

博士学位論文

加熱調理過程における視覚情報が
料理の品質に及ぼす影響

2025年2月

名古屋学芸大学大学院

栄養科学研究科

山中 由実

目次

第1章 序論	1
第2章 調理中の目配りが料理の品質に及ぼす影響 -炒め調理における目配りと調理技術に関する研究-	
2-1 目的	3
2-2 方法	4
2-3 結果	13
2-4 考察	18
第3章 調理中の目配りが料理の品質に及ぼす影響 -加熱攪拌調理における目配り技術と指導に関する研究-	
3-1 目的	19
3-2 方法	20
3-3 結果	28
3-4 考察	33
第4章 揚げ過程の視覚情報による天ぷらの品質評価の検討 -たんぱく質食品（えび）を例として-	
4-1 目的	34
4-2 方法	35
4-3 結果	40
4-4 考察	49
第5章 総合考察	51
参考文献	53
謝辞	55

第1章 序論

おいしく、栄養がある料理は、食べる人の側の因子として味覚、触感、嗅覚、聴覚、視覚、温度覚などの相互作用から評価でき、食べ物の側の因子としては化学的因子、物理的因子（テクスチャー）、外観への因子（色、盛り付けなど）があり、摂食環境としてだれとどのような食卓環境で食べるかもおいしさに影響する。

このおいしく、栄養がある料理を作るためには、食材の選択、調理操作（洗浄・浸漬などの非加熱操作、煮る・揚げる・炒めるなどの加熱操作、調味操作）が影響する。調理操作が栄養やおいしさに及ぼす影響についてはすでに多くの報告がされているが、これらの研究では適切な調理操作条件として、加熱温度や加熱時間を設定することを目的としている¹⁻⁴⁾。また、調理経験から得られた技術を解析する研究についても多数報告されている。技法の解析事例として、野坂らは、ジャガイモの裏ごし操作について調査し、力の入れ方やヘラの角度に差を見だし、それがジャガイモの性状にも違いが現れたことを確認している⁵⁾。また野坂らは攪拌操作についても研究しており、高速攪拌がホワイトソースのできあがりに影響することを確認している⁶⁾。また、調理手順やタイミングの研究事例としては、シェフと女子学生との比較により、麻婆豆腐の調理過程において豆腐の調理手順や材料を入れるタイミングの違いが、フライパン内の表面温度変化に影響を与え、仕上がりの豆腐のテクスチャーが大きく異なることを、笠松らは報告している⁷⁾。さらに調理中の食材および調理器具の温度測定手段として画像処理を用いた研究が赤木らにより行われており、可視画像において具材と中華鍋の領域を画像処理により分割することで、サーモグラフィ画像での具材および中華鍋領域の平均温度を計測する方法が報告されている⁸⁾。このように調理作業の技法や調理手順等の違いが料理に影響することが、多方面からの調理解析研究によって明らかにされている。

しかし、上級の調理技術をもつ料理人と同じ手順、同じ作業で調理した場合でも、料理人と同じ品質の料理に仕上げることは困難である。これは、調理作業以外に、料理人のみが持つ技法や調理手順、タイミング以外の何かしらの技術が要因となり、料理のできあがりに影響を及ぼすためである。この要因として、上級の調理技術をもつ料理人は、温度計や時計に頼らず、調理過程中的食材の状況を見た目（視覚）、香り（嗅覚）、味見（味覚）、聴覚、食材に触れる（触感）などの五感から判断していると考えられた。

そこで、本研究は五感の中の「視覚」に注目し、調理過程における視覚情報と料理の品質

(できあがり)との関係について検討した。これにより適切な調理操作を判断するための視覚情報を明らかにすることができれば、五感を使った調理技術向上のための教育資料として示すことができる。さらに、これまで調理のできあがりを火力や加熱時間で調整していたが、食材の水分量などの成分は季節や生産地によって異なることから、常時同じ火力や加熱条件で調理を行ってもできあがりが変わってしまう。熟練の調理師などは調理工程中の食材の様子から火力や加熱時間などを調整し、求めたいできあがりを得ている。この調理過程での視覚情報を画像処理した指標を用いることで熟練の調理師の調理能力と同等の優れた品質の料理の提供が可能となる。画像処理で得られた指標を人工知能 (AI) に利用することで視覚情報から大量調理においても個体差によるバラツキが見られる食材であっても、安定した品質の料理を得る可能性がある。調理工程中における成分変化と視覚情報の関連を検討した本研究は、調理中のできあがりの判断への応用が期待される。

本研究における視覚情報とは、1. 調理中の「目配り」、2. 調理過程における料理の「見た目」である。上級の調理技術をもつ料理人は、おいしい料理を作るための調理過程での注視するところと注視したところの素材の変化の仕方を調理経験により得ているため、おいしい料理を作ることができると考えた。そのため、1. 調理中の「目配り」と2. 調理過程における料理の「見た目」の視覚情報と料理のできあがりの関係を検討することとした。

1については、調理操作の「炒める」について、きんぴらごぼうから調べ、調理熟練者と非熟練者の調理中の「目配り」の違いと料理のできあがりの関係を調べ、調理中の目の動きが調理技術の1つであるかを確認した。また、「練る」において、ごま豆腐から調べ、調理非熟練者に調理熟練者の目の動かし方を指導し調理技術が向上するか検討し、調理中の「目配り」が調理技術向上を図る方法として有効であるかを確認した。

2については、「揚げる」操作として天ぷらを例とし、食材によって水分含量や主成分が異なることができあがりに影響することから、たんぱく質性食品を用い、揚げているときの油面の様子を画像処理し、食材の水分挙動および食材のできあがりとの関係から、おいしい天ぷらを得るための調理工程での視覚情報を考察した。

第2章 調理中の目配りが料理の品質に及ぼす影響 -炒め調理における目配りと調理技術に関する研究-

2-1 目的

非熟練者が熟練者と同じ手順、同じ作業で調理した場合でも、熟練者と同じ品質の料理に仕上げることは困難である。これは調理作業以外に、熟練者のみが持つ技法や調理手順、タイミング以外の何かしらの技術が要因となり、料理のできあがりに影響を及ぼすためと考えられる。そこで技法や調理手順、タイミング以外で料理のできあがりに及ぼす要因の1つとして、調理中の目配りについて検討した。

通常、人は行動を起こすとき、その事柄の位置や状態、変化を確認するために、行動前に目が動作点へ動く。視点移動については心理学的、生理学的に多く研究されているが、喜多は人間の情報処理の観点から視覚タスクが与えられたときに次の視点位置が決定することを報告しており¹⁾、目的が与えられると視点の移動場所は決定する。これは調理時も同様であり、調理作業をする場面にて、対象物の位置を確認するためや作業のタイミングを計るために目を配る。星川らは、炒められた人参の状態に応じて視線の動きが変化することから調理工程の解析への適用について報告している²⁾。実際に熟練者および非熟練者の炒め調理時の目配りを観察したところ、熟練者は常に大きく目を動かしており、対象の状況を均等に把握していた。それに対して非熟練者は目の動きが細かく狭い範囲を見ており、個々の目配りに重要性が感じられなかった。このように、目配りは調理動作に大きく影響を与えることから、調理技術に関連があると考えた。そこで本章では、料理のできあがりに影響する調理技術の1つとして調理時の目配りに着目した。同じ調理過程における熟練者と非熟練者の目配りを、調理技術の観点から数値化すると共に、客観的評価が可能な画像処理技術を用いて定量化した。同時にできあがりの品質評価結果との関連を見出すことで調理過程における目配りの有効性を確認し、調理技術評価手段の1つとしての目配りの重要性を示すことを目的とした。

2-2 方法

目配りの有効性を確認するために、本研究では基本的な調理法である「炒める」を対象とし、調理経験の異なる四者が同じ手順で炒め調理を 2 回ずつ行った。料理例は、試料の大きさの統一が可能でできあがりの品質評価がしやすい「きんぴらごぼう」を設定した。四者のできあがりは物性測定および塩分濃度測定から比較し、同時に調理時の目配りを比較した。目配りは第三者が調理時の目の動向を観察して、調理技術に関係した配点で目配りを点数化する方法と、客観的に目配りの評価が可能な画像処理による目の移動量検出方法を用いた。そして四者のできあがりの品質評価と目配り評価の結果を比較することで、目配りが調理技術評価として有効であることを確認した。

(1) おいしさの指標

きんぴらごぼうのおいしさについては硬さを指標（おいしさの指標）とした。きんぴらごぼうのおいしい硬さを求めるために、調味後加熱時間が異なる 3 種類（1 分、2 分、3 分）のきんぴらごぼうの硬さ測定および官能評価を行った。

ごぼうは、有意な個体差がない直径 21.34 ± 0.23 mm、長さ 712.0 ± 9.9 mm のものを、調理後の硬さに有意差（ $p < 0.05$ ）を確認した上 120 mm、下 40 mm 程度を切り落として使用した。油を熱したフライパンに縦 2 mm、横 2 mm、長さ 40 mm にせん切りしたごぼうを入れて強火で加熱した後、調味液を加えて中火にした。ここから火を止めるまでの加熱時間を 1 分、2 分、3 分と変化させることで、硬さが異なる 3 種類のきんぴらごぼうを試料として得た（表 1）。それぞれのできあがりからごぼうをランダムに抜き出し、ごぼうの中央部 8 mm をクリープメーター（山電、RE2-33005B）にて硬さを測定した。測定には、直径 30 mm 円形プランジャーを用い、圧縮率 10%、試料台上昇スピード 0.5 mm/s の条件で行った。

また、きんぴらごぼうの官能評価は順位法で行った。20 代女性 10 名を評価者とし、 5 ± 1 g を一口で食べてもらい、硬さの硬い順に 1 位、2 位、3 位の順位を、また好ましい硬さの順に 1 位、2 位、3 位の順位を指示し、2 回行った合計順位の和を Newell & MacFarlane の順位法のための検定表で評価した。官能評価の結果、最も好まれたきんぴらごぼうの硬さをおいしさの指標とした。

官能評価はヘルシンキ宣言の精神を遵守した上で、評価者にインフォームドコンセントを行い、評価参加への承諾を得た後に実施した。

(2) 熟練者と非熟練者によるきんぴらごぼうの品質評価

熟練者として大学で調理の講義を担当する 30 代女性と 50 代女性が、非熟練者として一般的な 20 代女性と 30 代女性がきんぴらごぼうを 2 回ずつ調理した。調理方法（表 2）は熟練者である和食料理を職業とする 60 代男性の調理過程に従った。なお、混ぜる速度は熟練者に従って 2.4 回/秒とした。四者が調理したきんぴらごぼうの硬さを、前節と同様にクリープメーターにて測定した。それぞれの物性測定の結果についておいしさの指標と比較し、熟練者と非熟練者のきんぴらごぼうの評価を行った。またきんぴらごぼうの味の浸み込み具合を比較するためにできあがりの塩分濃度を測定した。塩分濃度は、きんぴらごぼう 10 g に対して超純水 15 mL を加えて 15,000 rpm で 5 分間ホモゲナイズした後、超純水で 100

mL にメスアップしたものを使用した。そして Na 濃度をイオンメーター（HORIBA、CARDY）により測定し、検量線から塩分濃度を算出した。できあがりの重量 92.0 g と調味液の塩分 2.1 g（塩分濃度 2.3%）に対する、熟練者と非熟練者のきんぴらごぼうの塩分濃度から、味の浸み込み具合を評価した。

表 1. 加熱時間が異なるきんぴらごぼう 3 種類の調理方法

経過時間	調理過程
0 分 00 秒	フライパン*1をコンロに置き、強火*2で加熱する
0 分 07 秒	フライパンに油 15.1 g を入れる
0 分 50 秒	せん切り*3にしたごぼう 105.0 g を入れる
2 分 00 秒	調味液*4 41.0 g を入れ、中火*5にする
3 分、4 分、5 分*6	火を消して皿に盛る

*1 フライパンは直径 21 cm の鉄製

*2 ガス流量 1.35 L/min

*3 縦 2mm、横 2mm、長さ 40 mm にせん切り

*4 砂糖 7.4 g、濃口醤油 15.1 g、水 18.5 g

*5 ガス流量 0.95 L/min

*6 調味後の加熱時間 1 分、2 分、3 分

表 2. 熟練者および非熟練者のきんぴらごぼう調理方法

経過時間	調理過程
0 分 00 秒	フライパン*3をコンロに置き、強火*4で加熱する
0 分 07 秒	フライパンに油 15.1 g を入れる
*1 ↓ *2 ↓ 0 分 50 秒	せん切り*5にしたごぼう 105.0 g を入れる
2 分 50 秒	調味液*6 41.0 g を入れる
*1 ↓ *2 ↓ 3 分 30 秒	弱火*7にする
4 分 25 秒	強火にする

*1 第三者による目配り点数化

*2 画像処理による視点移動距離計測

*3 フライパンは直径 21 cm の鉄製

*4 ガス流量 1.35 L/min

*5 縦 2 mm、横 2 mm、長さ 40 mm にせん切り

*6 砂糖 7.4 g、濃口醤油 15.1 g、水 18.5 g

*7 ガス流量 0.65 L/min

(3) 目配りの数値化

目配りを数値化するために、2つの方法を用いた。1つは目配りと調理技術の関連を調べるために、炒める際の調理ポイントとなる場所を見た際に配点をする方法を用いた。調理において重要となる調理ポイントの場所への視線の移動（目配り）を第三者が観察して点数化し、熟練者および非熟練者の点数の違いから調理技術への繋がりを確認した。またもう1つの方法として、客観的な評価方法として調理ポイントへの視線の移動をカメラで撮影し、その後、画像処理により視点移動距離を数値化した。

1) 第三者による調理時の目配りの点数化

目配りを数値化するために、第三者が調理時の目の動向を観察し、調理技術を考慮した配点により数値化を行った。きんぴらごぼうを炒める際には、ごぼうを均等に加熱することが重要である。フライパンを30秒間加熱した際の温度をサーモグラフィ（アイ・アール・システム、MobIR M2）で測定した結果、フライパン中央以外は140度から170度に対し、ガスコンロのバーナーに接する中央部分は170度から200度と高温であり、均等に加熱するには注意が必要な場所であることを確認した（図1）。また炒め調理時におけるフライパン内のごぼうの滞留時間を観察したところ、フライパン中央部分にあるごぼうと比較して、側面付近のごぼうの方が留まっており（ $p<0.05$ ）（図2）、炒め調理が疎かになることで均等に加熱するには注意が必要であることを確認した。そこで目配りを行っているかを確認する調理ポイントとしてフライパンの中央部分と、ごぼうが留まりがちな底面と側面の境目付近を設定した（図3）。直径21cmのフライパンに対して、底面と側面の境界線である直径15.6cm付近とバーナーの直径7cmの円内に視線が移動した場合に、調理過程における重要な目配りを行ったとして配点した。このとき、中央部分もしくは境目付近の同じ領域内で移動した場合は、もう一方の目配りが疎かになるため加点しないこととした。そして菜箸を10回動かす間に行われた目配りを第三者が観察して点数化した。これを、調味前に2回と調味後に2回、調理と同時に計測した（表2）。得点が高いほど目配りがされているとし、調理技術が高いと評価した。

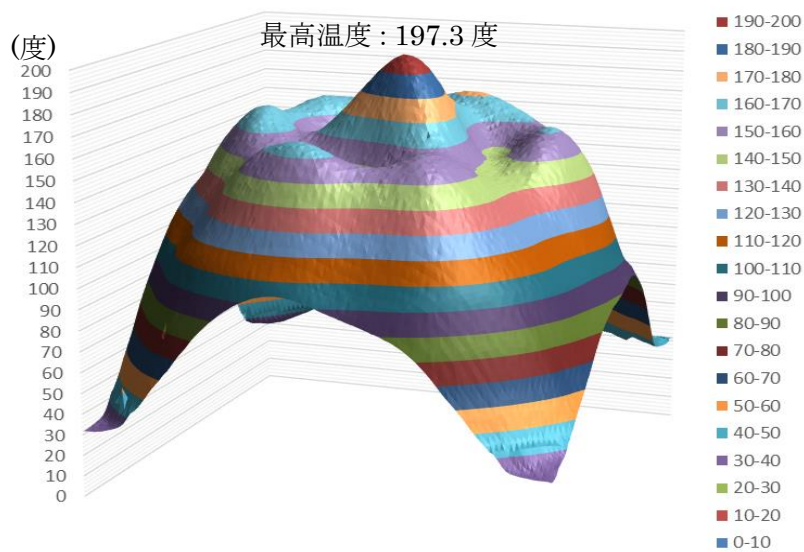


図 1. 30 秒間加熱時のフライパンの温度

フライパンを 30 秒空だきしたときのフライパン表面の温度分布を 3-D 等高線で示した。温度が高いほど、高さが高く表示される。

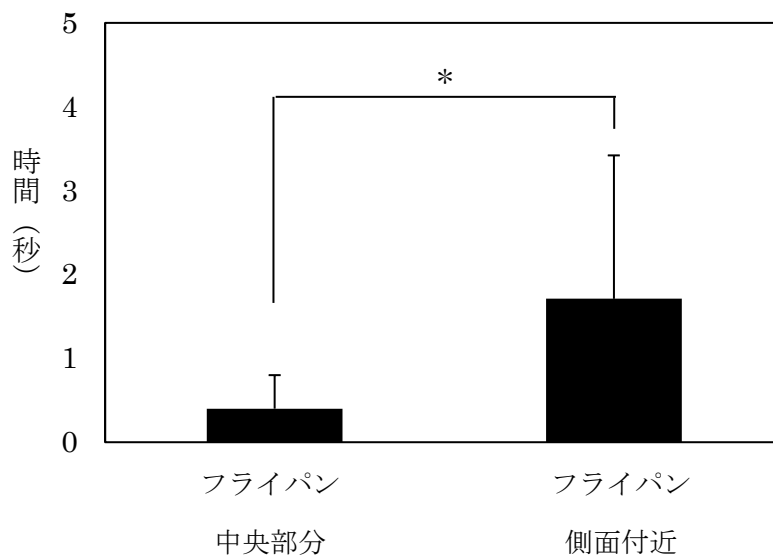


図2. 炒め調理時におけるフライパン内のごぼうの滞留時間

値は平均値±標準偏差で示す (n = 10)。

*はt検定を行った結果、フライパン中央部分と側面付近のごぼうの滞留時間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

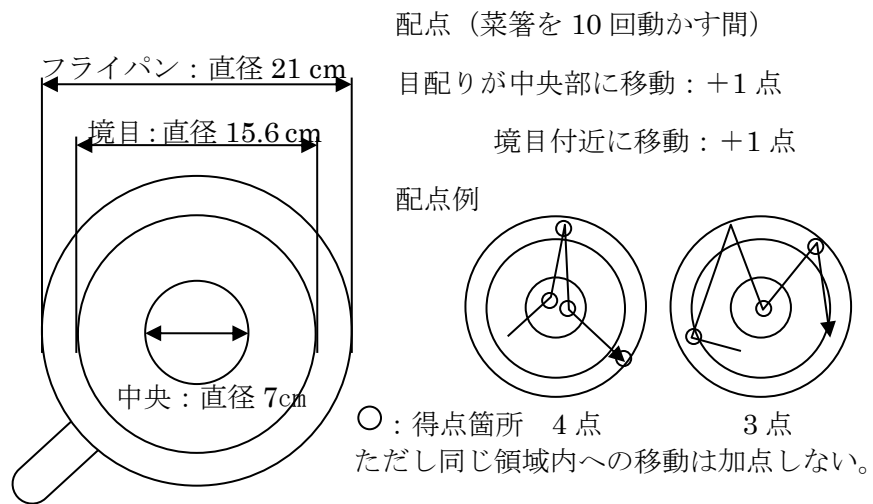


図 3. 調理技術による目配りの点数化

2) 画像処理による視点移動距離計測

視点の移動距離を計測するために、調理時の視点を検出する必要がある。そこで頭部に 1 台のカメラ (CCD カメラ: ソニー、XC-EI50) と鏡、瞳孔を撮影するための近赤外線 LED (Light Emitting Diode) (エピテックス、L870-06UP) を設置し、それぞれの位置や角度を工夫することで、目線方向の画像と鏡の反射を利用して得られた右目の画像を同時に取得することができる視点検出システムを作成した (図 4)。このシステムはカメラと鏡を頭部に固定するため、頭部が動いても右目の画像を撮影することができる。これを熟練者および非熟練者に装着して、あらかじめ調理前に視点を検出するための基準画像を撮影し、右目と視点位置の相対関係を測定しておくことで、調理時の視点検出および視点の移動距離計測を可能とした。

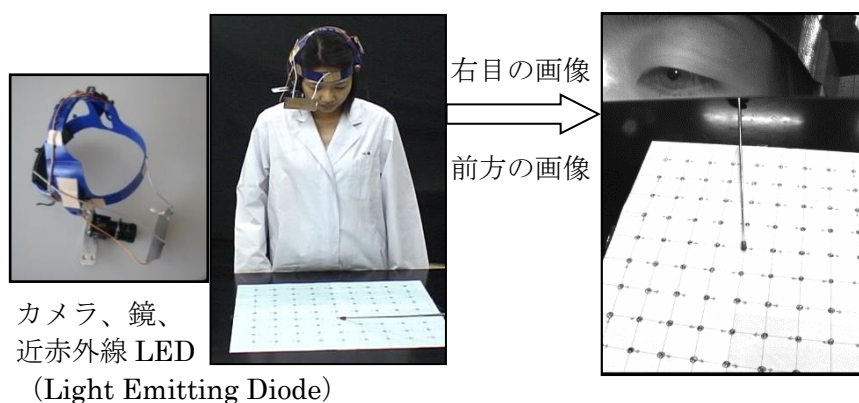


図 4. 視点検出システム

基準画像とは、目線方向の画像内に収まる縦 9 マス、横 9 マスの 5 cm 方眼を置き、すべての点を順に注視した状態を撮影した計 81 枚の画像である (図 5)。基準画像からは目線方向の画像内の指し棒から注視している点 (視点座標) がわかる画像と、その点を見ているときの右目の画像が得られる。そして基準画像の右目部分に画像処理を用いて瞳孔の重心座標を検出し、また基準画像から視点座標を求めた。さらに 5 cm 方眼の指し棒の位置から実際の視点位置を測定した。これを視点座標の 81 箇所で行い、それぞれの基準画像を得ることで、各点を注視したときの瞳孔の重心座標と視点座標、実際の視点位置の相対関係を検出した。

このように基準画像から得られた瞳孔の重心座標、視点座標、実際の視点位置の 3 つを視点検出の基準とし、調理時の視点位置を求めた。調理時に撮影した右目の画像に同様の画像処理を用いて瞳孔の重心座標を求め、先述の 81 枚の基準画像の中から瞳孔の重心座標と位置が最も近い画像を検出することで、その画像が注視している方眼の位置を調理時の視点位置として検出した（図 6）。これを調理時に撮影した 1 秒間 10 フレームの連続画像に対して行い、実際の視点位置の移動距離を総和することで視点の移動距離として計測した。このシステムを用いて、目配りを点数化するとともに、視点の移動距離を計測した（図 7）。

ごぼうを追加する作業が完了した後、調味液を入れてから火力を弱火に変更した後、火力を強火に変更した後と、調理工程が変わる 3 つの工程（表 2）において、視点検出システムを用いて視点の移動距離を計測した。このとき、作業終了後に目配りが通常になると確認した 10 秒後からの 10 秒間、つまりごぼう追加完了後（ごぼう追加に 10 秒要するため調理開始から 1 分 10 秒-1 分 20 秒）、弱火後（3 分 40 秒-3 分 50 秒）および強火後（4 分 35 秒-4 分 45 秒）を視点の移動距離計測の調査対象とした。そして 10 秒間の総移動距離が大きいほど目配りがされていると評価した。

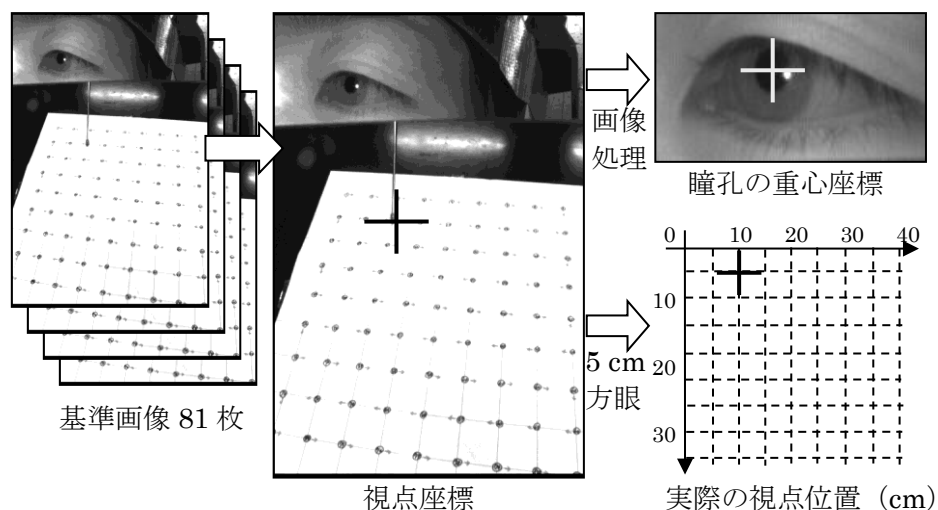


図 5. 基準画像による視点位置と右目の瞳孔座標検出

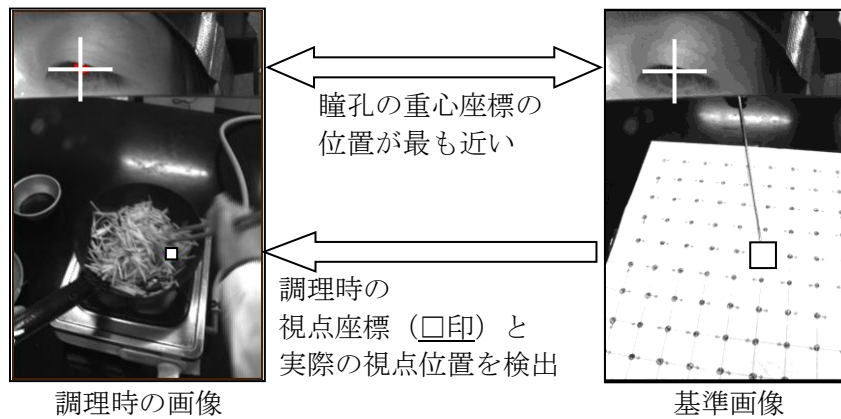


図 6. 調理時の視点位置検出

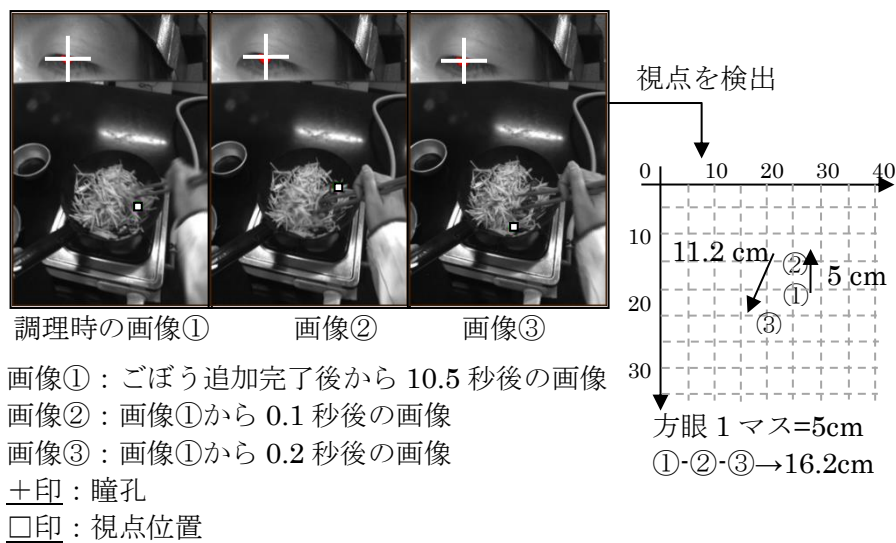


図 7. 視点の移動距離計測

(3) 統計処理

きんぴらごぼうの硬さ測定、塩分濃度測定における値の比較では、Duncan による多重比較を用いた。

2-3 結果

(1) おいしさの指標

できあがりのきんぴらごぼうの硬さを測定した結果、調味液を入れてから加熱時間 1 分では 9,644 Pa、2 分では 7,411 Pa、3 分では 5,357 Pa となり、分散分析で有意性を確認後、Duncan により多重比較を行ったところ、加熱時間が長くなるにつれてきんぴらごぼうの硬さは柔らかくなった ($p < 0.05$) (表 3)。

官能評価による硬さでも、合計順位において調味後加熱時間 1 分では 25、2 分では 38、3 分では 57 と、加熱時間が長くなるにつれてきんぴらごぼうは柔らかいと評価され、硬さ測定の結果と一致した。

また、官能評価にて好ましい硬さを調べた結果、調味後加熱時間 1 分では 47、2 分では 30、3 分では 44 となり、調味後加熱時間 2 分のきんぴらごぼうが最も好ましい硬さであると評価された。

以上の結果より、調味後加熱時間 2 分のきんぴらごぼうの硬さである $7,411 \pm 841$ Pa が最も好まれたことから、この硬さの値をおいしさの指標とした。

表 3. 加熱時間が異なるきんぴらごぼうの品質評価

品質評価	加熱時間（分）			
	1	2	3	
硬さ測定（Pa）	9,644 ± 1,134 ^c	7,411 ± 841 ^b	5,357 ± 610 ^a	
官能評価	硬い	25 ^a	38 ^a	57 ^b
	好ましい硬さ	47 ^b	30 ^a	44 ^{ab}

硬さ測定における値は平均値±標準偏差で表す (n=7)。

硬さ測定での異なるアルファベットは、Duncan の多重比較で加熱時間が異なるなるきんぴらごぼうの硬さの間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

官能評価における値は、硬い順、または好ましい硬さの順に 1 位、2 位、3 位と評価した際の合計である (n=20)。

官能評価での異なるアルファベットは、Newell & MacFarlane の検定表にて加熱時間が異なるきんぴらごぼうの硬さ、または好ましい硬さの間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

(2) 熟練者と非熟練者によるきんぴらごぼうの品質評価

熟練者および非熟練者が調理したきんぴらごぼうの硬さは、熟練者 A では 1 回目 8,304 Pa、2 回目 8,036 Pa、熟練者 B では 1 回目 7,232 Pa、2 回目 7,679 Pa となり、非熟練者 C では 1 回目 9,464 Pa、2 回目 9,643 Pa、非熟練者 D では 1 回目 11,250 Pa、2 回目 11,250 Pa であった(表 4)。非熟練者のきんぴらごぼうの硬さは標準偏差が比較的大きいことから、非熟練者はきんぴらごぼうのできあがりにバラツキがあり、調理技術に問題があることが推定できた。

熟練者と非熟練者のきんぴらごぼうの硬さをおいしさの指標とそれぞれ分散分析で有意性を確認した後、Duncan により多重比較した結果、非熟練者のみに有意差 ($p < 0.05$) が得られて熟練者とは有意差がないことから、熟練者によるきんぴらごぼうの硬さは好まれる硬さであることがわかった。

表 4. 熟練者・非熟練者のきんぴらごぼうの硬さおよびおいしさの指標との比較

硬さ (Pa)	1 回目	2 回目	おいしさの指標
熟練者 A	8,304 ± 1,181 ^a	8,036 ± 1,220 ^a	7,411 ± 841 ^a
熟練者 B	7,232 ± 1,391 ^a	7,679 ± 1,065 ^a	
非熟練者 C	9,464 ± 1,108 ^b	9,643 ± 2,249 ^b	
非熟練者 D	11,250 ± 2,474 ^b	11,250 ± 2,818 ^b	

値は平均値±標準偏差で表す (n = 7)。

異なるアルファベットは、Duncan の多重比較で作り手の異なるきんぴらごぼうの硬さとおいしさの指標の間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

また、塩分測定結果は、熟練者 A では 1 回目 1.95%、2 回目 2.01%、熟練者 B では 1 回目 2.01%、2 回目 1.93%に対して、非熟練者 C は 1 回目 1.88%、2 回目 1.82%、非熟練者 D は 1 回目 1.86%、2 回目 1.82%であり (表 5)、熟練者の方が調味液の塩分濃度 2.3%に近く、味の浸み込みが良いことを確認した。

表 5. 熟練者・非熟練者のきんぴらごぼうの塩分濃度の比較

塩分濃度 (%)	1 回目	2 回目
熟練者 A	1.95 ± 0.07 ^{cd}	2.01 ± 0.06 ^d
熟練者 B	2.01 ± 0.06 ^d	1.93 ± 0.02 ^{bcd}
非熟練者 C	1.88 ± 0.07 ^{abc}	1.82 ± 0.08 ^a
非熟練者 D	1.86 ± 0.05 ^{ab}	1.82 ± 0.06 ^a

値は平均値±標準偏差で表す (n=5)。

異なるアルファベットは、Duncan の多重比較で作り手の異なるきんぴらごぼうの塩分濃度の間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

(3) 目配りの数値化

1) 第三者による調理時の目配りの点数化

第三者により目配りを点数化した結果、熟練者 A は 7 点から 10 点、熟練者 B は 8 点から 10 点に対し、非熟練者 C は 3 点から 4 点、非熟練者 D は 1 点から 4 点となり、非熟練者に比べて熟練者の点数の方が高かったことから、熟練者は調理時に常に目配りをしていることが確認できた（表 6）。これにより、熟練者の方が非熟練者よりも炒め調理で重要とした場所である、フライパン中央部分および底面と側面の境界線に目配りをしていることが確認でき、目配りと調理技術は関連があることがわかった。

表 6. 第三者による調理時の目配りの点数

	点数(点)							
	1 回目				2 回目			
	調味前		調味後		調味前		調味後	
熟練者 A	8	7	8	9	8	8	9	10
熟練者 B	9	8	8	9	8	9	10	8
非熟練者 C	4	3	3	3	4	3	4	4
非熟練者 D	3	1	4	1	2	4	4	3

値は、目配りの合計点である（n=10）。
非熟練者より熟練者の方が点数は高い。

2) 画像処理による視点移動距離計測

画像処理による視点移動距離の結果は、熟練者 A は 302 cm から 387 cm、熟練者 B では 192 cm から 312 cm であったのに対して、非熟練者 C は 67 cm から 155 cm、非熟練者 D は 111 cm から 158 cm となり、非熟練者より熟練者の方が常に視点移動距離が長かった(表 7)。この結果は熟練者の方が調理過程において 10 秒間の総移動距離が大きく、視点がフライパンの中をより多く移動していること、つまり目配りの頻度が高いことを示している。

第三者による目配り点数化および画像処理による視点移動距離計測において、いずれも調理技術に優れている熟練者の方が調理過程において重要とした場所に、そして高い頻度で目配りをしていることが定量的に確認できた。

以上の結果から、目配りと料理のできあがりの間に、また調理技術と目配りの間に明らかな関連が存在した。

すなわち、料理のできあがりに影響する調理技術評価の指標の 1 つとして目配りに着目し、炒め調理の場合はフライパン中央や側面との境目付近への目配り頻度と視点移動距離を定量化することが有効であることが示唆された。

表 7. 画像処理による視点移動距離計測

		視点移動距離 (cm)		
		ごぼう追加後	弱火後	強火後
計測時間 (分:秒)		1:10-1:20	3:40-3:50	4:35-4:45
熟練者 A	1 回目	302	381	380
	2 回目	341	377	387
熟練者 B	1 回目	303	272	192
	2 回目	202	302	312
非熟練者 C	1 回目	138	105	155
	2 回目	124	120	67
非熟練者 D	1 回目	139	148	111
	2 回目	126	145	158

値は、視点検出システムにより計測した視点移動距離 (cm) である (10 秒間の合計距離)。

非熟練者より熟練者の方が調理時 10 秒間における視点移動距離は長い。

2-4 考察

おいしい料理を作るためには、食材の選択、調理をするための下準備、調理工程、盛り付けなどが考えられるが、本章では、調理工程における目配りに注目した。そのために、調理熟練者が工程中にどのような目配りを行っているのか、目の動きを観察し、目配りと料理のできあがりの関係を調べた。

その結果、調理熟練者は調理過程で重要となる場所を見ることと、目を大きく動かし全体的にごぼうの状態を把握することで、調味液が浸透した好ましい硬さのきんぴらごぼうを作ることができたと考えられた。これより、調理時の目の動きは調理技術の一つであること、炒め調理においてフライパンの中央や側面と底面の境目付近へ目を動かす頻度と視点の移動距離の定量化は調理技術を評価する手法として有効であるということが明らかとなった。

また目配り評価において、第三者による目配りの点数化は評価者の主観や曖昧さが入る可能性があるが、本研究によって画像処理による視点移動距離計測でも同様の結果が得られ、画像処理による評価方法の有効性を確認した。

そして、これまでの調理技術の向上を指導する際に用いる指標として技法や調理手順、タイミングが挙げられるが、さらに新たな指導手段として「目配り」を加えることが可能であると示唆された。

調理経験が異なる者として、調理の講義を担当する 30 代女性と 50 代女性の熟練者と、一般的な 20 代女性と 30 代女性の非熟練者が同じ手順で炒める作業を行ったが、調理経験を熟練者と非熟練者だけでなく、さらに調理経験や実務経験の期間が異なる比較対象を増やして研究を行うことで、目配りによる調理技術評価方法のさらなる実証が期待できる。

第3章 調理中の目配りが料理の品質に及ぼす影響 -加熱攪拌調理における目配り技術と指導に関する研究-

3-1 目的

調理技術の向上を図るには調理を繰り返すことが有効であることが報告されている^{1,2)}が、経験の積み上げには時間を要する。調理教育では時間が限られるため、短時間で技術向上を期待できる指導手段が必要である。

第2章において、基本的な加熱調理である「炒める（きんぴらごぼう）」について、調理中の目配りがきんぴらごぼうのできあがりに影響を及ぼすことを目配り技術の定量化の実現とともに報告した。本章では、加熱調理「炒める」と同様に人による手作業が多い基本的な加熱調理法であり、調理過程の統一が可能な練り調理に着目し、ごま豆腐を料理例として設定した。そして調理技術の1つである目配り技術の指導による技術の向上が、できあがりの品質に及ぼす影響を明らかにし、調理指導手段としての目配り技術の有意性について調査、検討した。

3-2 方法

(1) 材料および試料調製

ごま豆腐の調理における分量を表 8 に、手順、攪拌速度等の調理条件を表 9 に示す。調理方法は、和食料理を専門とし、調理専門学校で教鞭をとっている料理人の方法に基づき葛濃度は 6.6%とし、加熱時間とごま豆腐の硬さに関する予備実験の結果（表 10）から、加熱時間を 10 分とした³⁾。

調理には、直径 22 cm、高さ 9.7 cm、厚さ 2.5 mm のアルミ製円形両手鍋と木製調理ヘラ（ヘラ先斜め、幅 6.5 cm、全長 29.4 cm）を使用した。そしてガスコンロ（リンナイ、RTS-1N）を用いて、ガス流量計（コフロック、フロート式、MODEL RK1200）によりガス流量を 1.30 L/min に固定して加熱調理し、縦 112 mm、横 112 mm、高さ 50 mm の型（プラスチック製）にいれた後、20℃インキュベーターで 15 時間保存した。

調製者は熟練者 2 名と非熟練者 2 名とし、加熱調理と型入れを 2 回繰り返した（表 9）。熟練者は大学で調理の指導を担当している 30 歳代女性と 50 歳代女性の 2 名、非熟練者は一般の 20 歳代女性である。

表 8. ごま豆腐の分量

材料		ごま豆腐の分量 (g)	
		葛濃度 6.6%	葛濃度 6.1%
葛粉		50	46
調味液	蒸留水	500	504
	しょうゆ	2.4	2.4
練りごま		100	100
清酒		100	100
材料合計		752.4	752.4
できあがり重量*		560.4 ± 1.3	560.7 ± 1.2

*できあがり重量の値は平均値±標準偏差で表す（n=11）。

表 9. ごま豆腐の調理条件

調理条件		目配り技術 測定時間	
調理時間	調理過程	第三者	画像処理
(下準備)	葛粉と調味液の半分をボウルに入れ、 攪拌する* ¹ ふるい* ² で濾し、鍋へ入れる 残りの調味液をボウルに入れ、ふるいで濾 し、鍋へ入れる 清酒をあわせる		
0 分 00 秒	(加熱調理) 火をつけ、攪拌する* ³	0 分 45 秒	
3 分 00 秒	攪拌速度を速くする* ⁴	2 分 45 秒	2 分 45 秒
		4 分 45 秒	～2 分 55 秒
		6 分 45 秒	
10 分 00 秒	(型入れ) 火を消し、型にごま豆腐を入れる (保存) 冷やし固める	8 分 45 秒	

*1 攪拌速度 2 回/秒、攪拌回数 50 回

*2 16 メッシュのふるい（木杵本馬毛うらごし、直径 24 cm×高さ 11 cm）を使用

*3 攪拌速度 1 回/秒

*4 攪拌速度 4 回/秒

表 10. 加熱時間が異なるごま豆腐の硬さ

加熱時間	5 分	10 分	15 分	20 分
硬さ測定 (Pa)	2,149 ± 89 ^a	1,894 ± 60 ^a	2,955 ± 322 ^b	3,889 ± 184 ^c

値は平均値±標準偏差で表す（n=6）。

異なるアルファベットは、Tukey の多重比較で有意差（ $p < 0.05$ ）があることを示す。

(2) ごま豆腐の評価

1) 硬さ

ごま豆腐の硬さは、予備実験より硬さに有意差 ($p < 0.05$) がないことを確認した中央 4 箇所から直径 20 mm、高さ 20 mm の円柱型に採取したもの測定した (図 8)。測定条件は、クリープメーター (山電、RE2-33005B) にてプランジャーは直径 40 mm 円形、測定速度 1 mm/sec、圧縮率 40% の条件で測定した⁴⁾。これを 2 回行い、得られた 8 つの値のうち、最大値、最小値を省いた 6 つを試料とし、その平均を硬さの値とした。

また加熱攪拌中における硬さは、ゾル状態のものもあることから、直径 60 mm、高さ 20 mm の容器に高さ 15 mm までごま豆腐を入れクリープメーターで測定した。加熱攪拌過程のゲル状態から凝固状態の硬さを測定するために測定速度を 5 mm/sec⁵⁾とした。

2) 糊化度測定

ごま豆腐の品質をグルコアミラーゼ法による葛でんぷんの糊化度より調べた^{6,7)}。

3) 組織観察

ごま豆腐の葛でんぷんの糊化状態を、走査電子顕微鏡 (日本電子、JSM6360LV) で観察した。観測条件は、加速電圧を 15 kV、作動距離を 10 mm、倍率 5,000 倍で行った。

4) 官能評価

官能評価について訓練をした 20~30 歳代の延べ 15 名をパネルとし、3 点識別嗜好試験法で好ましい硬さについて調べた。

官能評価に用いたごま豆腐の葛濃度は 6.6% と 6.1% とし、採取場所は予備実験より硬さに有意差 ($p < 0.05$) がないことを確認した 9 箇所を用いた (図 8)。葛濃度は熟練者、非熟練者が作製したごま豆腐の硬さを、葛濃度と硬さから作成した相関式 (図 9) より求めた。

官能評価はヘルシンキ宣言の精神を遵守した上で、パネルにインフォームドコンセントを行い、評価参加への承諾を得た後に実施した。

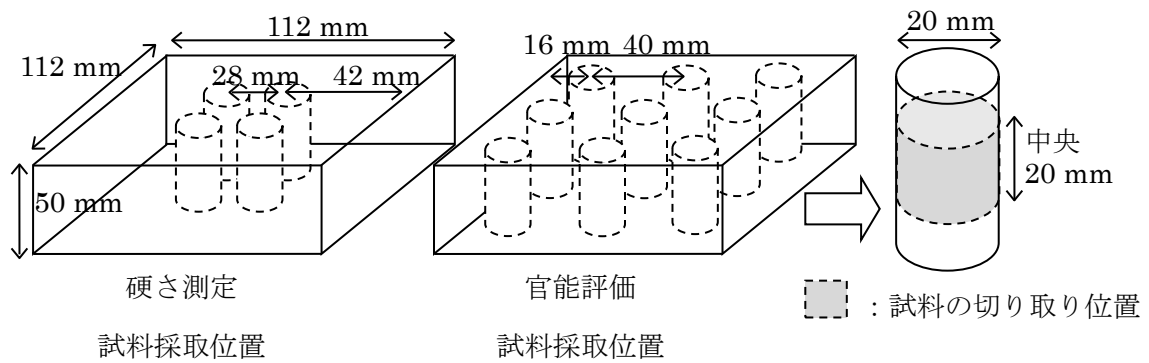


図 8. ごま豆腐の試料

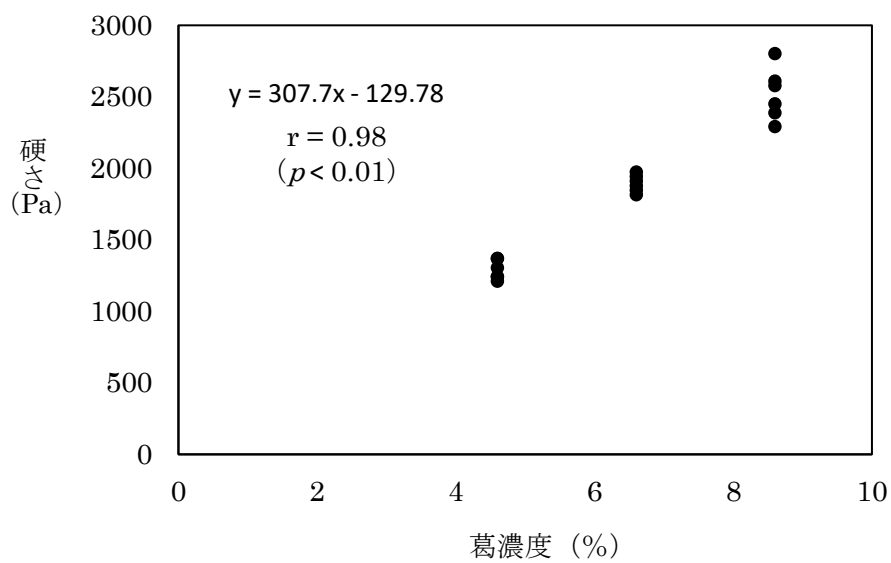


図9. 葛濃度とごま豆腐の硬さの関係

葛濃度4.4%、6.6%、8.6%のごま豆腐の硬さからグラフを作成 (n=6)。

(3) 目配り技術評価

1) 測定時間と場所に関する予備実験

目配り技術の評価をするにあたり、加熱攪拌時間及び鍋内の温度がごま豆腐のできあがりに影響を及ぼすと考え、測定時間と鍋内の温度分布について検討を行った。

測定時間は加熱開始後の時間とごま豆腐の硬さを検討した結果（図 10）、2 分 40 秒から 2 分 50 秒でごま豆腐の硬さが硬くなった（ $p < 0.05$ ）ことからその中間の 2 分 45 秒をできあがりのごま豆腐の品質に影響する時間と考え、これを測定時間とした。

目配り技術の配点場所を検討するために、2 分 45 秒経過時の鍋の温度分布をサーモグラフィ（アイ・アール・システム、MobIR M2）で測定した。その結果、鍋の側面付近と中央部分が高温になった（図 11）。均等に加熱攪拌するためには、高温となる鍋の側面付近と中央部分および鍋全体を把握する必要があることを確認した。

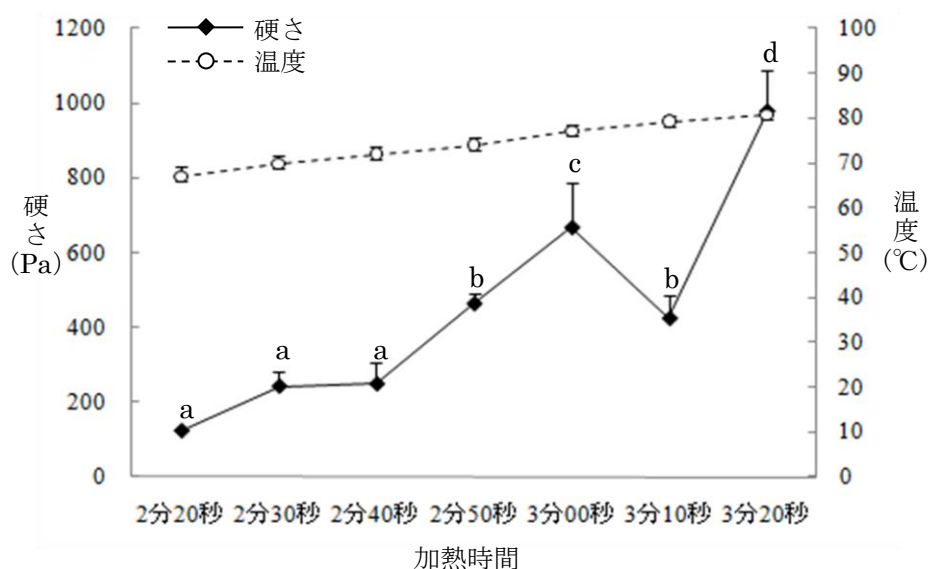


図 10. 調理時のごま豆腐の硬さと温度変化

値は平均値±標準偏差で表す（ $n=5$ ）。

異なるアルファベットは、Tukeyの多重比較で有意差（ $p < 0.05$ ）があることを示す。

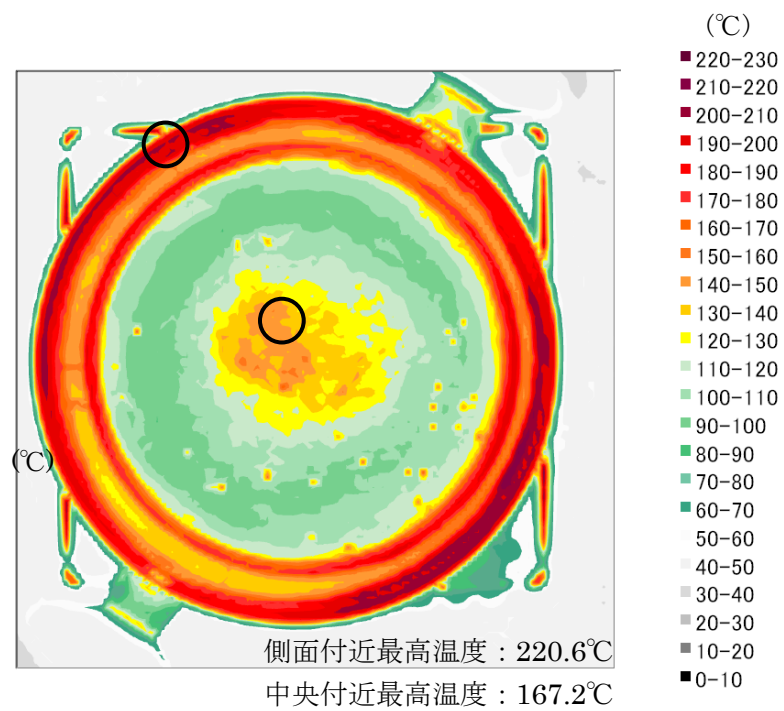


図 11. 2 分 45 秒経過時の鍋の温度分布

2) 目配り技術の点数化

目配り技術の点数の測定時間は、2分45秒を基準とし、0分45秒、2分45秒、4分45秒、6分45秒、8分45秒の5つの測定時間とした。配点場所は調製者が鍋全体の把握をしているか確認するために、鍋側面の上付近、下付近、左付近、右付近と、中央部分の5箇所とした（図12）。そして測定時間に目配り、すなわち視線が10回動く様子を第三者が記録した。鍋全体を等しく把握しているかを確認するために、5箇所のうち視点移動が最も少ない箇所の回数を点数とした。これを5つの測定時間で繰り返し行い、合計点を目配り技術の点数として評価した。

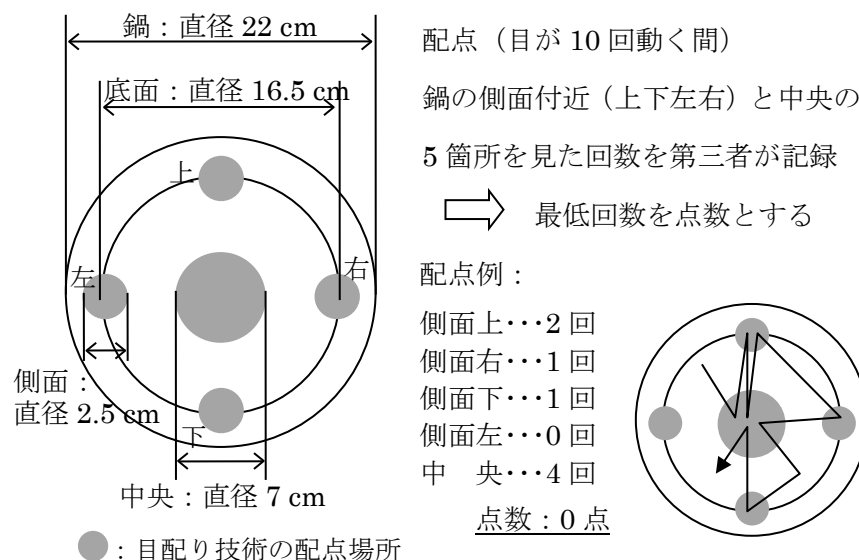


図 12. 目配り技術の点数化

3) 画像処理による目配り頻度

画像処理による目配り頻度の測定は、第2章による視点検出システム（CCDカメラ：ソニー、XC-EI50 LED：エpiteックス、L870-06UP）を用いた視点移動距離計測方法を適用した。調理時に撮影した1秒10フレームの連続画像から視点位置の移動距離を総和することで、視点の移動距離を測定した。そして目配り技術の点数化と同様に、できあがりのごま豆腐の品質に影響する時間である2分45秒から10秒間とした。

(4) 目配り技術指導内容と再評価

調理技術としての目配り技術の有効性を確認するために、熟練者の目配り技術を非熟練者に指導することで、できあがりの品質に及ぼす影響を調べた。目配り技術の指導内容は、「鍋の側面の上付近、下付近、左付近、右付近と中央部分の 5 箇所を繰り返し見ること」と、「加熱攪拌の 10 分間に常に 5 箇所見ること」の 2 つとした。また、指導の際には、5 箇所を見る必要がある理由として、鍋が高温になる箇所であることを説明した。そして指導の有無による影響を明らかにするために、非熟練者 4 名のうち 2 名のみに目配り技術を指導し、指導前、後それぞれ 2 回ずつ作製したごま豆腐と目配り技術を評価した。

(5) 統計処理

硬さ測定、糊化度測定における値の比較では、Tukey による多重比較を用いた。

3-3 結果

(1) 熟練者と非熟練者によるごま豆腐の作製

1) ごま豆腐の評価

熟練者が作製したごま豆腐の硬さは 1,905 Pa、1,936 Pa と非熟練者の 1,761 Pa、1,788 Pa に比べ硬く ($p < 0.05$) (表 11)、糊化度は熟練者が 90%、93%と非熟練者に比べ高かった (表 11)。組織観察において熟練者が作製したごま豆腐は非熟練者よりも生でんぷんが少ない (図 13) ことから、より糊化した状態であったと考えられる。

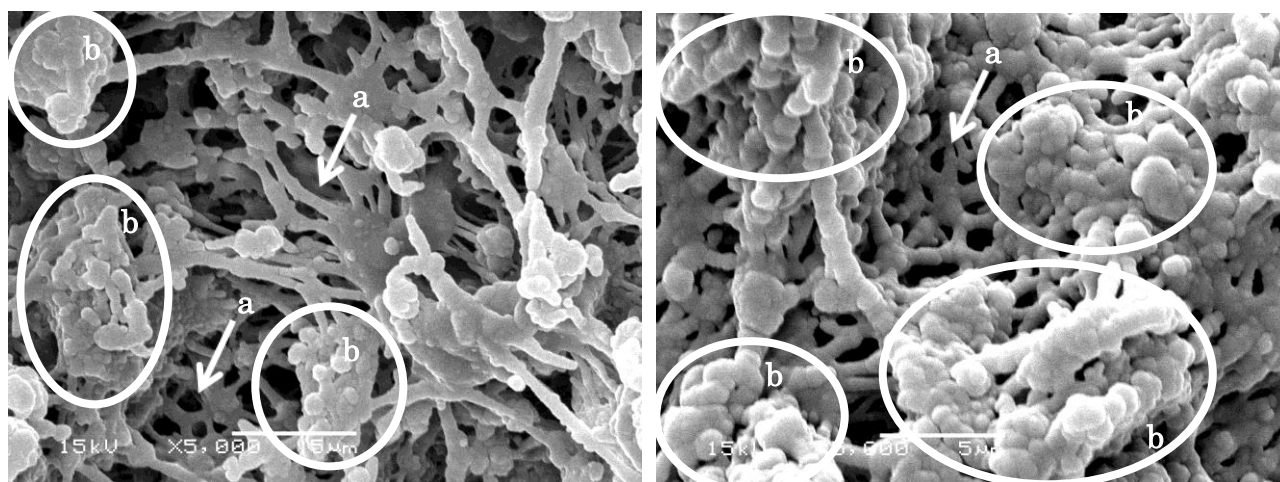
官能評価では、延べ 15 名のパネルのうち品質が識別できた 11 名を対象に好ましい硬さを調べた。熟練者が作製したごま豆腐の硬さ (葛濃度 6.6%) は、非熟練者が作製した硬さ (葛濃度 6.1%) のごま豆腐に比べ有意 ($p < 0.001$) に好まれた (表 12)。非熟練者は一定の硬さのごま豆腐を作製することが困難であり、調理の繰り返しで技術向上の可能性がある。本研究は葛濃度を熟練者と有意差のない 6.6%、非熟練者と有意差のない 6.1%に変えて同一者が作製することで、熟練者、非熟練者が作る硬さと同じごま豆腐を官能評価試料とした。

表 11. 熟練者および非熟練者によるごま豆腐の硬さと糊化度

	硬さ (Pa)	糊化度 (%)
熟練者 A	1,905 ± 47 ^b	90 ± 2 ^{bc}
熟練者 B	1,936 ± 24 ^b	93 ± 3 ^c
非熟練者 C	1,761 ± 48 ^a	82 ± 4 ^a
非熟練者 D	1,788 ± 24 ^a	86 ± 6 ^{ab}

硬さ、糊化度の値は平均値±標準偏差で表す (n=6)。

硬さ、糊化度における異なるアルファベットは、Tukey の多重比較で調理者の間に有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。



熟練者 A

非熟練者 C

走査電子顕微鏡観察条件：加速電圧 15kV、作動距離 10 mm、倍率 5,000 倍

a : 葛でんぷんの糊化による網目構造

b : 葛でんぷんの糊化による網目構造が不十分な箇所

図 13. ごま豆腐の組織構造

表 12. 葛濃度が異なるごま豆腐の官能評価

	硬さ (Pa)	官能評価
		好ましい硬さ
葛濃度 6.6%	1,905 ± 47	9***
葛濃度 6.1%	1,814 ± 53	2

硬さの値は平均値±標準偏差で表し (n=6)、葛濃度 6.6%は熟練者 A、B と、また葛濃度 6.1%は非熟練者 C、D と、Tukey の多重比較で有意差 ($p < 0.05$) がないことを確認した。

好ましい硬さの値は、好ましい硬さを選択した合計値である (n=11)。

***は、3 点識別嗜好試験法の検定表より葛濃度 6.6%および 6.1%を好ましい硬さとした人数の間に有意差 ($p < 0.001$) があることを示す。

2) 目配り技術評価

第三者による熟練者の目配り技術評価の点数は 11 点、13 点に対し、非熟練者は 7 点、4 点と熟練者の方が目配り技術の点数が高くなった（表 13）。

画像処理による視点移動距離計測も熟練者は 246 cm、254 cm に対して、非熟練者は 123 cm、126 cm と熟練者の視点移動距離が長い結果となった（表 13）。これより熟練者は非熟練者に比べ 10 秒間に鍋内を長く移動していることから、熟練者は目配りの頻度が高いことを確認した。

以上、できあがりの品質評価および目配り技術評価から、ごま豆腐の作製において目配り技術の評価が高いとごま豆腐の品質は高くなることを確認した。

表 13. 熟練者および非熟練者の目配り技術評価

	目配り技術	
	点数（点）	視点移動距離（cm）
熟練者 A	11	246
熟練者 B	13	254
非熟練者 C	7	123
非熟練者 D	4	126

点数は、第三者による調理時の目配り技術を点数化した際の合計点である（n=10、満点 20 点）。

距離値は、視点検出システムにより計測した視点移動距離（cm）である。

(2) 目配り技術指導後の再評価による効果判定

1) ごま豆腐の評価

非熟練者 C は指導前である 1 回目 1,761 Pa と熟練者に比べて有意 ($p < 0.05$) に軟らかいごま豆腐であったのが、指導を受けることにより 1,889 Pa となり (表 14)、熟練者 A、B と統計的に同じ硬さのごま豆腐を作ることができた。また、糊化度についても硬さと同様に指導前はごま豆腐の糊化度が小さかったが、指導により熟練者と統計的に同じ糊化度のごま豆腐を作製することができた。非熟練者 D についても非熟練者 C と同様の結果であり、目配り技術の指導はごま豆腐の品質評価を高くする効果がみられた。

一方、指導を受けなかった非熟練者 E、F は調理 1 回目と 2 回目のごま豆腐の硬さの間には有意差 ($p < 0.05$) はなく、熟練者 A、B より有意 ($p < 0.05$) に軟らかくなった。しかし、非熟練者 E、F の 1 回目と 2 回目の糊化度と熟練者の糊化度との間に違いが見られなかった。

表 14. 指導の有無によるごま豆腐の硬さと糊化度

	目配り技術 指導	硬さ (Pa)		糊化度 (%)	
		1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
非熟練者 C	有	1,761 ± 48 ^a	1,889 ± 82 ^b	82 ± 4 ^a	92 ± 2 ^b
非熟練者 D	有	1,788 ± 24 ^l	1,899 ± 69 ^m	86 ± 6 ^l	91 ± 2 ^{mn}
非熟練者 E	無	1,783 ± 45 ^o	1,751 ± 122 ^o	87 ± 5 ^o	89 ± 6 ^o
非熟練者 F	無	1,698 ± 43 ^x	1,719 ± 105 ^x	87 ± 8 ^{xy}	84 ± 6 ^x
熟練者 A	-	1,905 ± 47 ^{b,m,p,y}		90 ± 2 ^{b,mn,o,xy}	
熟練者 B	-	1,936 ± 24 ^{b,m,p,y}		93 ± 3 ^{b,n,o,y}	

目配り技術指導を行った非熟練者 C、D の 1 回目は指導前、2 回目は指導後を示す。

硬さ、糊化度の値は平均値±標準偏差で表す (n=6)。

各調製者の硬さ、糊化度における異なるアルファベットは 1 回目、2 回目、熟練者 A、熟練者 B の間で Tukey の多重比較により有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

2) 目配り技術評価

目配り技術の点数では、指導を行った非熟練者 C は指導前 7 点から指導後 11 点、また非熟練者 D は 4 点から 8 点となり、平均 4 点高くなった（表 15）。これに対して、指導を受けなかった非熟練者 E、F は平均 0.5 点減少となり、大きな変化はみられなかった。

画像処理による視点移動距離計測（表 15）では、非熟練者 C は指導前 123 cm から指導後 167 cm、非熟練者 D は 126 cm から 231 cm と移動距離が大きくなった。しかし、指導を受けなかった非熟練者 E は 99 cm、100 cm となり、移動距離に大きな変化はなかった。また非熟練者 F は 203 cm、128 cm と 2 回目の移動距離が小さくなる結果となった。非熟練者 F の 1 回目が大きくなったのは、不慣れによる細かな目の動きが起こったためであり、2 回目の移動距離は小さく目配り技術の点数が 1 回目、2 回目のどちらも低いことから目配りができていないことを確認した。

人間は視覚刺激や目的を与えられたときに次の視点位置が決定する⁸⁾と報告があることから、以上の結果より、熟練者の目配り技術として目配りの場所と理由を指導することで、目配り技術の向上が確認でき、それに伴い、できあがりの品質である硬さや糊化度が有意 ($p < 0.05$) に向上したことを確認した。

表 15. 指導の有無による目配り技術評価

目配り技術 指導		目配り技術評価			
		点数（点）		視点移動距離（cm）	
		1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
非熟練者 C	有	7	11	123	167
非熟練者 D	有	4	8	126	231
非熟練者 E	無	7	6	99	100
非熟練者 F	無	5	5	203	128

点数は、第三者による調理時の目配り技術を点数化した際の合計点である（n=10、満点 20 点）。

距離値は、視点検出システムにより計測した視点移動距離（cm）である。

3-4 考察

熟練者と非熟練者の比較から目配り技術が品質に影響し、目配り技術の指導によりごま豆腐の品質が向上することを確認した。また、熟練者の目配り技術から、高温となる場所に目を配ることが品質に影響することから明らかとなった。高温となる場所を繰り返し見るという指導を受けることで、非熟練者は高温となる場所に視線が移動するようになり、ごま豆腐の品質が向上した。第 2 章の結果もふまえ、加熱調理では高温となる場所を見るという目配り技術指導は有効な手段であることが示された。

第4章 揚げ過程の視覚情報による天ぷらの品質評価 の検討ーたんぱく質食品（えび）を例としてー

4-1 目的

料理のできあがりの品質は、用いる食材や器具などが同じ条件であっても、調理を行う人によって異なる。これは調理経験に基づく料理の状態の把握方法や仕上げるタイミングなどが料理の品質に影響を及ぼすためと考えられる。

調理経験の違いが料理の状態の把握方法に影響を及ぼすことについて、第3章のごま豆腐の加熱攪拌調理「練る」において、熟練者は非熟練者に比べて高温となる場所を繰り返し見ており、それが品質に影響を及ぼすことを報告している。また、仕上げるタイミングについて、天ぷらの揚げ終わりのタイミングが熟練者は余熱を計算にいれて揚げ終えていることを石川ら¹⁾は報告している。

このように調理経験に基づく調理中の料理の状態の把握の違いや仕上げるタイミングの違いは、料理の品質に影響を及ぼし、特に加熱時の変化を適切に把握することは料理の品質を大きく左右する。加熱時の変化は、調理する人の視覚や嗅覚、聴覚などによって捉えられるが、いつ、どのように何の状態を把握するかが調理経験によって異なるものと考えられる。

食材中の成分として、自由水は料理のできあがりの硬さや澱粉の糊化に影響を及ぼし、結合水はたんぱく質の熱凝固に関わる²⁾ことから、食材中の水分挙動は料理の品質に大きな影響を及ぼす。生育条件の違いなどで食材に含まれる水分量が異なると、同様の火力や加熱時間で調理しても料理のできあがりの品質は異なってしまう。加熱時の食材中の水分挙動を的確に把握することができれば、それに合わせて加熱時間などを調整し、品質の安定した料理を得ることができる。

そこで本研究では、加熱時の食材の水分挙動を視覚的に把握することを試みた。加熱媒体としての水の影響を避けるために「揚げる」調理の天ぷらを用い、加熱中の油面における水分蒸発の様子を水分挙動の視覚的指標とした。この視覚的指標により料理のできあがりの品質を評価することができるのか、油面の様子の変化と天ぷらの品質の関係を明らかにすることを目的とした。

4-2 方法

(1) 天ぷら

1) 試料作製

天ぷらの材料として、使用頻度が高いえびを用いた。えび（バナメイエビ 14 ± 2 g）に衣をつけ、 180°C の油（日清オイリオ、食用なたね油）で 150 秒加熱し、天ぷらを作製した。その時の油の温度変化は図 14 に示す通りである。衣は 15°C の卵水 50 g（卵：水=1：3）に薄力粉（日清製粉）30 g を加え、菜箸 4 本で 40 回攪拌（1 回/秒）して作製したものを用い、6 g 添付するようにした。

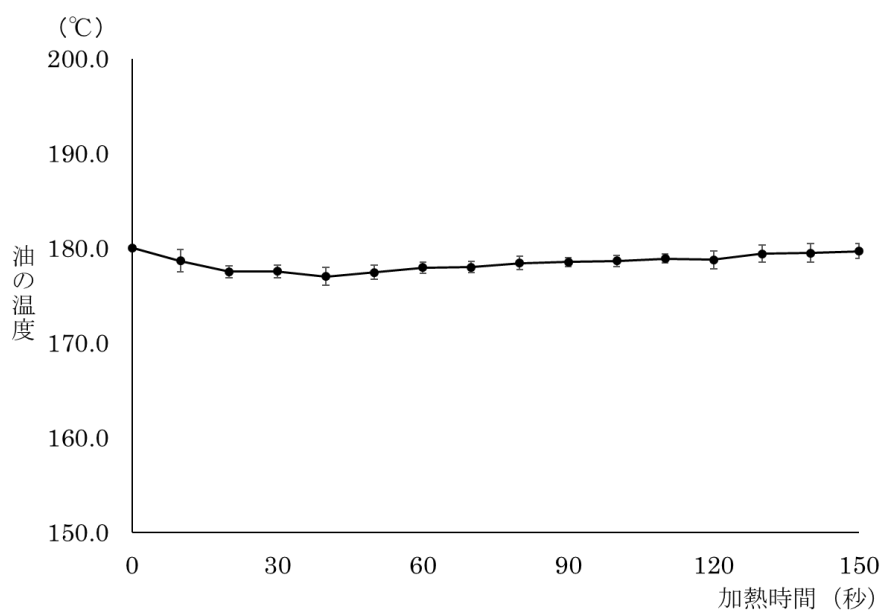


図 14. 揚げ過程における油の温度変化

値は 5 つの値の平均値 $\pm$ 標準偏差で示す。

2) 天ぷらの性状

加熱 0 秒から 150 秒まで 30 秒毎に天ぷらからの水分の蒸発量を重量変化から測定した。また、えびと衣の硬さ、水分量、およびえびの水溶性たんぱく質量の変化を調べた。

①えび

a.硬さ

硬さはクリープメーター（山電、REONER II -33005S）で測定した。加熱直後のえびの天ぷらから衣を除き、頭部側から 0.5 mm から 15 mm（厚さ 10 mm）の部位を試料とした。測定条件はプランジャー 5 mm 円柱型、測定速度 0.5 mm/s、圧縮率 10%とした。

b.水分量

試料中の水分量は常法（105℃）にて測定した。

c.水溶性たんぱく質量

水溶性たんぱく質量は Lowry 法で、構成タンパク質の変化は、電気泳動法（sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis、SDS-PAGE）から調べた。

えび 2.5 g に phosphate-buffered saline (PBS) を 15 mL 加え、ホモジナイズ後、4℃で 20 時間振とう後、遠心分離（4℃、9800 g、10 分）し得られた上清を回収した。この操作をもう 1 回繰り返して得られた上清を混和し、40 mL に調整したものを試料とした。水溶性たんぱく質が加熱により不溶化したことを確認するために、水溶性たんぱく質抽出後の残渣に 4% SDS、6 mol/L 尿素、及び 5% 2-メルカプトエタノールを含むトリス緩衝溶液（pH 6.8）を 15 mL 加え、水溶性たんぱく質と同様の方法で上清を回収し、不溶性たんぱく質を抽出したものを試料として SDS-PAGE に用いた。SDS-PAGE のゲルは 15%ポリアクリルアミドゲルを用い、Coomassie Brilliant Blue（CBB）で染色した。

②衣

a.破断応力

サクサク感として衣の破断応力を測定した。破断応力は、クリープメーター（山電、REONER II -33005S）で測定した。加熱直後のえびの天ぷらからはがした衣を 10 mm×10 mm に調製したものを試料とした。測定条件はプランジャー 3 mm 円柱型、測定速度 0.5 mm/s、圧縮率 99%とした。

b.水分量

えびと同様の方法を用いた。

3) 官能評価

20 歳代男女 30 名をパネルとし、180℃で 90 秒、120 秒、150 秒加熱したえびの天ぷらを順位法により官能評価した。

評価項目はえびの「好ましい硬さ」「好ましいみずみずしさ」、衣の「好ましいサクサク感」、えびの天ぷらの「総合的なおいしさ」とした。

官能評価については中部大学研究倫理委員会の許可を得て行った（承認番号 20220019-3）。

4) 統計処理

加熱時間の違いによる影響については、Tukey の多重比較を行った。統計処理には IBM SPSS Statistics28 を用い、危険率が 5%以下のとき有意であるとみなした。また、えびの硬さと水分量の関連性を調べるために、ピアソンの相関係数を算出した。

官能評価結果は、Newell&MacFarlane の順位法のための検定表を用い、危険率 5%以下のとき有意であるとみなした。

(2) モデル化による天ぷら

1) 試料作製

加熱中の天ぷらのえびや衣の性状変化を水分から把握するために、衣を重水 (H_2^{18}O) で調製した天ぷらを揚げ、天ぷらの衣とえびに含まれる水 (H_2^{16}O) と重水 (H_2^{18}O) の重量変化から調べた。

重水は高価であり、多量に使用することが難しかったため、天ぷらの大きさを小さくして試料を作製した。

試料は、えび (厚さ 1 cm、重さ 3 g) に 15℃の重水 (Sigma-Aldrich、97atom% ^{18}O) 1.8 g、薄力粉 (日清製粉) 1 g を加え、ガラス棒で 15 回攪拌 (1 回/秒) して作製した生衣をつけ、180℃で加熱した。加熱時間は、4・2. (1) 1)の試料作製で作製したときの加熱 30 秒、60 秒、90 秒、120 秒、150 秒とえびの硬さが同じになるように 17 秒、31 秒、52 秒、74 秒、90 秒とし、この時のそれぞれ設定した時間の硬さ間に有意差 ($p < 0.05$) がないことを確認した (図 15)。

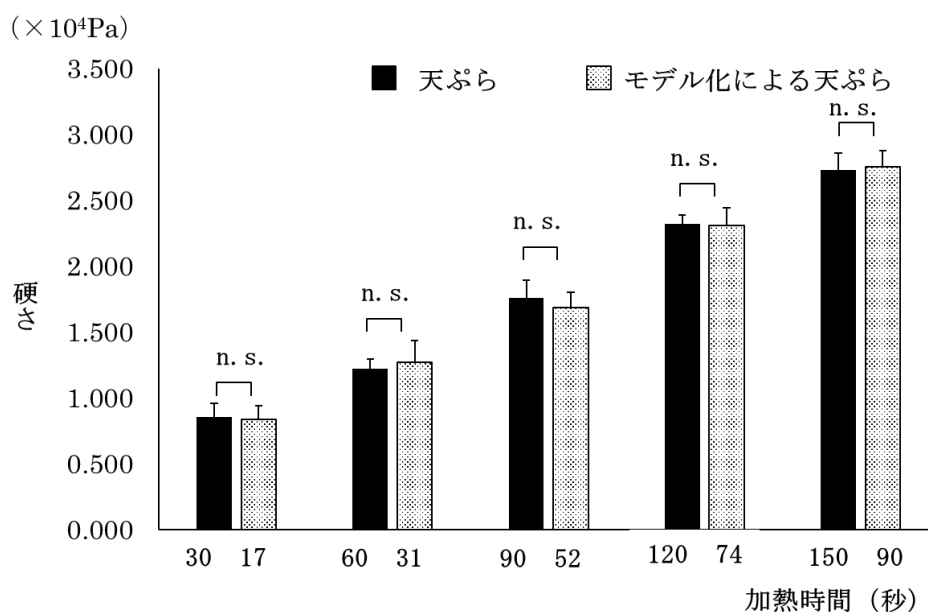


図 15. モデル化した天ぷらのえびの硬さ

値は 5 つの値の平均値 $\pm$ 標準偏差で示す。

n.s.は、t 検定を行った結果、5%の危険率で有意差がなかったことを示す。

2) 天ぷらの水分挙動

天ぷらの衣とえびに含まれる水 (H_2^{16}O) と重水 (H_2^{18}O) の重量変化を GC-MS で測定した。

GC-MS (Agilent technologies、6890 GC System、5973 MSD) は、熱分解装置 (フロンティア・ラボ、EGA/PY-3030D) が GC 本体に直結した機器を使用した。測定条件は熱分解装置の温度は 150°C 、注入口温度は 200°C 、カラム温度は 150°C 、インターフェイス温度は 200°C とし、キャリアガスは He を用いた。カラムはステンレス製のキャピラリーカラム (フロンティア・ラボ、Ultra ALLOY-PY1、30 m×内径 0.25 mm、内膜 0.25 μm (polydimethylsiloxane)) を用いた。カラムは分離機能を使わず、トランスファーラインとして使用した。試料を熱分解装置に投入し、水 (H_2^{16}O) と重水 (H_2^{18}O) のピーク面積から、試料に含まれる水と重水の割合を算出することで、水分の挙動 (移動) の推定を行った。

(3) 揚げ過程における油面の様子

天ぷらを揚げている時の油面の様子をカメラ (Canon、SX740 HS) で撮影し、加熱 30 秒毎の画像を画像処理した。

撮影した画像を画像レタッチソフト (JTrim、フリーソフト) を使って 2 値化処理し、輝度値 255 (白色) の画素数を調べた (図 16)。2 値化処理する際のしきい値は中間値の 128 とした。油面に気泡が出現すると油面が揺らぎ、2 値化した際の白色の面積が増えることから、輝度値 255 (白色) の画素数が多いほど気泡が出現していると評価した。

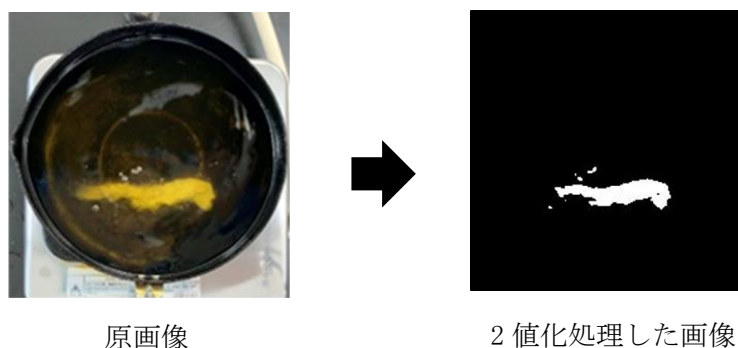


図 16. 原画像と 2 値化処理した画像

原画像を画像レタッチソフト (JTrim) で 2 値化処理した様子を示す。

4-3 結果

(1) 天ぷらの性状

①えび

加熱時間に伴う天ぷらからの水分の蒸発量とえびの水分量の変化を図 17 に示した。加熱時間とともに天ぷら全体およびえびから経時的に緩やかに水分が減少していることから、天ぷらの水分減少の要因の 1 つとして、えびからのものに由来することが推定できる。

えびの硬さは、加熱時間が長くなるにしたがって有意 ($p < 0.05$) に硬くなった (図 18)。加熱時間に伴いえびの水分量も減少したことから、えびの硬さと水分量の相関を調べた結果、 -0.92 と強い負の相関を示し (図 19)、加熱時間が長くなるにつれてえびは硬くなり、それは水分量の減少に由来することが明らかになった。このことは、えびの水分の蒸発の変化から、えびの硬さを推定できることを示している。

加熱時間に伴う水溶性たんぱく質の変化を解析した結果、加熱 60 秒までは急激に減少したがそれ以降はやや緩やかに減少していき (図 20)、加熱 60 秒で 66 kDa 以上の水溶性たんぱく質に不溶化が始まり (図 21)、90 秒以降は 41-45 kDa、120 秒以降は 20 kDa 付近のたんぱく質が不溶化し、66 から 97 kDa の不溶性たんぱく質が増加していた。たんぱく質は加熱すると変性し、保水性が低下して脱水が起こる³⁾。天ぷらのえびの硬さが硬くなり、水分量が減少し蒸発したのは、加熱によりたんぱく質が変性し、保水性が低下し、脱水したためと考えられ、この水溶性たんぱく質の変化が水分量の変化とともにえびの硬さに影響を及ぼしたと考えられる。この硬さや水溶性たんぱく質の変化がえびの評価への関わりについて官能評価をした結果 (表 16)、好ましいえびの硬さやみずみずしさは加熱時間が 90 秒のものが最も好まれた。

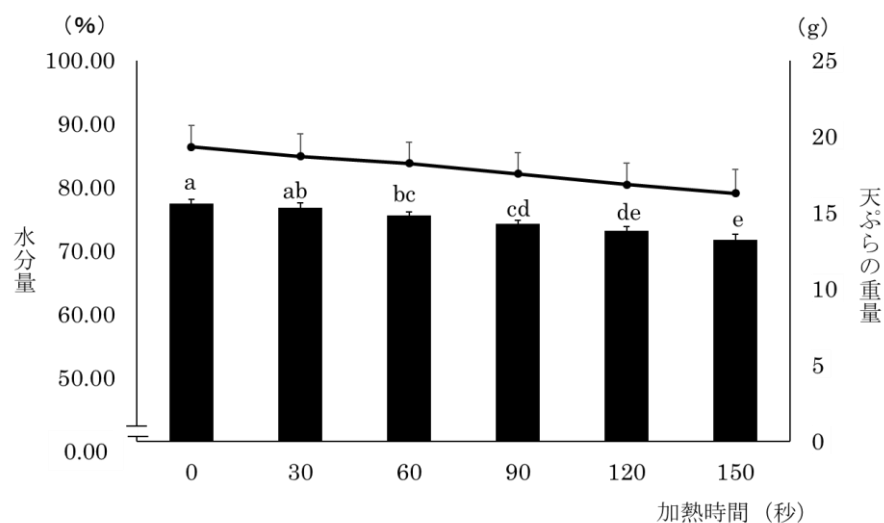


図 17. 加熱時間に伴うえびの水分量と天ぷらの重量の変化

棒グラフはえびの水分量、折れ線グラフは天ぷらの重量を示す。

値は 5 つの値の平均値±標準偏差で示す。

異なるアルファベットは Tukey を行った結果、加熱時間が異なる水分量に 5%の危険率で有意差があることを示す。

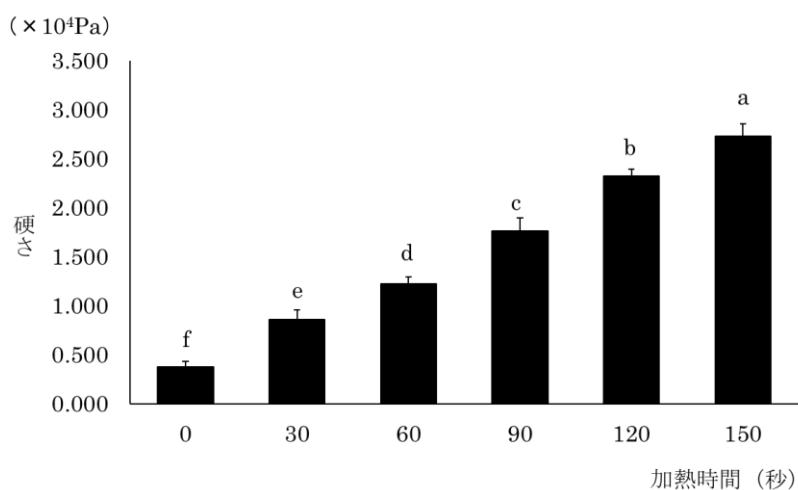


図 18. 加熱時間に伴うえびの硬さの変化

値は 5 つの値の平均値±標準偏差で示す。

異なるアルファベットは Tukey を行った結果、加熱時間が異なる硬さに 5%の危険率で有意差があることを示す。

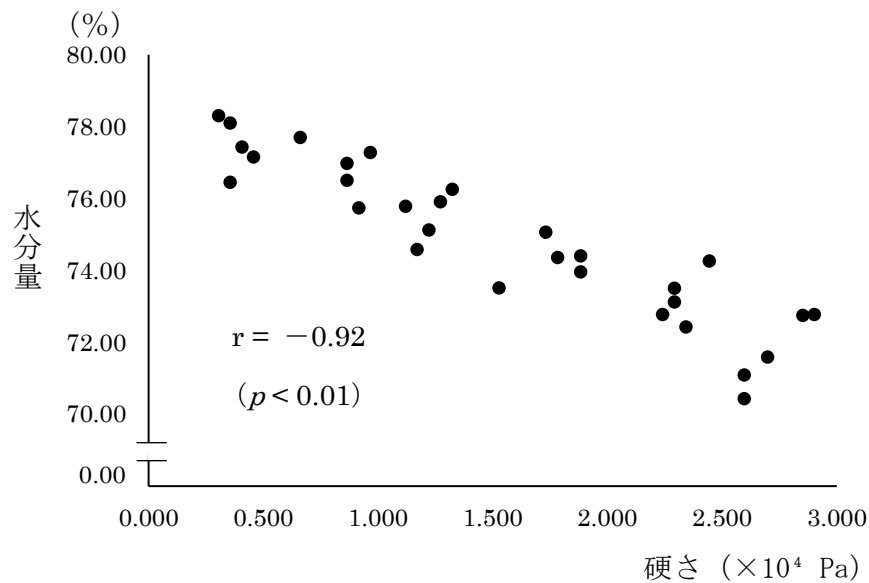


図 19. 加熱時間に伴うえびの硬さと水分量の関係

硬さと水分量の相関を示す。

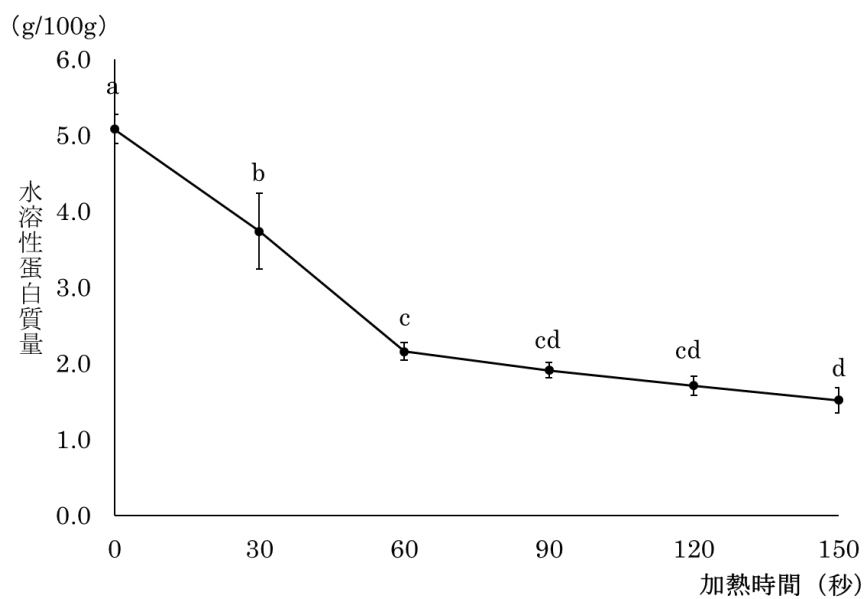


図 20. 加熱時間に伴うえびの水溶性蛋白質量の変化

値は 5 つの値の平均値 $\pm$ 標準偏差で示す。

異なるアルファベットは Tukey を行った結果、加熱時間が異なる水溶性蛋白質量に 5%の危険率で有意差があることを示す。

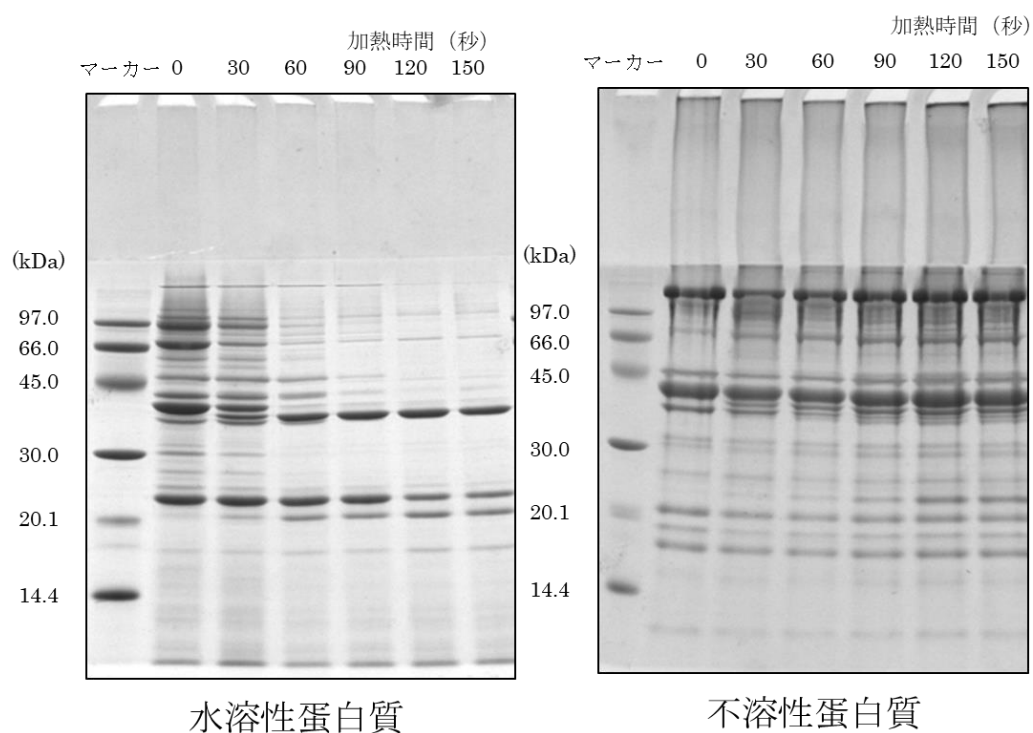


図 21. 加熱時間に伴うえびの蛋白質の変化

表 16. えびの天ぷらの官能評価の結果

検査項目		加熱時間		
		90 秒	120 秒	150 秒
えび	好ましい硬さ	51 ^a	59 ^{ab}	70 ^b
	好ましいみずみずしさ	52 ^a	57 ^{ab}	71 ^b
衣	好ましいサクサク感	73 ^b	49 ^a	58 ^{ab}
総合的な好ましさ		55	58	67

n=30

値は順位合計の和を示す。

異なるアルファベットは Newell&MacFarlane の順位データの検定表により有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。

②衣

加熱時間に伴う天ぷらからの水分の蒸発量と衣の水分量の変化を図 22 に示した。

衣の水分量はえびが経時的に緩やかに減少したのに対して、加熱 30 秒で急激に減少 ($p < 0.05$) し、その後、加熱 60 秒、90 秒で緩やかに減少し、加熱 90 秒から加熱 120 秒の間で再び有意に ($p < 0.05$) 減少を示した。このことから、加熱 0 秒から加熱 30 秒と加熱 90 秒から加熱 120 秒の天ぷらの水分蒸発量は衣からの水分蒸発量の影響を大きく受けていると考える。

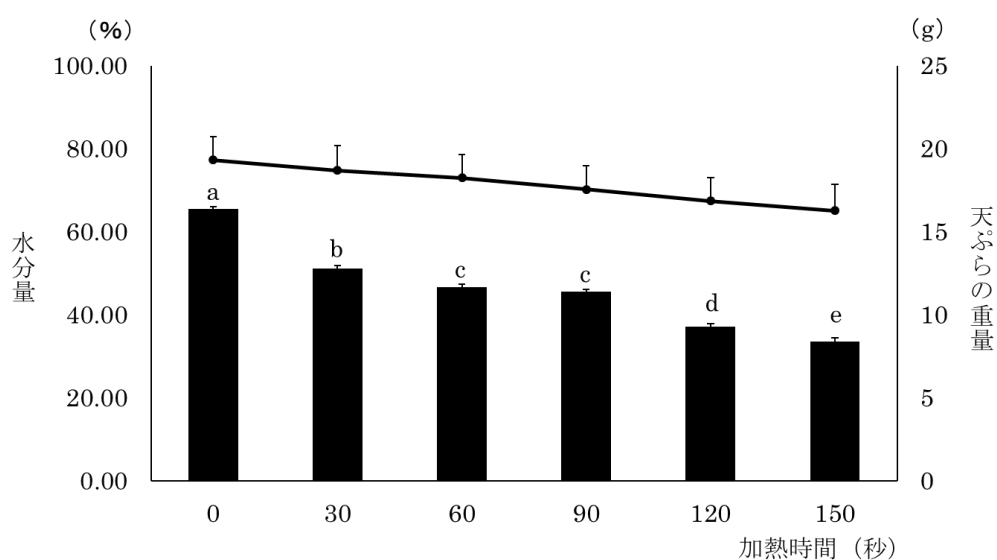


図 22. 加熱時間に伴う衣の水分量と天ぷらの重量の変化

棒グラフは衣の水分量、折れ線グラフは天ぷらの重量を示す。

値は 5 つの値の平均値±標準偏差で示す。

異なるアルファベットは Tukey を行った結果、加熱時間が異なる水分量に 5% の危険率で有意差があることを示す。

衣の破断応力は加熱時間が長くなるに従って硬くなり（図 23）、水分量との相関は -0.93 と強い負の相関であった（図 24）。このことは、松永ら⁴⁾の衣の水分飛散率が高いと衣の破断強度が高く、硬さが硬くなるという報告と一致した。この水分変化や破断応力が衣の評価への影響について官能評価から調べた結果（表 16）、最も好まれたサクサク感は加熱時間 120 秒であり、水分がある程度残っている衣が好まれた。このことから、衣もえびの場合と同様に衣の水分の蒸発の変化から衣の硬さを推定することができ、好まれる衣の硬さを得ることができる。

総合的に好ましいと評価された天ぷらは、加熱 90 秒のものであったが、120 秒との間に差はあまりなかった。

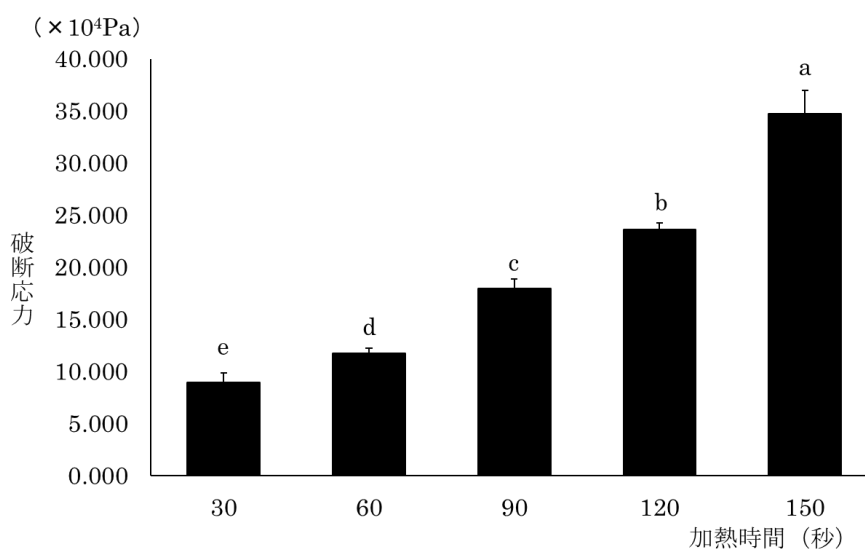


図 23. 加熱時間に伴う衣の破断応力の変化

値は 5 つの値の平均値±標準偏差で示す。

異なるアルファベットは Tukey を行った結果、加熱時間が異なる破断応力に 5%の危険率で有意差があることを示す。

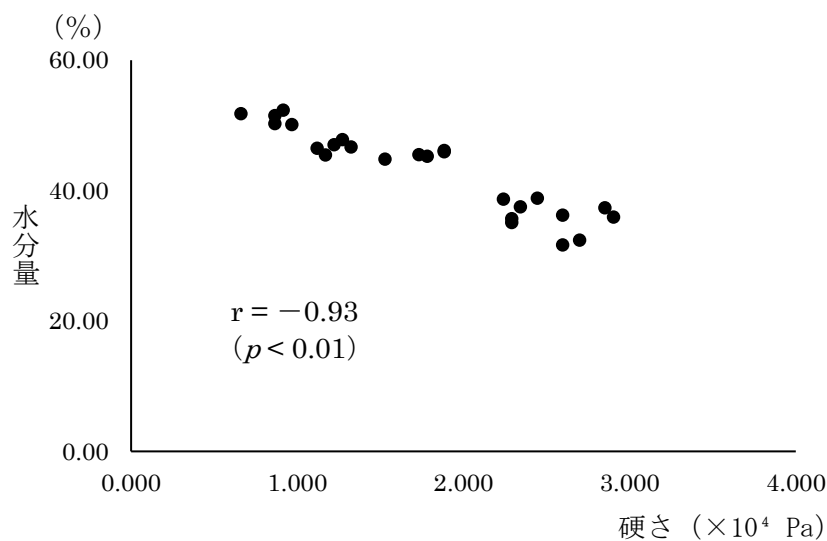


図 24. 加熱時間に伴う衣の破断応力と水分量の関係

衣の破断応力と水分量の相関を示す。

(2) 水分挙動

次に、水分蒸発がえび由来か、衣由来か、それとも両方からなのか、水分減少の変化からは判断することができないことから天ぷら内のえびと衣の水分挙動を調べた。

天ぷらからの水分蒸発量が衣由来か、えび由来かを調べた水分挙動の結果を図 25 に示した。

衣の水分は重水 (H_2^{18}O) の変化から、加熱 0 秒に比べ加熱 30 秒で多く減少 ($p < 0.05$) し、加熱 30 秒から加熱 60 秒の間と加熱 90 秒から加熱 120 秒の間でも多く減少 ($p < 0.05$) した。加熱 30 秒では衣に含まれていた重水 (H_2^{18}O) がえびに含まれたことから、衣の水分は加熱 0 秒から加熱 30 秒の間で多く蒸発し、一部はえびへ移動し、保持されることがわかった。

えびの水分は水 (H_2^{16}O) の変化から、加熱 0 秒に比べ加熱 30 秒で多く減少 ($p < 0.05$) し、その後は加熱時間と共に徐々に減少した。加熱 30 秒で減少した水 (H_2^{16}O) は衣の水 (H_2^{16}O) が加熱 0 秒に比べ加熱 30 秒で増加 ($p < 0.05$) したことから、衣へ移動したと考えられ、加熱 30 秒後に減少した水分は衣へ移動した水 (H_2^{16}O) の変化が加熱 120 秒までは有意な差がなかったことから、蒸発したと考えられた。

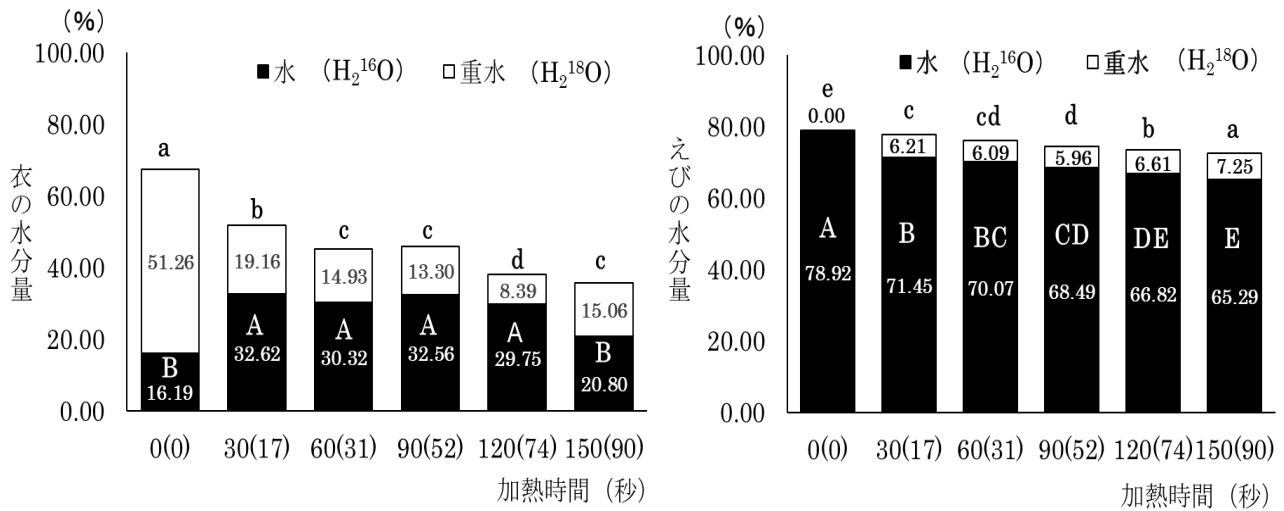


図 25. 加熱時間に伴うえびと衣の水分量（水（ $H_2^{16}O$ ）と重水（ $H_2^{18}O$ ））の変化

値は 5 つの値の平均値を示す。

加熱時間の（ ）内の値は、モデル化した天ぷらの加熱時間を示す。

abcde： Tukey を行った結果、加熱時間の異なる水分量（重水（ $H_2^{18}O$ ））に 5%の危険率で有意差があることを示す。

ABCDE： Tukey を行った結果、加熱時間の異なる水分量（水（ $H_2^{16}O$ ））に 5%の危険率で有意差があることを示す。

(3) 画像処理による油面の様子

画像処理による油面の様子の結果と 1 秒毎の水分蒸発量の結果を図 26 に示した。

油面に出現する気泡は、画像処理の結果、加熱 0 秒に比べ 30 秒で多く、加熱 60 秒、加熱 90 秒と多くなり、加熱 120 秒で減少した。1 秒毎の水分蒸発量は加熱開始から水分が蒸発し、加熱 60 秒から加熱 95 秒にかけて 1 秒で蒸発する水分量が増え、その後減少した。画像処理による油面の様子と 1 秒毎の水分蒸発量の増加と減少のタイミングが類似したことにより、油面に出現する気泡の変化を 2 値化処理による輝度値 255（白色）の画素数で推定でき、油面に出現する気泡の発生の変化により水分蒸発量の変化を確認できる可能性を示唆した。

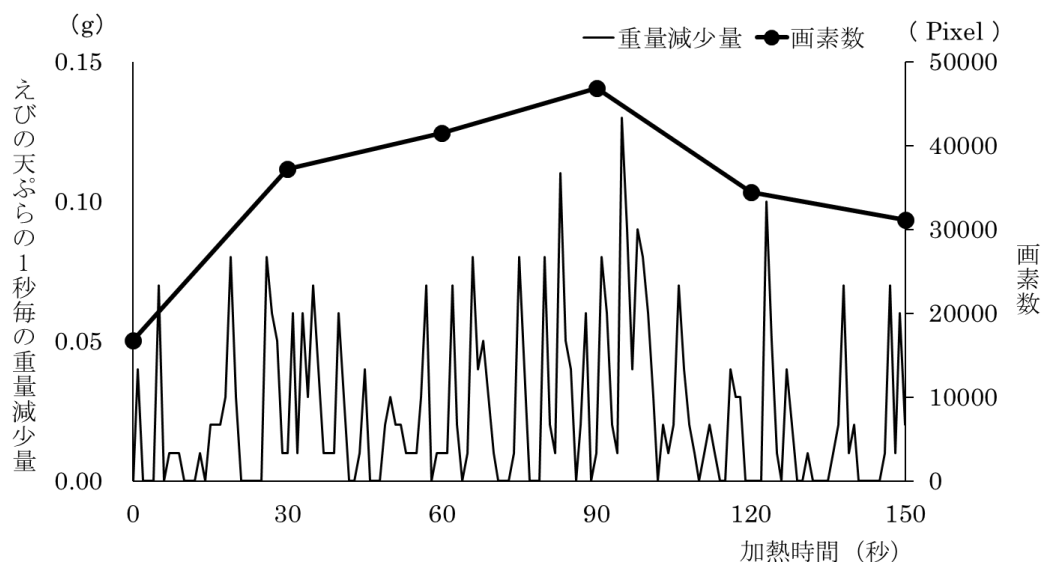


図 26. 加熱時間に伴う油面の様子と水分蒸発量の変化

値は 1 つの値の結果を示す。

4-4 考察

結果を模式図（図 27）に表し、考察を行った。

加熱 0 秒から加熱 30 秒にかけて衣から多く水分が蒸発し、その後、えびのたんぱく質が加熱により変性し、保水性が低下し、えびからも水分が蒸発し、加熱 90 秒付近までは衣とえびの両者からの水分蒸発により油面の気泡の出現量が増え、その後、衣からの水分蒸発が減少したため、加熱 120 秒付近からの気泡の出現量が減少したと考えられた。

衣は加熱直後に水分が多く蒸発し、衣が硬くなり、衣由来の水分が蒸発したときに、サクサク感を得られ、衣に移動したえび由来の水分が蒸発し、さらに衣の硬さが硬くなる。加熱 120 秒の衣が好ましいサクサク感と評価されたことから、衣由来の水分の蒸発が減少し、気泡の出現量が少なくなったときに好ましいサクサク感を得ることができるタイミングと考えられた。

えびは加熱されたたんぱく質の変性が進むにつれて、水分が蒸発し、硬さが硬くなった。加熱 90 秒のえびが最も好ましい硬さでみずみずしいと評価されたが、加熱 120 秒との間に差はなかったことから、気泡の出現量が少なくなったときまでが好ましい硬さでみずみずしさを得ることができるタイミングと考えられた。

調理過程における油面の水分蒸発状況を画像処理で視覚化することで、揚げ過程でのえびおよび衣からの水分蒸発やえびと衣間の水分挙動を推定することができることが明らかになり、衣からの水分蒸発量が少なくなったタイミングが天ぷらとして好まれた。これにより、これまで料理人が関わる調理過程を画像処理により判断することで、安定した品質の料理の作製に繋がることが示唆された。

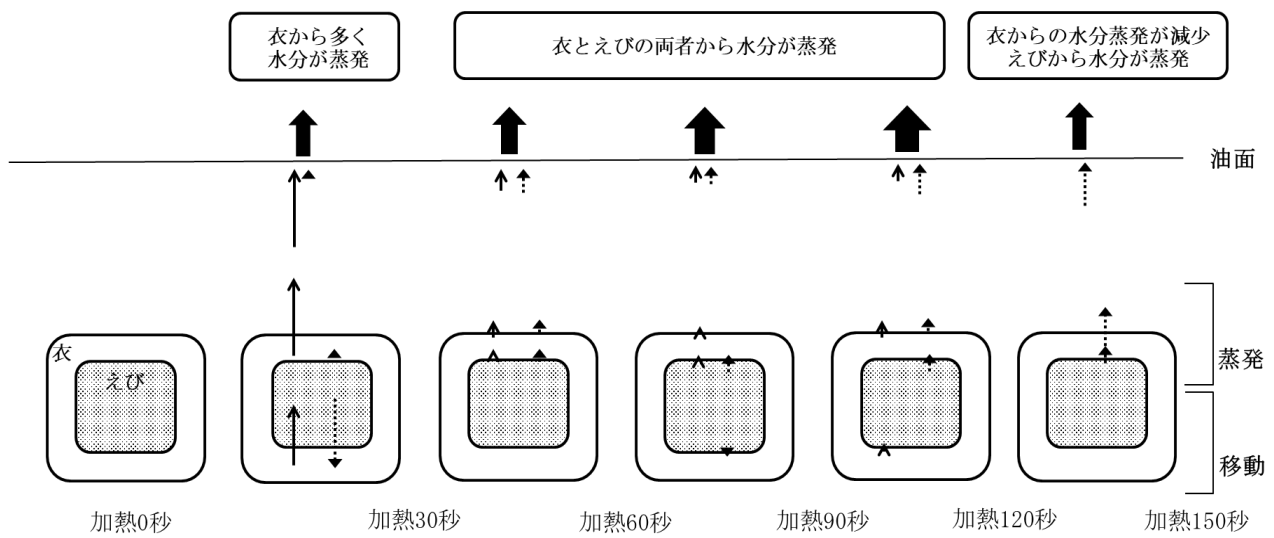


図 27. 加熱時間に伴う油面の様子と天ぷらの水分の変化との関係

← は衣由来、←..... はえび由来の水の蒸発・移動を示し、長さは蒸発量・移動量を示す。
 ← は蒸発した水分を示し、太さは蒸発量を示す。

第5章 総合考察

「おいしい」料理を作るには、料理に使用する食材の選択や保存方法、味付けを含む調理方法、見た目などに支配される。特に調理工程において、料理が完成するタイミングは食材の個体差、熱源、調理器具などに支配されるために、経験値に頼る要素が大きい。料理に不慣れな者は調理工程でどのようなことに配慮をしたらよいのか、料理をおいしく作るにはどのようにしたらいいのかなど、困惑する。料理を作る機会が少なくなっている現在において、「おいしい」料理をつくるために「視覚」という視点に注目し、1. 調理中の「目配り」、2. 調理過程における料理の「見た目」からその可能性について検討した。

調理中の「目配り」が料理のできあがりおよび影響について、調理経験の程度が異なる人を対象に、「炒める（きんぴらごぼう）」の調理中の「目配り」に着目し解析した。第三者による調理時の目の動向の観察と画像処理による目の移動量を測定したところ、「目配り」が調理技術評価として有効であることを確認した。調理技術における指導として「目配り」が料理のできあがりの品質に及ぼす影響について、ごま豆腐を用いて検証し、調理指導手段として目配りの場所と理由を指導することで、目配り技術の向上が確認でき、それに伴い、できあがりの品質である硬さや糊化度が向上することを確認した。複雑な調理法にて効果的な目配り技術の指導を実現するためには、熟練者の目配り技術を解析し、適切な指導内容を確認する必要がある。さらには、視点検出システムの改良により、視点の移動距離以外にも方向や頻度、速さ、角度などの詳細な計測が可能となり、また複数の熟練者の目配り技術情報を蓄積、解析することで、より効果的な指導が期待できる。

調理過程における「見た目」から料理のできあがりを推定するために、えびの天ぷらを対象として検討した。油面の水分蒸発状況を2値化した画像処理による視覚化や、素材や衣などの水分移動について重水を用いて測定した結果、揚げ過程でのえびおよび衣からの水分蒸発やえびと衣間の水分挙動を油面の画像から推定することができ、衣からの水分蒸発量が少なくなったタイミングが天ぷらとして好まれた。

これにより、これまで料理人が関わる調理過程を画像処理により判断することで、客観的に安定した品質の料理の作製に繋がることが示唆された。これは大量調理にも活用できる指標であると考えられる。例えば、給食や外食産業において、画像処理で得られた指標を人工知能（AI）を利用して、個体差によるバラツキが見られる食材であっても、安定した品

質の料理を得ることが可能性となる。以上のように調理中の「目配り」や素材の「見た目」の「視覚」という視点が調理技術の向上や安定した品質の料理の完成に繋がる。

「見た目」の検討として、たんぱく質食品としてえびの天ぷらを例にして検討を行ったが、今後は澱粉性食品や水分が多く含まれる野菜類などについて検討したい。

参考文献

序論

- 1) 吉岡唯、梅原頼子、櫻井秀樹：スチームコンベクションオーブンの加熱モードの違いが魚料理のおいしさに及ぼす影響、鈴鹿大学・鈴鹿大学短期大学部紀要 健康科学編、2、31-40 (2019)
- 2) 小口悦子、山越美歩、香西みどり：シューの空洞膨化に及ぼす諸条件の影響とその機構、日本家政学会誌、62 (11)、691-700(2011)
- 3) 佐藤恵美子、井藤竜平、山野善正：ゴマ豆腐のテクスチャーに及ぼす調製条件の影響、日本食品科学工学会誌、46 (6)、367-375(1999)
- 4) Kyoko Ohishi,Koyomi Watanabe,Shoko Shibukawa : Effects of Controlled Oil Temperature on the Center Temperature of Prepared Frozen Foods during Frying, *J. Cookery Sci. Jpn.*,43 (3) ,184-191 (2010)
- 5) 野坂千秋、星川恵里、足立和隆、渡邊乾二：運動解析法によるジャガイモの裏ごし操作における熟練者と非熟練者の比較、日本食品科学工学会誌、47(11)、857-863(2000)
- 6) 野坂千秋、箕輪澄乃、星川恵里、久保田浩二、大越ひろ、渡邊乾二：ホワイトソース物性へ及ぼす調理操作条件の影響-シェフと非熟練者の攪拌条件の例-、日本調理科学会誌、34(1)、10-16(2001)
- 7) 笠松千夏、立山和美、高取幸子：麻婆豆腐の調理とおいしさに関する研究-女子学生とシェフの比較-、日本調理科学会平成 18 年度大会要旨集、46(2006)
- 8) 赤木陽子、青木義満、星川恵里、坂下俊行：調理における“匠の技”の画像解析、第 73 回パターン計測部会研究会資料、21-26(2007)

第 2 章

- 1) 喜多伸之：反射的・意図的注視制御の統合的な実現、電子情報通信学会論文誌 D-II、J84-D-II(8)、1701-1709(2001)
- 2) 星川恵里、野坂千秋、原田春土、三林洋介：視線計測を用いた炒め調理工程の解析、日本調理科学会平成 13 年度大会要旨集、46(2001)

第3章

- 1) 足立貞子：調理学習における調味の指導について-計量スプーンの問題-、日本家庭科教育学会誌、11、99-107(1970)
- 2) 池田瑠美子、山田節子：短大生の調理技術の習得に関する研究(第3報)、聖霊女子短期大学紀要、36、62-71(2008)
- 3) 佐藤恵美子：ごま豆腐、日本調理科学会誌、31(2)、172-177(1998)
- 4) 佐藤恵美子、井藤龍平、山野善正：ゴマ豆腐のテクスチャーに及ぼす調製条件の影響、日本食品科学工学会誌、46(6)、367-375(1999)
- 5) 平塚陽子、川野亜紀、高橋智子、大越ひろ：ゲル-ゾル混合モデル系試料の力学的特性と飲み込み特性、日本家政学会誌、55(5)、381-388(2004)
- 6) 小川宣子：赤米に関する調理特性の研究(第2報)、日本家政学会誌、46(6)、531-537(1995)
- 7) 大西真理子、小川宣子、山中南つみ、庄司一郎：品質の異なるじゃがいもの断熱調理鍋による加熱変化、日本調理科学会誌、29(2)、98-103(1996)
- 8) 喜多伸之：反射的・意図的注視制御の統合的な実現、電子情報通信学会論文誌 D-II、J84-D-II(8)、1701-1709(2001)

第4章

- 1) 石川由花他、熟練者の調理技術の解析からみた天ぷらの技術情報とおいしさ、平成23年度調理科学会大会研究発表要旨集
- 2) 山崎清子、島田キミエ、渋谷祥子、下村道子(2010)、獣鳥肉類の調理、新版 調理と理論、同文書院、東京、p. 351
- 3) 山崎清子、島田キミエ、渋谷祥子、下村道子：魚介類の調理、調理と理論、同文書院、東京、p255(2010)
- 4) 松永幸太郎、竹田靖史、川崎貞道：天ぷらの衣のフライ特性に及ぼす澱粉の影響、応用糖質科学、45(3)、239-246(1998)

謝辞

本研究を遂行するにあたり、熱心なご指導ならびにご鞭撻を賜り、和泉秀彦教授には厚く御礼申し上げます。

本論文の作成にあたり審査、ご指導いただきました名城大学 学長 小原章裕教授、本学 岸本満教授、山田千佳子准教授に厚く御礼申し上げます。

本論文の作成にあたりご教授くださいました本学 栄養科学研究科 研究科長 北川元二教授に心より感謝申し上げます。

本研究の遂行ならびに論文執筆において、懇切丁寧にご指導いただきました中部大学 小川宣子客員教授、名古屋女子大学 山中なつみ教授に厚く御礼申し上げます。

タンパク質定量分析に関する実験操作や論文執筆において、懇切丁寧にご指導いただきました内藤宙大助教に厚く御礼申し上げます。

画像処理方法についてご教授くださいました岐阜大学 加藤邦人教授、山本和彦教授、岐阜女子大学 櫛彩見准教授に感謝申し上げます。

GCMS 分析を行う機会を頂き、ご教授くださいました中部大学 石田康行教授に感謝申し上げます。

最後に、中部大学 応用生物学部 食品栄養科学科 小川研究室ならびに山中研究室の4年生と卒業生の皆様には、多くの研究でご協力いただきました。今後のご活躍を心よりお祈り申し上げます。