

70°C長時間加熱により形成された卵白ゲル の特性について

田島 真理子*・東別府 希**・磯脇 由実***

(2021年10月20日 受理)

Characteristics of the Egg White Gel Formed by Intense Heat of 70°C

TAJIMA Mariko, HIGASHIBEPPU Nozomi, ISOWAKI Yumi

要約

卵白を70°Cの温度で長時間加熱したときに形成されるゲルの硬さ、食感、および卵白ゲル中の未凝固卵白量およびタンパク質濃度について、一般的なゆで卵の加熱条件(100°C 13分)および卵白タンパク質の凝固温度とされる80°C加熱と比較検討した。80°Cで1~7時間加熱することで得られた卵白ゲルは、100°C13分加熱の卵白ゲルの約6割から9割の硬さであったのに対し、70°Cで同時間加熱されたゲルでは、加熱時間に伴い増加の傾向にはあったが6~7時間においても100°C13分加熱卵白ゲルの約2割の硬さであった。食感については官能評価により70°C長時間加熱ゲルが軟らかく滑らかでプリンや茶わん蒸し風の感触であることが示された。また、加熱卵白ゲルから遠心分離により得られた未凝固液のタンパク濃度は80°Cでは加熱時間による変化は小さく100°C13分加熱の卵白ゲルと近似しているのに対し、70°Cでは加熱時間により有意に減少したが6~7時間後においても100°C13分加熱卵白ゲルの約3.3倍の濃度であった。

キーワード：卵白ゲル、長時間加熱、低温加熱、物性、官能評価

* 鹿児島大学 教育学部 特任教授

** 薩摩川内市立永利小学校 教諭

*** 都城市立南小学校 教諭

1 はじめに

鶏卵は、日常の食事において栄養価が高く安価で経済性の上からも取り入れやすいタンパク性食品である。また、その調理においては、希釈性、泡立ち性、凝固性、乳化性（卵黄）と優れた調理性（加工特性）をもっている。生鶏卵は液体で希釈が可能であるため調味や副材料と混合が容易であり、また、加熱により凝固する性質を有するため、そのまま加熱するゆで卵や希釈後加熱するプリン、卵豆腐、茶碗蒸しとさまざまな調理に用いられている。鶏卵は卵黄と卵白でその組成が大きく異なっており、卵黄が脂質を 34.3%含むのに対して、卵白は水分が 88.3%でタンパク質が 9.5%と水分以外の成分のほとんどはタンパク質であり、タンパク質給源としても優れた食品である¹⁾。

鶏卵の熱凝固についてはこれまで調理との関係において様々な研究報告がなされている。鶏卵を殻に入った状態で加熱するゆで卵は、その凝固状態によりゆで卵、半熟卵、温泉卵と区別される。これらは、卵黄と卵白の凝固温度の違いから生じるものであるが、このうち温泉卵については 65~70°Cの湯に 15~20 分間入れておくと、卵白卵黄ともに半熟となり、さらに長く置くことで卵白は半熟、卵黄は固まった温泉卵と呼ばれる状態になる。これは卵黄が 65~70°Cで固まるのに対して、卵白の凝固には 75~80°Cの加熱が必要となるためであるとされている²⁾。辰口らは、温泉卵の凝固状態を 65~70°Cの加熱温度と時間について詳細に検討し、70°Cでは 30 分経過すると卵白の流動性が見られなくなると報告している³⁾。

また、加熱卵白の食感については、ゼリー状から軟らかい凝固、硬い凝固とその状態の変化についての報告^{4),5)}があるが、加熱時間は分単位であり、卵白を 70°C前後で長時間加熱したときの変化についての報告は見られず、卵白の軟らかい凝固ゲルが加熱時間の延長に伴ってどのように変化するかについては明らかにされていない。そこで 70°Cおよびその近傍の温度で卵白のゲルがどのように変化するか温度と時間の影響をゲルの物性および食感、タンパク質の凝固割合の観点から検討した。

2 試料および方法

試料の調製

市販鶏卵は、入手後ただちに冷蔵保存し、採卵日から 5~10 日のものを用いた。鶏卵を割って卵黄を除き、卵白は攪拌せずにそのままポリエチレン製の蓋付き容器（33ml 容、市販タレビン角型大、37×25×59mm、耐熱温度 80°C）に入れて加熱用試料とした。容器に封入後漏れのないことを確認し、所定温度に調整した水浴中で設定時間に従って加熱した。水浴には NESLAB 製 RTE-9B 恒温水槽を用いた。加熱温度は実験により 65°C、70°C、75°C、80°Cおよび 100°Cとし、加熱時間は、100°C設定にあつては 13 分間、その他の温度では、1 時間から 7 時間を基準とし、実験によってはその間のいくつかの加熱時間を用いた。加熱終了後氷水で 30 分間冷却した。

卵白ゲルの物性測定

加熱卵白ゲルの物性測定には卓上型物性測定器（山電 TPU-2DL）を用いた。加熱した試料は、ポリエチレン製容器を横に倒した状態で容器の上部（37×59mm の面）を慎重に切り取り、試料の高さを 19mm に調整した。測定には 8.00mm 円柱状プランジャーを用い、クリアランス 5.00mm、圧縮速度 2.5mm、圧縮回数は 2 回とした。測定は 20 回行い、70℃、80℃それぞれについて、一元配置分散分析により有意な場合について各加熱時間による違いを Turkey 法により検定した。

未凝固卵白画分の調製およびタンパク質濃度の測定

加熱卵白試料を 30g 測り取って遠沈管に入れ遠心分離機（クボタ、KR-180B）にて、10,000rpm で 15 分間遠心分離して上清と沈殿区分に分け、上清を分取し重量を測定した。上清のタンパク質濃度は、牛血清アルブミン F-V（ナカライテスク）を標準物質としてビュレット法⁶⁾により測定した。測定においては、70℃加熱試料から得られた上清は蒸留水で 10 倍に希釈し、80℃加熱の場合は同様に 5 倍に希釈し、測定後希釈倍率を乗じて未凝固卵白画分（上清）のタンパク質濃度 (mg/ml) とした。得られた結果は、70℃、80℃それぞれについて、一元配置分散分析により有意な場合について各加熱時間による違いを Turkey 法により検定した。

SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動

未加熱凝固卵白画分中のタンパク質の分析には Laemli の SDS ポリアクリルアミドゲル電気泳動法⁷⁾（以下 SDS-PAGE と略す）を一部改変して用いた。分離用ゲルは 10%アクリルアミドゲルとした。未加熱卵白（上清）試料は、試料 1ml にトラッキング・ダイ(20mM MES 緩衝液(pH6.5), 5% SDS, 50%(w/v)スクロース, BPB なら成る) 0.2ml および 3-メルカプト-1,2-プロパンジオール 0.1 ml を加えて 70℃で 20 分加熱し電気泳動試料とした。生卵白については、上記トラッキング・ダイでの溶解性が不十分なため、まず 1.0ml に SDS リン酸緩衝液 (5%SDS, 10mM リン酸緩衝液 (pH7), 5% 3-メルカプト-1,2-プロパンジオール) 14.5ml を加えて一晩攪拌して可溶化したのち、一部を上記の未凝固卵白(上清)と同様の処理を行い電気泳動用試料とした。試料の電気泳動量は 20 μ g とした。

卵白ゲルの官能評価法

1) 70℃および 80℃で加熱された卵白ゲルの物性に対する官能評価

本官能評価においては、70℃ 3 時間および 6 時間加熱卵白ゲルおよび 80℃1 時間加熱卵白ゲルについて、それぞれ通常の固ゆで卵を想定した 100℃13 分加熱卵白ゲルを基準として、軟らかさ、滑らかさについて、5 段階尺度を用いて一対比較を行った。評価の表現は、軟らかさについては、基準に比べて「4 非常に軟らかい」「3 かなり軟らかい」「2 軟らかい」「1 少し軟らかい」「0 変わらない」とし、滑らかさについても程度の表現を同様にして 5 段階で示した。試料はいずれも一晩冷蔵保存したものをを用い、評価者は大学生・大学院生男女 20 名とし、事前に説明の上、参加承諾を得た。

2) 70℃、75℃で加熱された卵白ゲルの食感に対する官能評価

1)に続く官能評価では、70°Cで3時間あるいは5時間加熱、75°Cで3時間加熱した3種の試料を用いた。試料はいずれも一晩冷蔵保存したものを用いた。評価は、「ごわごわ」「プルプル」「なめらか」「ふわふわ」「ぼそぼそ」「ぎっしり」の6つのテクスチャー評価用語に対して「とてもあてはまる」「あてはまる」「どちらでもない」「あまりあてはまらない」「あてはまらない」の5段階で、また、他のゲル食品との食感の近似性について「プリン風」、「寒天風」、「茶碗蒸し風」、「豆腐風」、「杏仁豆腐風」の5食品と食感が近いかについて同様に「あてはまる」から「あてはまらない」までの5段階尺度で評価し、各試料についての平均値を求めた。官能評価者は大学生男女20名とし、事前に説明の上、参加承諾を得た。

3 結果および考察

(1) 長時間加熱卵白ゲルの硬さの測定

70°Cおよび80°Cで1時間から7時間加熱した卵白ゲルの硬さについて最大荷重を測定した結果を図1に示す。また、同時に一般的なゆで卵の調製に相当する100°C13分間の加熱卵白ゲルの最大荷重についても同様に測定した。なお、本実験においては、卵白の攪拌の度合が加熱ゲルに影響することからいずれの試料も卵黄と分離した卵白を攪拌せずそのまま加熱に供したため、濃厚卵白、水様卵白が混在して不均一な状態にあると考えられる。そこで測定にあたっては、各20回の測定を行い平均、標準偏差を求めた。100°Cで13分加熱した試料(ゆで卵)では最大荷重が3.0Nであったのに対し、80°Cで加熱した場合、1時間では最大荷重1.8Nで、100°C加熱ゲルの約6割の硬さであったが、2時間以降は、おおよそ2.1~2.7Nで100°C加熱に近い値であり、ゆで卵の卵白に近い状態にあると思われる。いずれの時間においても偏差が大きかったがこれは卵白の均一性が保たれていないためと思われる。

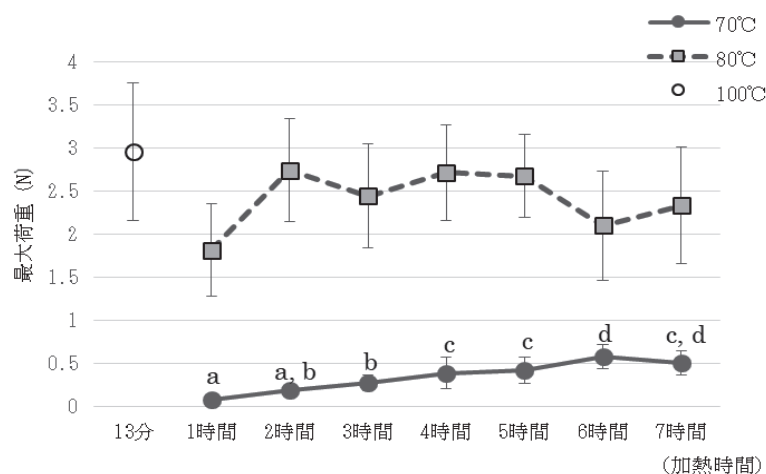


図1 加熱温度および時間に伴うゲル最大荷重の変化
各温度・時間について平均および標準偏差を示す。a-d:異なる文字は有意差を示す ($p < 0.05, n=20$)

一方、70℃で加熱された卵白ゲルは、あきらかに 80℃加熱、100℃加熱の卵白ゲルに比べ軟らかく、1時間加熱で 0.1N で、7時間加熱で 0.5N と、長時間の加熱によっても、80℃加熱、100℃加熱卵白ゲルに比べはるかに軟らかいゲルであることがわかった。また、70℃加熱では、加熱時間によって硬さに有意な上昇 ($p<0.05$) が見られたが、7時間の加熱においても、100℃13分加熱卵白の硬さの約2割であった。

(2) 加熱凝固卵白ゲル中の未凝固卵白(上清)重量およびタンパク濃度の変化と上清中のタンパク質について

卵白にはおおよそ 9.5%のタンパク質¹⁾が含まれているが、その 54%はオボアルブミンであり、他にオボトランスフェリン 12~13%、オボムコイド 11%、オボグロブリン 8%等が含まれている^{8),9)}。

表1 未凝固卵白(上清)重量の変化

加熱温度 (°C)	加熱時間	未凝固卵白重量 (g) (平均±標準偏差)	割合 (%)
70	1時間	12.12±1.03	40.4
	2時間	7.50±1.09	25.0
	3時間	6.95±1.71	23.2
	4時間	6.44±1.60	21.5
	5時間	6.05±1.12	20.2
	6時間	4.59±0.91	15.3
	7時間	5.28±1.56	17.6
80	1時間	2.17±0.19	7.2
	2時間	2.58±0.90	8.6
	3時間	1.78±0.22	5.9
	4時間	1.73±0.25	5.8
	5時間	1.57±0.26	5.2
	6時間	1.04±0.05	3.5
	7時間	1.26±0.06	4.2
100	13分	2.50±0.32	8.3

未凝固卵白重量は、卵白30gから得られた上清液の重量を、割合は上清液重量の卵白30gに対する割合を示す

卵白は加熱により凝集して固まるが、先の図1の最大荷重の変化にみられるように 100℃、80℃に比べて 70℃では強固な凝固体を形成しているとは思われない。そこで、70℃、80℃、100℃で所定時間加熱した卵白を遠心分離にかけその上清液を採取し、分離前重量に対する割合を調べた。結果を表1に示す。100℃13分の加熱では、上清液重量は 8.3%であったが、70℃で加熱した場合、加熱1時間で約 40%、2時間では 25%と大きく減少していた。2時間以降は徐々に上清の重量は減少し、6時間から7時間では 15~18%となった。この上清重量の減少は、先の最大荷重の1時間から6時間までの変化とよく相応していた。一方、80℃加熱した卵白では、1時間加熱で、上清割合は 7.2%と 100℃13分での割合に近く、2時間加熱で未凝固割合が幾分高かったが、それ以降7時間の加熱まで 4~6%程度の上清割合となっており、100℃13分の加熱よりも卵白ゲル(凝固ゲル)内に水分が保持

されていると思われ、このことが 100°C 13 分加熱に比べ最大荷重が幾分低いことに対応しているのではないかと考える。

次に、上清液中に残存する未凝固のタンパク質濃度について検討した。結果を図 2 に示す。上清液に含まれるタンパク質は、100°C 13 分加熱では 15.5mg/ml であったが、80°C で加熱された卵白では、1 時間から 7 時間の加熱において濃度に加熱時間に伴う有意な変化は見られず、おおよそ 17~21mg/ml の間にあり、100°C 13 分加熱にくらべ、若干高い濃度であった。一方、70°C で加熱した未凝固卵白(上清)のタンパク質濃度は、顕著に減少し ($p < 0.05$)、1 時間加熱の 88.4mg/ml から 7 時間加熱後には 51.1mg/ml となった。

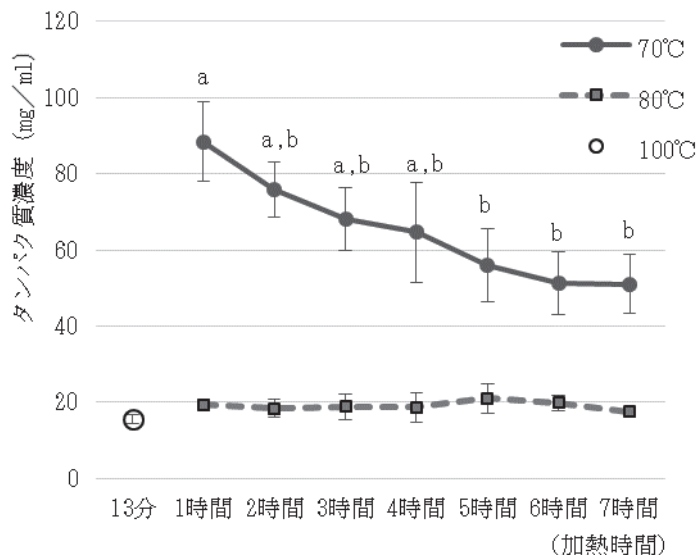


図2 未凝固卵白(上清)のタンパク質濃度
各温度・時間について平均および標準偏差を示す。
a-b:異なる文字は有意差を示す ($p < 0.05, n=3$)

本実験においては、上清液重量を測定し、その容積を測定していないため、タンパク質濃度から上清液中の全タンパク質量を算出することはできなかった。試験的に測定を試みた 70°C 1 時間加熱の上清液 10ml の重量は 10.20g であった。表 1 の値からこの試料は約 11.9ml と推定されるので、この中に含まれるタンパク質は計算上 1.05g となる。食品成分表の卵白のタンパク質割合 (9.5g/卵白 100g) を参照すると、卵白 30g には 2.85g のタンパク質が含まれることになる。70°C で 1 時間加熱した試料では、1.05g のタンパク質が上清に含まれており、この量から換算すると約 37% 程度のタンパク質が未凝固状態で溶解していることになる。

そこで、ゲルから分離された未凝固卵白画分(上清)に含まれるタンパク質について、SDS-PAGE を行った。結果を図 3 に示す。生卵白においては、オボトランスフェリン、オボアルブミン等のバンドが見られたが、

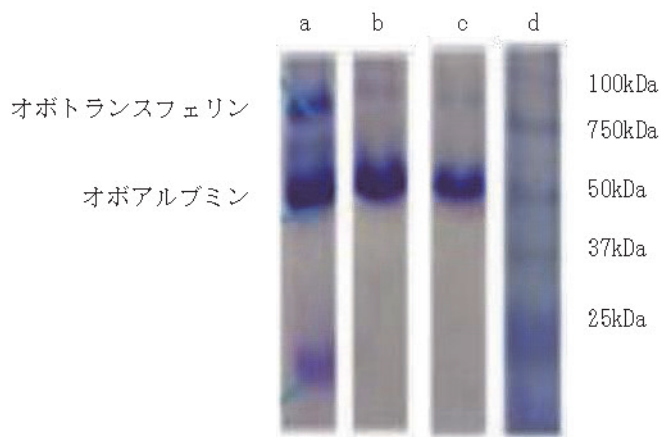


図3 未凝固卵白(上清)のSDS-PAGE
レーン: a 生卵白 b 70°C 3時間加熱 c 同6時間加熱
d 分子量マーカー

70℃で3時間加熱されたとき、上清中にはオボアルブミンが確認された。オボアルブミンは卵白の貯蔵間に熱に安定な形 s-オボアルブミンに変化することが知られており¹⁰⁾、図3の結果はオボアルブミンの熱安定性を示していた。一方、オボトランスフェリンは、70℃での3時間以上での加熱では消失していた。オボトランスフェリンは熱に不安定なタンパク質であるが、Yamashita ら¹¹⁾は、卵白は65℃付近で軟らかい不透明なゲルを形成するが、その主な成分はオボトランスフェリンであると述べており、図3の結果と一致していた。本研究においては、遠心分離後の沈殿画分については電気泳動を行っておらず、加熱凝固部分のタンパク質についての分析が今後必要であると考えられる。

(3) 加熱卵白ゲルの食感について

1) 70℃および80℃加熱により形成された卵白ゲルの物性に対する官能評価

図4に70℃で3時間および6時間、80℃で1時間加熱した3種の卵白ゲルの軟らかさおよび滑らかさについての官能評価結果を示す。各温度・時間の試料はいずれも固ゆで卵に相当する100℃13分間加熱の卵白ゲル

(基準試料) との対比

によりその物性の評価

を求めた。なお、80℃

加熱では、2時間以降

のゲルでは、最大硬度

が100℃13分加熱ゲル

に近づいていたため、1

時間加熱の試料を用い

ることとした。70℃加

熱の場合、3時間加熱

したゲルでは基準試料

に比べ「かなり軟らか

い」と評価され、6時

間加熱ゲルでは3時間

加熱ゲルに比べてわず

かに軟らかさが低下す

る傾向にはあったが、

やはり「かなり軟らかい」と評価された。一方、80℃で1時間加熱された卵白ゲルでは基準試料と

比べて「変わらない」、「少し軟らかい」と大きく軟らかさの評価は低下していた。これらの結果は

図1において示された3つの温度でのゲルの最大荷重に示された傾向によく一致していた。また、

加熱卵白ゲルの滑らかさについても軟らかさと同様の傾向を示したが、80℃1時間加熱では、ほと

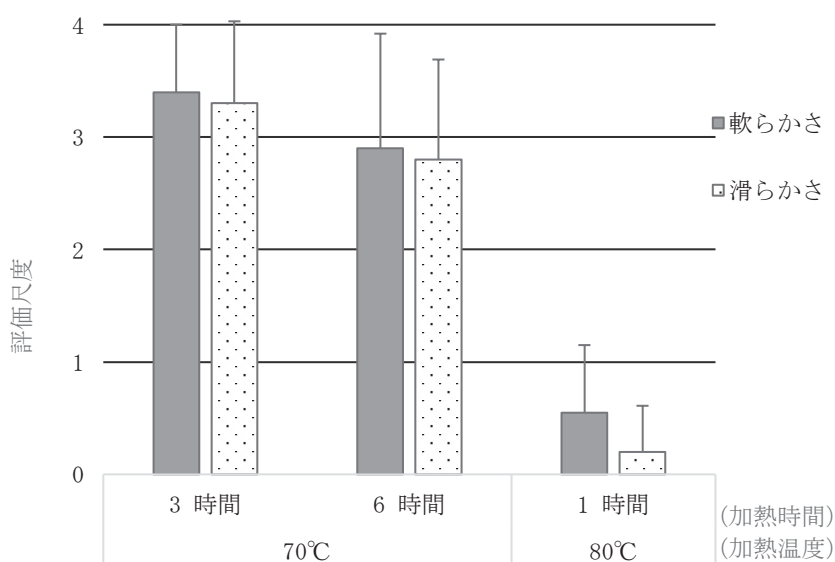


図4 70℃および80℃加熱により形成された卵白ゲルの物性に対する官能評価

軟らかさ及び滑らかさの尺度は、基準卵白ゲル（100℃13分加熱）に対して、0変わらない、1少し軟らかいもしくは少し滑らか、2軟らかいもしくは滑らか、3かなり軟らかいもしくはかなり滑らか、4非常に軟らかいもしくは非常に滑らかを示す

んど基準試料と同程度であることがわかる。これらの結果から、70℃加熱では長時間の加熱においても、軟らかさ、滑らかさを保っていることが明らかになった。

2) 70℃、75℃で加熱された卵白ゲルの食感に対する官能評価

70℃および75℃で加熱された卵白ゲルの食感について、テクスチャー用語による評価および他のゲル食品の食感との類似性について、官能評価を行った。結果を図5に示す。

図5-AおよびBは、70℃で3時間および5時間加熱した卵白ゲル、75℃で3時間加熱した卵白ゲルの平均評価尺度値を示している。先の物性に対する官能評価において80℃1時間加熱では基準試料に近い評価が得られていたので、ここでは75℃3時間加熱ゲルを用いた。図4-Aにおいては、「ごわごわ」「ぶるぶる」「なめらか」「ふわふわ」「ぼそぼそ」「ぎっしり」の6つの用語に対する評価を「4とてもあてはまる」「3あてはまる」「2どちらでもない」「1あまりあてはまらない」「0あてはまらない」までの5段階で評価した平均値を表している。加熱3時間のゲルでは「なめらか」「プルプル」「ふわふわ」と軟らかさを示す用語の評価尺度が高く、加熱時間を5時間に延長することでこれらの尺度値は低下した。一

方75℃で3時間加熱したものでは、「ぎっしり」した食感と感じられていることがわかった。官能評価にあたって、自由記述により食感の嗜好性について尋ねたが、「非常に滑らかで好きな食感である」「口に入れたら溶けていくような食感が好みである」「卵とは思われないくらい軟らかい」「プリンや杏仁豆腐のよう」「デザートに使いそう」という肯定的評価から「軟らかさが苦手」「ゆるい」「口に残る感じ」といった否定的な感想も見られた。図5-Bでは、食感の類似性について調べたが、70℃3時間加熱では、茶碗蒸しやプリン、杏仁豆腐の食感と類似すると捉えられており、5時間加

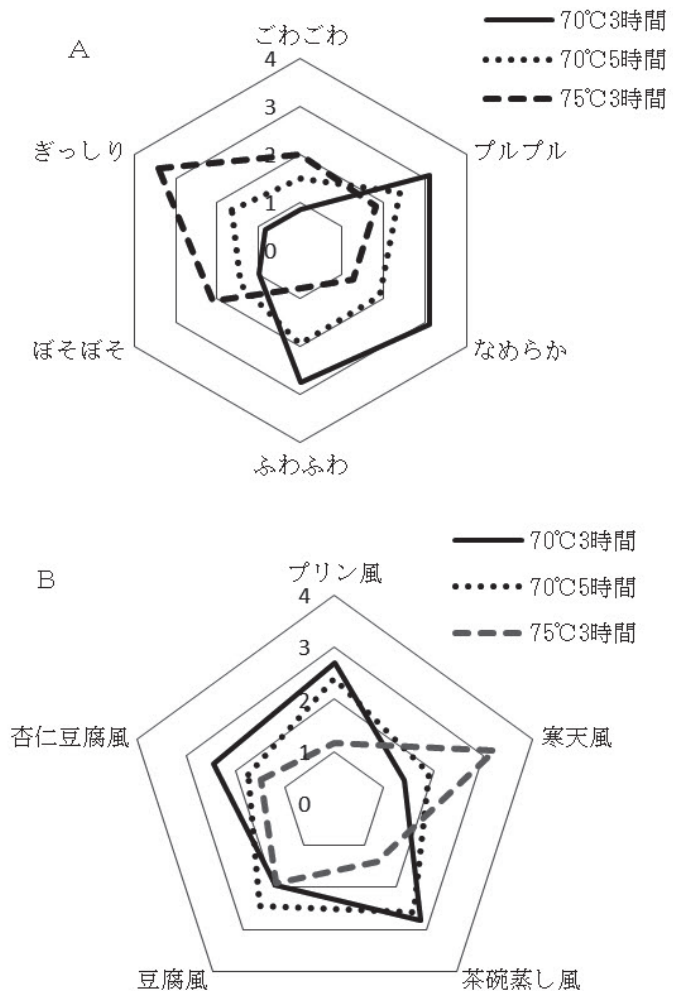


図5 70℃、75℃で加熱された卵白ゲルの食感に対する官能評価

図Aはテクスチャー用語に対する評価尺度の平均、図Bはゲル食品との類似性の評価尺度の平均(n=20)
評価尺度：4とてもあてはまる,3あてはまる,2どちらでもない,1あまりあてはまらない,0あてはまらない

熱したものでは、茶碗蒸し、プリン、豆腐との類似性が高かった。豆腐との類似性の評価尺度があがっているところについては、本実験では絹ごし豆腐と木綿豆腐とを分けて聞いていないが、木綿豆腐の幾分しっかりとした食感が意識されているのではないかと推測される。75℃で3時間加熱した試料においては、軟らかいゲル食品との類似性でなく、寒天風の評価値が高く、寒天ゲルのしっかりした歯ごたえとの類似性が評価されていた。

これらの官能評価による結果から、卵白を70℃で長時間加熱することで、半熟卵のごくゆるい卵白の食感やゆで卵のしっかり凝固したゲルの食感とは異なる感触のゲルを作り出せるのではないかと考える。しかしながら、本研究においては、卵白の凝固に影響を及ぼす塩や金属イオン¹²⁾、あるいは砂糖などについて検討を加えていない。卵白の緩くゲル化した食感を好ましいとした官能評価も見られたことから、さらに甘さや塩味のある卵白ゲルの食品への利用には添加物の影響についても検討を要すると思われる。

4 まとめ

ゆで卵、温泉卵は、卵黄および卵白それぞれの食感の違いが嗜好の重要な要素となっている。一般には65~68℃で30分程度加熱すれば卵黄は凝固し、卵白は半熟の温泉卵となるとされるが、温泉卵では加熱温度のわずかな違いや加熱時間によって卵黄卵白ともに凝固状態、保形性に違いがあることを辰口らは示している³⁾。70℃前後における加熱卵白の食感の違い、言い換えると卵白の半熟状態あるいは半凝固状態は嗜好性に影響すると思われる。加えて、卵白を用いて新たな食感のゲルを作り出すことは、卵白の加工、あるいは卵白利用食品の可能性を拓げることにつながると推測される。そこで、70℃で1~7時間の加熱時間で卵白の凝固状態がどのように変化するか、物性測定と官能評価とを合わせて検討した。比較のために、これまで日常的に食されてきたゆで卵の条件に相当する卵白ゲル、あるいは短時間で硬い凝固を起こすとされる80℃で加熱された卵白ゲルを調製し、合わせて分析した。

70℃で加熱された卵白ゲルの最大荷重は、加熱時間の延長により有意に増加した($p<0.05$)が、加熱7時間においても、100℃13分加熱の卵白ゲルの約2割程度の硬さであり、一般的ゆで卵の卵白の硬さに比べ明らかに非常に軟らかいゲルであることがわかった。一方、80℃で加熱した卵白ゲルは、加熱時間によりばらつきがみられたが、100℃13分加熱ゲルの6~9割の硬さであった。各ゲルから遠心分離により採取した未凝固卵白(上清)の重量割合は、70℃では加熱時間にもなって顕著に減少した。また、未凝固卵白(上清)中のタンパク質濃度も加熱時間に伴い有意に減少しており($p<0.05$)、70℃加熱では長時間の加熱であってもごく軟らかいゲルではあるが、加熱に伴ってゲルの構造がより緻密になっていると思われる。このことが70℃長時間加熱における卵白ゲルの保形性に繋がっていると思われる。卵白中のオボトランスフェリンは熱に不安定なタンパク質であるが、Yamashitaら¹¹⁾は、卵白は65℃で軟らかい不透明なゲルを形成するが、その主な成分はオボトランスフェリンであると述べている。本実験においては、70℃に卵白を加熱したことによりオボトラン

スフェリンが凝固しゲルを形成したものとするが、緩やかな硬さの増加はゲル中のタンパク質の変性凝集した網目構造が緻密化しているのではないかと推測する。

このような温度によるあるいは加熱時間による最大荷重の違いが食感としてどのように捉えられるか官能評価をおこなったところ、80°C 1 時間加熱卵白ゲルでは軟らかさおよび滑らかさとも100°C13 分加熱ゲルとほとんど変わらないとの評価であったが、70°C加熱では対照に比べかなり軟らかく滑らかな食感であるとの回答であり、また、6 時間加熱においても対照より軟らかく滑らかであることがわかった。

さらに、70°C 3 時間加熱した卵白ゲルの食感は、滑らか、ふわふわ、プルプルしており、茶碗蒸し、プリンと似ており、加熱5 時間では、同じく茶碗蒸し、プリンと似ているが滑らかさ、ふわふわ感、プルプル感が幾分低下していた。一方、75°Cで 3 時間加熱した卵白ゲルでは、ぎっしりとした食感で、寒天の食感に近くなることが示された。これらの食感についての自由記述による意見を見ると、嗜好の好悪は必ずしも一致していなかったが、「滑らかな食感が好ましい」、「口に入れたらとけていくようなものが良い」との意見もあった。また、Kajino ら¹³⁾は、鶏卵を含む家禽卵のオボアルブミンの消化性に対する加熱処理の影響について検討し、人工胃液による実験では、鶏卵のオボアルブミンは、65°C以下、90°C以上に比べて 70~80°Cでは消化性が向上すると述べている。食感、消化性の点からも卵白ゲルの介護食等への利用にも繋げられるのではないかと考える。

本研究を行うにあたり、官能評価にご協力いただきました学生の皆さまに感謝申し上げます。

文献

- 1) 文部科学省 (2020), 日本食品標準成分表 2020 年版 (八訂) 20201225-mxt_kagsei-mext_01110_012.xlsx (live.com) (入手日: 2021.10.14)
- 2) 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 (2011), 第9 章第3 節「NEW 調理と理論」, 同文書院, 338
- 3) 辰口直子, 大 雅代 (2019), 温泉卵の凝固状態への加熱温度と保持時間の影響—好みの温泉卵を作るには—, 日本調理科学会誌, Vol. 52, 345-351
- 4) 岡村喜美 (1960), 調理教材に関する基礎的研究並びにその取り扱いについて (第1 報) ゆで卵について, 日本家庭科教育学会誌, Vol. 1, 21-26
- 5) 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 (2011), 第9 章第3 節「NEW 調理と理論」, 同文書院, 337
- 6) Gornall, A.G., Bardawill, C.S., David, M.M. (1949), Determination of serum proteins by means of the biuret reaction, J. Biol. Chem., 177, 751-766
- 7) Laemmli, U.K. (1970), Cleavage of structural proteins during assembly of the head of bacteriophage T4.

Nature, 227, 680-685

- 8) 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 (2011), 第9章第3節「NEW 調理と理論」, 同文書院, 326
- 9) 渡辺乾二 (1980) 第3章第2節2「食卵の科学と利用」, 佐藤泰編著, 地球社, 51
- 10) Shitamori, S., Kojima, E., Nakamura, R. (1984), Changes in the heat-induced gelling properties of ovalbumin during its conversion to s-ovalbumin, *Agric. Biol. Chem.*, 48, 1539-1544
- 11) Yamashita, H., Ishibashi, J., Hong, Y.H., Hirose, M. (1998), Involvement of Ovotransferrin in the thermally induced gelation of egg white at around 65°C, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 62, 593-595
- 12) Ichikawa, T., Shimomura, M. (2007), Effects of sodium chloride and other salts on the properties of diluted egg white sols and gels, *Food Sci. Technol. Res.*, 13, 173-177
- 13) Kajino, R., Kurisaki, J., Sato, K., Miura, M., Yamada, K. (2018), Effect of preheating on the digestibility of poultry ovalbumins, *J. Cookery Sci. Jpn.*, 51, 258-267