると切断された結合が復活して、再び機能するようになり、結果として物性が加熱前の値に回復すると考えられる(丹羽, 1981; 丹羽ほか, 1987)。またさらに高い温度になると、熱運動により切断された各種の結合は、加熱前とは異なるタンパク質鎖上の部位に結合したり、あるいは異なるタイプの結合種が新たに形成されたりすることもあり得る。それゆえ、80℃で加熱したかまぼこゲルのタンパク質構造は、品温を下げても加熱前の構造に回復しないほどの大きな影響を受け、変化したためそれに伴って物性もまた回復出来なくなったと推察されるものである。

文献表

阿部洋一・安永廣作・北上誠一・村上由里子・太田隆男・新井健一(1996): 等級の異なるスケトウダラ冷凍すり身にトランスグルタミナーゼ製剤を添加して調製したかまぼこの品質. 日本水産学会誌, 62, 439-445.

フィーニー R.E.・ウィテカー J.R. (1984): 食品・栄養・薬学のための蛋白質の修飾(荒井綜一監訳). 学会出版センター, 東京, pp.104-107.

Hamann, D.D. and MacDonald, G.A.(1992): Rheology and Texture Properties of Surimi and Surimi-Based Foods. In[Surimi Technology]ed. by Lanier, T.C. and Lee, C. M., Marcel Dekker, Inc. N.Y. pp.429-496.

橋本昭彦・小林章良・新井健一(1982): 魚類筋原繊維 Ca-ATPase 活性の温度安定性と環境適応. 日本水産学会

誌, 48, 671-684.

磯 直道・水野治夫・小川廣男(1992): 食品のレオロジー. 成山堂書店, 東京, pp.102-104.

ジャン-クラウド シェフテル・ジャン-ルイ クック・ドゥーニー ロリアン(1988): タンパク質ゲル形成の概論「食品タンパク質ハンドブック」(北嶋典子訳). NTS, 東京, pp. 60-65.

加藤 登・橋本昭彦・野崎恒・新井健一(1984): スケトウダラ, シログチ, およびティラピアの肉糊の坐り速度に及ぼす温度の影響. 日本水産学会誌, 50, 2103-2108.

加藤 登, 阿部洋一, 安永廣作, 中川則和, 佐藤繁雄, 國本弥衣, 新井健一(2011): 加熱ゲル形成能からみたスケトウダラ冷凍すり身の品質に関する研究の展開, 東海大学紀要海洋学部, 19, 1-11.

北上誠一・村上由里子・新井健一(2002): 冷凍すり身の品質を評価する新しいアプローチ, New Food Industry, 44, 9-14.

北上誠一・村上由里子・小関聡美・阿部洋一・安永廣作・新井健一(2004): スケトウダラ塩すり身のゲル形成能とその加熱温度依存性. 日本水産学会誌, 70, 354-364.

北上誠一・村上由里子・安永廣作・加藤 登・新井健一(2005): スケトウダラ冷凍すり身タンパク質のゲル形成能とその濃度依存性. 日本水産学会誌, 71, 957-964.

國本弥衣・奥村知生・加藤 登・新井健一(2013): 各種タンパク質粉末を添加した冷凍すり身加熱ゲルのレオロジー的性質とタンパク質の溶解性の関係. 日本食品科学工学会誌, 60, 567-576.

國本弥衣, 奥村知生, 加藤 登, 新井健一(2014): タンパク質の溶解性からみた冷凍すり身加熱ゲルの特徴と卵白添加の影響, 日本食品科学工学会誌, 61, 19-26.

Laemmli, U.K. (1970): Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. Nature, 227, 680-685.

劉 達嘉・塩沢由子・加納 哲・丹羽栄二(1997): マアジゲルの物性に及ぼす測定温度の影響. 日本水産学会誌, 63, 231-236.

Niwa, E・Wang, T-t・Kano, S・Nakayama, T (1987): Temperature Dependence of Elasticity of Kamaboko, 日本水産学会誌, 53, 2255-2257.

Niwa, E・Chen, E-s・Wang, T-t・Kano, S・Nakayama, T(1988): Extraordinariness in the Temperature-dependence of Physical Parameters of Kamaboko, 日本水産学会誌, 54, 1789-1793.

丹羽栄二(1981): かまぼことたん白の分子間結合. 水産ねり製品技術研究会誌, 7, 241-251.

丹羽栄二(1990): かまぼこの足とその補強. 食品加工技術, 10, 88-94.

沼倉忠弘・関 伸夫・木村郁夫・豊田恭平・藤田孝夫・高間浩蔵・新井健一(1985): 坐りによる肉糊のゲル形成とミオシンの交差結合反応. 日本水産学会誌, 51, 1559-1565.

沼倉忠志・溝口 竜・木村郁夫・豊田恭平・藤田孝夫・関伸夫・新井健一(1989): 加熱により変質したスケトウダラすり身の坐りゲル形成能とミオシン重鎖の交差結合能.

日本水産学会誌, 55, 1083-1090.

柴 真 (2002): 水産ねり製品入門. 日本食糧新聞社, 東京, pp23-33.

安永廣作・阿部洋一・西岡不二男・新井健一 (1998): T

Gase 製剤の添加によるスケトウダラとサケの予備加熱ゲルと二段加熱ゲルの品質変化. 日本水産学会誌, 64, 702-709.

要 旨

スケトウダラ冷凍すり身から調製したかまぼこのレオロジカルな性質に対する温度の影響を, ゲル物性を尺度として調べた.

結果は以下のとおりである.

- (1) かまぼこを 5~75℃の間の温度で 2 時間保持し, その温度で物性を測定すると, 35~45℃以上では BS の減少が大きくなる傾向があった. ただし, bs の減少は相対的に小さかった.
- (2) かまぼこを 5~80℃の間の温度で 2 時間保持した後, 25℃にしてさらに 2 時間保つと, 80℃の場合を除き, 初めの温度が 5~65℃のものは BS と bs はほぼ同じ高値となった. これは高温域での減少が回復したことを示唆する.
- (3) かまぼこを 70~80℃で 7 時間加熱した後, また, 特に 80℃で加熱したものは冷却して 25℃に戻した後に, 物性を測ると, 70℃では経時的に変わらず, 75℃では僅かに減少し, 80℃では大きく減少する傾向を示した. 物性は冷却すると増加, 回復するが, 80℃で加熱したものは完全に回復しないことを示した.

かまぼこの品温変化は, そのテクスチャーに大きく影響を及ぼすことが明らかである.

キーワード: スケトウダラ, 冷凍すり身, レオロジー的性質, 温度依存性, かまぼこ形成能