

焼き魚の食味に及ぼす解凍方法の影響

Effect of Thawing Method on the Palatability of Grilled Fish

柴田 圭子*§ 渡邊 容子* 早瀬 明子** 安原 安代*

Keiko Shibata

Youko Watanabe

Akiko Hayase

Yasuyo Yasuhara

We examined several thawing methods for frozen fish (swordfish: *Xiphias gladius*) to investigate their effects on the palatability of grilled fish. We compared five different fish thawing conditions: 1, with a microwave oven (100 W output and intermittent irradiation); 2, at room temperature; 3, in tap water; 4, in a chilled low-vacuum chamber; and 5, in a refrigerator.

When the internal end-point temperature was fixed at -1°C , thawing by intermittent irradiation with a microwave oven took the shortest amount of time and produced the least drip loss. Thawing in the chilled low-vacuum chamber took the longest amount of time, but resulted in a low drip loss and normal hydration of the muscle fibers. This latter method also led to a high cooking yield and palatability of the grilled fish. Grilled fish thawed in tap water was evaluated as having low juiciness because of the large drip loss.

キーワード: 解凍方法 thawing method; 冷凍魚 frozen fish; 電子レンジ microwave oven; ドリップ drip loss; 低真空チルド室 chilled low-vacuum chamber; 断続照射 intermittent irradiation

緒 言

冷凍魚は家庭から外食産業まで幅広く用いられ、多くの場合、調理や喫食の前段階に解凍が付随する。魚肉は畜肉に比べて水分が多く、冷凍時のタンパク変性によるテクスチャーや肉色への影響^{1,2)} およびマグロなどの大型魚は解凍硬直²⁾の問題があり、品質に及ぼす冷凍・解凍の影響は大きい。冷凍魚の解凍に関する調理科学的な研究は、集団給食などの業務用に多用される冷凍メルルーサを用いた各種解凍法の研究³⁾やマグロの食味に及ぼす各種解凍法の報告^{4,5)}があり、それら報告は解凍後未加熱状態の魚肉について客観的品質評価や官能評価を行なって検討したもので、解凍から加熱後の食味評価まで一連の過程を報告したものはほとんど見られない。

魚肉を短時間で解凍する場合、解凍環境温度を高くすると解凍終点の魚肉中心温度が高くなり、ドリップ量が増加する³⁾。解凍環境温度を低くすれば、解凍時間が延長する。これまでのところ、高鮮度のマグロやカツオなどは解凍収縮が起こるため 5°C 程度で緩慢解凍されるが、解凍収縮を生じない魚類についてはむしろ急速解凍して鮮度変化を抑制することがよい⁶⁾とされている。白身魚のメルルーサを用いた報告³⁾では“解凍終点温度が低く、ドリップが少ない低温急速解凍（解凍終点温度が 5°C 以下、最大氷結晶生成帯を約2時間以下で通過するような解凍）がもっともよ

い”としている。マグロの解凍では冷蔵機能付のマイクロ波解凍機⁴⁾や工場向けのもの^{2,7)}もあるが、家庭などでは解凍のための特別な機器を保有することは難しい。身近なところで、解凍環境温度を高くせずに急速解凍が可能な調理機器に電子レンジがある。研究初期には出力数が明記されていない報告もあるが、明記した先行研究^{8,9)}では600 Wを採用している。これらの報告ではフィレー（約1 kgの魚を3枚卸し）1枚に対し600 Wで2分前後の照射を行なっている。それらによると電子レンジ解凍は、魚の重量減少が大きいこと⁸⁾や熱収縮による組織損傷⁹⁾を受けることが指摘されている。高出力のマイクロ波照射によるタンパク変性を避けるため、より低出力での照射が考えられるが、解凍時間が延長して短時間解凍の利点は減少する。実際に家庭用電子レンジによる解凍は解凍キー（自動）や手動の低出力照射が多い。しかし、低出力による解凍を詳細に検討した報告はほとんどみられない。一方、冷蔵庫解凍は失敗の少ない方法として知られ、実際にも行なわれるが、調理や献立上の計画性が要求される。しかし、計画的解凍が前提の場合、冷蔵庫解凍は特に手をかけなくて済む利点がある。近年、新型の家庭用冷蔵庫には低真空による鮮度保持を特徴とした冷蔵室の設備がみられる。真空（減圧）下での解凍は、氷の昇華による食品表面の冷却¹⁰⁾によって内外の温度差が減じ、均一に解凍できると考えられる。

本研究では短時間で食味よく解凍するため、マイクロ波の照射法を考慮した解凍法の有用性を検討することを第一の目的とした。同時に低真空の冷蔵室での解凍について、複数の解凍法の比較の1つとして解凍品質への影響をみることにした。本報は解凍状態から加熱後の食味までの一連の過程を通して複数の解凍方法の影響を検討し、若干の知見を得たので報告する。

* 女子栄養大学
(Kagawa Nutrition University)

** 日立アプライアンス株式会社
(Hitachi Appliances, Inc.)

§ 連絡先 女子栄養大学栄養学部
〒350-0288 埼玉県坂戸市千代田3-9-21
TEL 049(282)3704 FAX 049(282)3704

実験方法

1. 試料

冷凍メカジキ 100 g/1 切 (約 8 cm×6 cm, 厚さ 1.5 cm) のものを埼玉県川越市内の卸売業者より一括購入後、乾燥・酸化および密着を防ぐために 1 切れずつラップ (ポリ塩化ビニリデン製) 包装し、更にポリエチレン製のジッパー付き冷凍保存袋に重ねずに並べた状態で密閉し、実験まで -20℃ で保存した。

2. 解凍終点温度の検討

解凍状態の再現性および解凍終点温度が解凍ドリップ量に影響を与える^{3,7)} ことを考慮し、先ず予備実験により試料の解凍終点温度を設定した。食品衛生上の解凍終点および保存は 5℃ 以下 (厳密には 3.3℃) とされている¹¹⁾ が、5℃ 終点では解凍が過剰とされている¹²⁾。魚肉中心温度 -2℃ を終点と設定した実験¹²⁾、および -1℃ を終点とした実験⁸⁾ を参考に、次のように終点温度を検討した。試料の温度や状態を目視確認できるよう室温解凍 (24±2℃) とし、熱電対温度計 (センサー SE60930, 安立計器) を試料の形状中心 (幅および厚みの中心位置) に挿入し、内部温度終点を 1℃ ずつ -2, -1, 0℃ にした時の解凍所要時間、ドリップ量 (測定方法は後述) の変化および解凍状態を確認した。予備実験の結果、ドリップ量が少なく、調理に扱い易い硬さである -1℃ を解凍終点とするのがよいと判断し、以降の実験にはこの解凍終点温度を用いた。

3. 解凍方法

電子レンジ解凍、室温解凍、流水解凍、低真空のチルド室解凍 (以降、低真空チルド室解凍)、冷蔵庫解凍の 5 種類を行なった。試料の解凍は、流水解凍を除き、個包装 (ラップフィルム) のまま発泡スチロールトレイ (厚さ: 3.3 mm) 上で行なった。試料の内部温度測定は、電子レンジを除き、熱電対温度計を試料の形状中心に挿入して行なった。

電子レンジ解凍は家庭用オープンレンジ (回転卓のない様式: MRO-BV100, 日立) を用い、100 W 3 分間連続照射した後、「1 分間休止後 30 秒間照射」×5 回行なう断続照射の方法を用いた。この方法は予備実験により以下の方法で決定した。まず赤外線サーモグラフィ装置 (TH7800N, NEC 三栄) を用いて試料表面の温度分布を確認した。次に高めの温度になりやすい角部分 (左手前角で内側 1 cm 入った位置) と低温を示す中心の 2 箇所に蛍光式光ファイバー温度計 (AMOTH FL-2000, センサー FS500-2M, いずれも安立計器) を挿入し、この 2 箇所の温度をモニタリングしながら、両者の温度の差が少ない状態で終点温度 -1℃ まで解凍する条件を検討し、上記の照射方法となった。室温解凍は、卓上に放置して解凍した。流水解凍は水温を一定に保持できるよう試料重量の 10 倍量の水に浸かる様に 1 l ビーカーを用いた。温度センサーを挿入した試料をビニー

ル袋ごと (試料への水道水浸入を防止) ビーカーへ投入し、試料が浮かないよう上部に網ザルを置いて試料が常に水に浸漬している状態にし、水道水 (19±1℃) を一定量 (流量は 30±2 ml/sec) 流して解凍した。低真空チルド室解凍は、1℃ 設定のチルド室 (真空チルド冷蔵庫 R-Z6200, 日立) で解凍した。このチルド室は 0.8 気圧 (約 81 kPa) の状態を保持するため、他区分と同様の温度計挿入ができない。そこで、予めメーカー工場で -1℃ 到達時間の確認を行い、この区分のみ 48 時間で解凍終了とした。冷蔵庫解凍は庫内温度 2±1℃ の冷蔵庫 (HR-66J 型, ホシザキ) で解凍した。

4. ドリップ量の測定

解凍前の試料重量と解凍後 (解凍終了時、不織布のペーパータオル上で軽く魚肉の裏表面を返した後) の重量を測定し、その差を解凍により流出したドリップ量として、解凍前の試料重量に対する百分率で表した。

5. 焼き魚の調製

各方法で解凍した試料は重量の 1% の食塩を振って室温で 10 分放置後、ペーパータオル上で軽く魚肉の裏表面を返した後、熱電対温度センサーを挿入して天板にのせ、予め 200℃ に予熱したオープン (MRO-BV100 のオープン機能使用, 日立) で 1 切れずつ内部温度 75℃ まで加熱した。その後、天板上で 1 分置き (センサーが外しやすく、肉汁が落ち着く時間を加味した)、加熱後重量を測定し、調理歩留まり [= 加熱後重量 / 加熱前重量 × 100 (%)] を算出した。

6. 物性測定

室温にした加熱試料より 10 mm×10 mm×高さ 15 mm の測定試料を 1 切れ当たり 10 個切り出し、クリープメーター (RHEONER II, RE2-33005, 山電) を用い、ロードセル 200 N, 測定スピード 1 mm/sec, プランジャーは円柱 (φ30 mm), 測定歪率 95% の条件で破断応力を測定した。

7. 多汁性測定

物性測定同様の試料を用い、ろ紙法¹³⁾ により行なった。重量既知の試料を 6 枚のろ紙 (φ50 mm) の中間層に挿入し、破断応力測定と同条件 (ロードセル 200 N, 測定スピード 1 mm/sec, プランジャーは φ30 mm 円柱, 測定歪率 95%) で圧縮後、ろ紙に吸収された汁量を測定した。さらに、肉汁流出量を加熱肉の重量で除して流出割合を算出し多汁性 (%) とした。

8. 解凍魚の組織観察

解凍直後の魚肉試料を 3 mm 角×5 mm 長さ程度に切り出し、室温で 2.5% グルタルアルデヒド (0.1M リン酸緩衝液 pH7.2~7.3) に浸漬して固定した。その後、観察面が横断面になるようにして 1~2 mm 厚さで切り出した切片を蒸留水で洗浄後、TI ブルー染色液 (TI ブルー染色キット, 日新 EM 株式会社) で 20 分染色した。これを蒸留水で洗浄後、50~99.5% エタノールで段階的に脱水し、100%

t-ブタノールで置換後、冷蔵庫で凝固させたものを観察試料とした。走査電子顕微鏡 (Mini Scope TM-1000, HITACHI) を用い、加速電圧 15 kV で解凍魚の筋繊維の横断面の観察を行った。

9. 官能評価

本学調理系教職員 10 名 (20~60 才代: 平均 38 才, 女性) により, 7 段階評点法を用い評価した。評価は魚のにおい (生臭みの強さ), テクスチャー (軟らかさ), 多汁性 (ジューシさ), うま味の強さ, 総合評価の 5 項目である。総合評価以外の項目は全て強弱の識別, 総合評価のみ好ましさを評価することとした。評価は, におい, 多汁性 (ジューシーさ) およびうま味の強さは「1=非常に弱い, 2=弱い, 3=やや弱い, 4=普通, 5=やや強い, 6=強い, 7=非常に強い」とした。テクスチャー (軟らかさ) は「1=非常に軟らかい, 2=軟らかい, 3=やや軟らかい, 4=普通, 5=やや硬い, 6=硬い, 7=非常に硬い」とした。総合評価は「1=非常に好ましくない, 2=好ましくない, 3=やや好ましくない, 4=普通, 5=やや好ましい, 6=好ましい, 7=非常に好ましい」とした。

10. 統計処理

終点温度の検討では一元配置分散分析, これ以外の測定値および官能評価においては *Bonferroni* の多重比較を, いずれも統計処理ソフト-Excel 統計 Ver.6 ((株)エスミ) を用いて行なった。

結 果

1. 解凍終点と電子レンジ解凍の条件

解凍終点温度とドリップ量は Table 1 に示すように, 0℃ はドリップが多い状態であった。解凍終点が -2℃ では試料表面に付着霜が残り, 調理には扱い難い硬さであった。解凍終点 -1℃ はドリップも少なく, かたさも調理で扱いやすい状態であった。また, -1~0℃ の段階で解凍終点温度が 1℃ 上昇した時のドリップ量は, 急激な増加が確認された。ドリップの急増を避け, 調理時に扱いやすい状態は, -1℃ を解凍終点とするのがよいと判断できた。

電子レンジ解凍は, 従来法 (取扱説明書参照: 冷凍品 100 g 当たり 100 W で 3 分) でドリップがほとんど無いが (Table 2), 試料表面に付着霜が残り, 魚肉の内部中心温度

は -3℃ 程度であった。内部中心温度が -1℃ になるまで 100 W 照射を続けると, 角部分が加熱変性して不均一な解凍状態となる。この温度履歴を確認すると, 角部分の温度曲線が約 180 秒で約 0℃ 付近から急な立ち上がりが見られた (図示省略)。そこで初期 3 分間は連続照射し, それ以降は「1 分間休止後 30 秒間照射」×5 回を行なうことで, 角部分の温度の急上昇が起こらず, 比較的均一な解凍状態となった。また, この 100 W の断続照射 (合計 5.5 分) とマイクロ波照射が同等量になる連続照射 5.5 分は, 中心と角部分の温度差およびドリップ量が有意に大となることが確認された (Table 2)。マイクロ波の休止時間が 1 分未満では試料内部温度の上昇が大きくなり不適であるため, 上記の方法が最も安定し, 再現性も認められた。

2. 冷凍魚の解凍状態に及ぼす各種解凍方法の影響

電子レンジ解凍 (断続照射), 室温解凍, 流水解凍, 低真空チルド室解凍, 冷蔵庫解凍の 5 種類において, 解凍終点温度を -1℃ に設定した条件で解凍所要時間を比較すると, 電子レンジ解凍と流水解凍が他の 3 種の解凍法に比べ有意に短時間であった。電子レンジ解凍と流水解凍は同等の解凍所要時間であるが, ドリップ量は前者の方が有意に低値であった (Table 3)。一方, 冷蔵庫解凍は解凍所要時間とドリップ量のいずれも標準偏差が大きく, これは冷蔵庫内の送風が関与する可能性が示唆された。低真空チルド室解凍は外観上の解凍状態はよいが, 所要時間が有意に長い。低真空チルド室解凍と冷蔵庫解凍はほとんど同じような温

Table 1. Effect of the end-point temperature of frozen fish during thawing on thawing time and amount of drip loss at room temperature

Thawing end-point temperature* (℃)	Thawing time (min)	Drip loss Total amount (%)	Surface temperature (℃)
-2	109.7 ± 10.0 ^a	1.6 ± 0.3 ^a	6.7 ± 0.7 ^a
-1	172.0 ± 14.0 ^b	3.4 ± 0.2 ^b	12.0 ± 1.1 ^b
0	192.7 ± 6.8 ^b	6.5 ± 0.4 ^c	15.6 ± 1.0 ^c

Values are expressed as means ± SD (n = 4)

* Internal temperature (geometric center) at room temperature (24℃)

^{a,b,c} Different superscripted letters in the same column are significantly different (p < 0.01)

Table 2. Effect of microwave thawing condition on the drip loss from frozen fish

Thawing method	100 W Irradiation time (min)	Internal temperature (℃)	Corner temperature (℃)	Drip loss (%)
Conventional method (n = 3)	continuous 3.0	-3.2 ± 0.3 ^a	-2.0 ± 0.4 ^a	0.0 ± 0.0 ^a
Intermittent irradiation* (n = 4)	total 5.5	-1.2 ± 0.2 ^b	4.0 ± 3.3 ^a	1.2 ± 0.5 ^{ab}
Continuous irradiation (n = 4)	continuous 5.5	0.1 ± 0.8 ^c	16.0 ± 5.2 ^b	2.4 ± 0.3 ^b

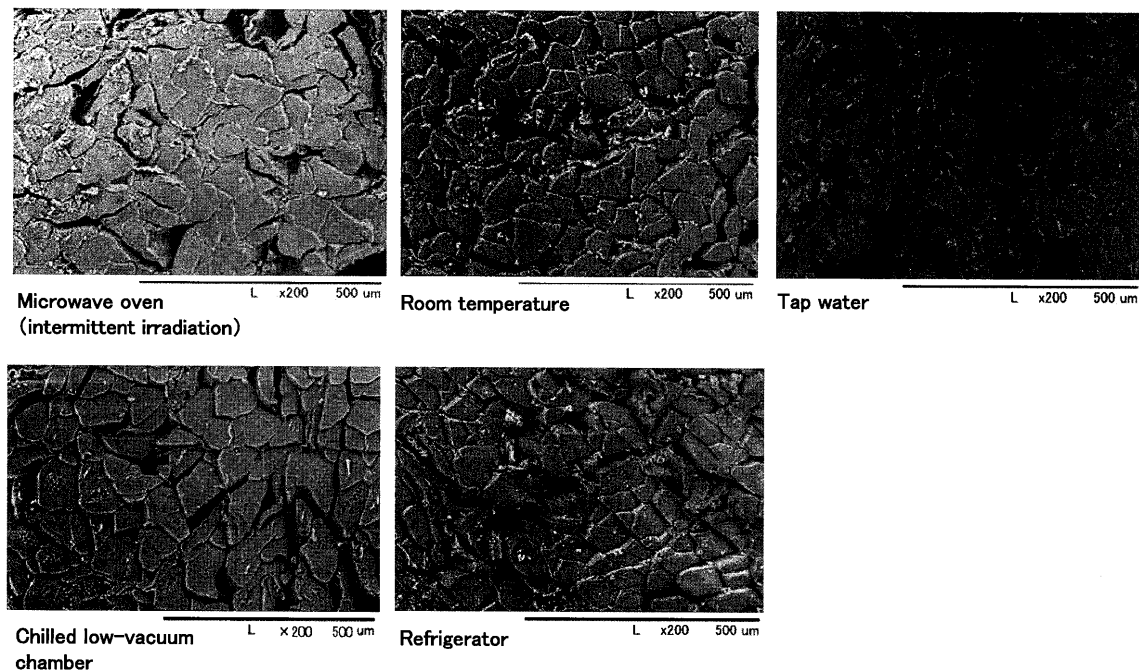
* Heating method: ① 100 W irradiation for 3 min → ② (stop for 1 min → 100 W irradiation for 30 sec) × 5 times
Total irradiation time = 3 min + 0.5 min × 5 times = 5.5 min (Residence time was total 10.5 min in the microwave oven)

^{a,b,c} Different superscripted letters in the same column are significantly different (p < 0.01)

Table 3. Effect of thawing method of frozen fish on thawing time and amount of drip loss

Thawing method	Thawing time (min)	Drip loss (%)	Surface temperature (°C)
Microwave oven (intermittent irradiation)	10.5 ± 0.0 ^a	0.9 ± 0.5 ^a	8.0 ± 0.2 ^b
Room temperature	173.8 ± 9.7 ^b	3.5 ± 1.1 ^{bc}	12.0 ± 1.1 ^c
Tap water	11.8 ± 3.0 ^a	6.2 ± 1.1 ^c	15.0 ± 5.0 ^c
Chilled low-vacuum chamber	2880.0 ± 0.0 ^d	2.3 ± 1.2 ^b	1.0 ± 0.0 ^a
Refrigerator	1136.5 ± 34.8 ^c	5.0 ± 2.7 ^{bc}	2.0 ± 1.0 ^a

Values are expressed as means ± SD (n=6)

^{a,b,c} Different superscripted letters in the same column are significantly different (p<0.01)**Fig. 1.** Effect of thawing method on the tissue structure of thawed fish (SEM images, mag. ×200)

度帯にあるにも関わらず、解凍所要時間が2倍であった。これには温度差と送風の影響が示唆された。

解凍終了直後、試料の一定部位を切り出し、組織観察した結果が Fig. 1 である。電子レンジ解凍と低真空チルド室解凍において、魚肉の筋繊維は比較的空隙が少なく、筋繊維が膨潤し、比較的均一な状態で解凍されている傾向が確認できた。一方、流水解凍は所々比較的空隙が存在する不均一な状態であった。流水解凍は他の解凍方法と異なり、解凍時に熱伝導率の異なる水を用いたこと、流水による対流で急速に解凍されたこと、および水圧の影響が考えられ、そのためドリップ量が多いと示唆された。

3. 冷凍魚の解凍方法が加熱後の食味に及ぼす影響

評価に用いた塩焼き試料の状態を Table 4 に示した。加熱歩留まりは標準偏差が大きいと有意差がみられないが、低真空チルド室解凍は調理歩留まりが高い傾向がみられた。加熱時間は室温解凍と冷蔵庫解凍の間に有意差があり (p<0.05)、これは調味中に室温の影響を受け、加熱直

前の前者の中心温度が $8.2 \pm 3.2^{\circ}\text{C}$ と、後者の $-0.2 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ より高いため、焼き時間が短縮したと考えられた。物性測定による客観的な硬さ評価では、いずれの試料も有意差が認められなかった。ろ紙法を用いた多汁性試験では、室温解凍がやや低値、低真空チルド室解凍がやや高値を示す傾向がみられた。多汁性が低い傾向の室温解凍や流水解凍は焼き時間が短時間でも解凍時のドリップ量が多いことが影響したと考えられた。低真空チルド室解凍は組織の空隙が流水解凍より少なく、ドリップ量が少ない傾向にあることが多汁性評価に関与したと考えられた。焼き物の官能評価は Fig. 2 に示すように、におい、テクスチャー、うま味の強さは有意差がないが、多汁性や総合的な好ましさは低真空チルド室解凍が有意に高い評価を得た。流水解凍は多汁性の項目で有意に低評価となった。これら以外は食味への解凍方法の顕著な影響はみられなかった。

焼き魚の食味に及ぼす解凍方法の影響

Table 4. Effect of thawing method on the palatability of grilled fish

Thawing method	Microwave oven (intermittent irradiation)	Room temperature	Tap water	Chilled low- vacuum chamber	Refrigerator
Cooking yield (%)	74.6 ± 5.4	74.8 ± 8.8	72.5 ± 5.7	79.9 ± 2.3	72.5 ± 5.9
Cooking time (min)	14.5 ± 2.9 ^{xy}	12.3 ± 1.4 ^x	13.1 ± 1.3 ^{xy}	14.5 ± 3.0 ^{xy}	15.0 ± 0.4 ^y
Juiciness* (%)	29.7 ± 0.9 ^{xy}	26.5 ± 2.4 ^x	28.3 ± 2.2 ^{xy}	30.2 ± 1.5 ^y	30.3 ± 1.8 ^y
Rupture stress (×10 ⁷ N/m ²)	1.89 ± 0.11	1.86 ± 0.31	1.90 ± 0.31	1.88 ± 0.43	1.89 ± 0.27

Values are expressed as means ± SD (n=6)

*Filter paper method

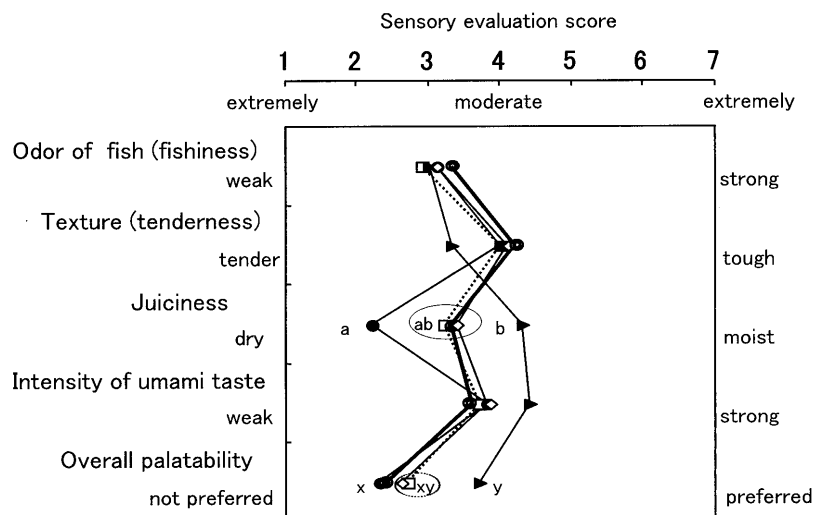
^{xy} Different superscripted letters in the same row are significantly different (p<0.05)

Fig. 2. Effect of thawing method on the palatability of grilled fish

●— Microwave oven (intermittent irradiation)

□···· Room temperature, —● Tap water,

—▲ Chilled low- vacuum chamber ·····◇···· Refrigerator,

Data are based on a scoring method and are from 10 panelists.

a,b,c Different letters show significant differences at p>0.01.

xy Different letters show significant differences at p>0.05.

Letters within a circle indicate no significant difference.

考 察

解凍後の品質を左右する因子は「解凍前の品質」「解凍速度、温度」「解凍終点」である²⁾が、最大の影響因子は解凍前の品質とされる⁷⁾。しかし、解凍前の品質は加工・流通が関与し、消費者には不明ことが多い。解凍前の品質の影響を考慮し、本実験はホームフリージングによる凍結条件の影響や冷凍・解凍の繰り返しの影響を除くため、専門業者から冷凍品を一括購入して、解凍の影響を検討した。他方、「解凍速度、温度」「解凍終点」の2因子は消費者側の関わりが大きい。田中⁷⁾は、解凍時に最大氷結晶融解帯(解凍曲線は凍結曲線の逆の形状で、凍結時の最大氷結晶生成帯に該当する部分の仮称)を緩慢に通過すると溶けた水の再結晶化が起こるが、急速解凍時はこの現象が起こらないとしている。しかし、魚介類や食肉類を品質よく解凍するには低温緩慢解凍がよい²⁾とされる。このように緩慢解

凍と急速解凍の評価は時に矛盾が生じている。これについて田中⁷⁾は、冷凍顕微鏡を用いて組織学的に検討し、凍結前の品質が良い場合、融解した水分の再吸収に時間的余裕を与えず急速解凍しても魚肉の組織はきれいに復元するが、解凍前の品質が悪ければ急速解凍では困難となることを示している。通常、解凍時に表面と内部に不均衡な温度分布が生じ、高温で急速に解凍すると早く溶けた表面やその下層部が高温にさらされて変質しやすいため、低温で緩慢解凍するのが無難な方法⁷⁾となる。

一般に解凍実験では「解凍速度」と「解凍終点温度」の2要因を分離して検討する必要がある⁷⁾。本実験では実際の解凍方法を考慮し、解凍終点温度を一定とする方が確実と判断して条件設定をした。また、本実験の解凍終点は、白身魚の凍結点が一1.1~一1.4℃⁶⁾であること、および一1℃は解凍曲線の急な立ち上がり位置(今回示してはいない)に該当することから最大氷結晶融解帯の終点とみられ、試

料の解凍不足の懸念は少ないと考えられた。解凍終点を一定とした本実験では冷蔵庫や流水解凍でドリップ量が多いことから、熱媒体の流体（水や空気）の熱伝導率と対流が解凍時の熱伝導に関与し、魚肉温度に比較的大きな内外差が生じ（試料表面は冷蔵庫解凍で $2.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、流水解凍で $15.0 \pm 5.0^\circ\text{C}$ ）、ドリップ量が増加したと示唆された。また、流水解凍と電子レンジ解凍は同等の解凍時間だが、ドリップ量に有意差が生じた。これには伝熱様式の差異および水圧の影響が考えられた。流水解凍はドリップ量が有意に多く、組織的にも筋繊維の戻り状態が不均一で比較的大きな空隙が見られ、そうした空隙部分からドリップが多く流出し、焼き魚の官能評価の多汁性の低評価につながったものと示唆された。

冷蔵庫解凍では解凍時間が低真空チルド室解凍の解凍時間の 40% 程度の短時間となり、この時間短縮には庫内対流の影響が示唆された。解凍時に扇風機を用いて風速を変えた研究^{3,14)}では、風速に比例して解凍速度が増加し、最大氷結晶融解帯の通過時間は送風時の $1/6 \sim 1/2$ に短縮した ($1.8 \sim 3.3 \text{ m/s}$ の送風時) と報告している。今回は冷蔵庫内の風速を測定していないが（ファンの稼働や停止が庫内温度で制御され、一定ではないため）、本実験でも送風が解凍時間を短縮させた一因と考えられた。また、送風の変動はドリップの標準偏差の大きさや明確に有意差の出ない多汁性の結果に影響する可能性があり、冷蔵庫解凍は更に検討が必要と考えられた。一方、低真空チルド室解凍（低真空状態）は、冷蔵庫解凍とほぼ同等の温度でありながら解凍所要時間が最長で、組織観察でも筋繊維は電子レンジの断続照射による解凍と同等かそれ以上に戻る傾向が認められた。低真空チルド室解凍については、解凍時に真空（減圧）状態にあると、水が昇華する際に食品表面を冷却する¹⁰⁾ため、試料温度の内外差が減少し、ドリップが減少したと考えられた。低真空チルド室解凍はドリップ量が少なく、焼き魚の歩留まりも高い傾向となり、官能評価でも多汁性と総合評価が高値を示した。そのため解凍時間の長さを除けば、この解凍方法は嗜好的な評価が高く有用であろう。

今回の 100 W の断続照射を用いた電子レンジ解凍については、解凍ムラやドリップの少ない状態で比較的短時間に解凍することが可能であった。通常、電子レンジ解凍は、電力半減深度や誘電損失係数に差異のある氷と水¹⁵⁾が共存するため、マイクロ波照射時の昇温ムラを避けることができない。マイクロ波の浸透しやすさの指標である電力半減深度は水が 5 m 前後、水が 1~4 cm と桁違いで、水は数百倍マイクロ波を吸収しやすい。また、加熱されやすさの指標である誘電損失係数は水の 0.001~0.005 に比べると、水の 5~15 は水が加熱されやすいことを示している。通常のマイクロ波の連続照射ではこの特性が関与し、試料中で氷の融解により生じる水に集中的にマイクロ波が吸収されて

温度の急上昇と温度ムラの拡大が起き、また形状的にも角部分の温度上昇が起きやすく¹⁶⁾、過度な照射は熱変性に至る場合もある。しかし、断続照射は試料の部分的な温度の急上昇を避けて魚肉温を比較的低温に保持しながら解凍を進行させ、組織的にも短時間で筋繊維が膨潤した状態になったと考えられた。ただ、電子レンジ加熱では金属性の温度センサーが使用不可のため石英の蛍光ファイバーを使用した、破損防止のため測定前に試料に金串で穴を開けてから挿入しており、その操作で若干のタイムラグが生じる。その間、試料の内部温度上昇を停止できず、この点は留意すべきところである。解凍後の焼き魚について、最終的な官能評価では低真空チルド室解凍で比較的高い評価を得る傾向が認められた。電子レンジ解凍は、多汁性が低真空チルド室解凍と同等であり、解凍時間は有意に短く、ドリップが有意に少ない点は評価できる方法といえよう。

本実験の 5 種類の解凍方法で、電子レンジ（断続照射）と低真空チルド室内での解凍は各々の特異性によって有用な一面が認められた。更に、最大氷結晶融解帯の通過所要時間も検討したが、2 時間以内に通過しているのは電子レンジと流水解凍のみで、その他はいずれも 2 時間以上はかかっていた。この点について、本実験は斉藤らの行なった温水解凍 (40°C や 50°C)³⁾ に比べて低温の温度帯にあるため、試料への大きな影響はなかったと考えられた。また、本実験においてドリップ量は必ずしも解凍速度には比例しておらず、このことは斉藤の報告³⁾と一致している。斉藤はさらに解凍時の周囲温度の低い方がドリップ量は減少したことから、解凍環境温度の重要性を指摘する³⁾と同時に送風の効果¹²⁾も述べている。本実験でも解凍時の環境温度と熱媒体となる流体（空気や水）の対流の複合した影響が示唆され、更に検討が必要と考えられた。ドリップ量と調理歩留まりについて検討したところ、両者には負の相関 ($r = -0.576$, $p < 0.01$) が認められた。

以上より、ドリップ量および食味評価を考慮すると、解凍に長時間かかっても、低真空チルド室解凍は評価が高く有用であろう。今回の 100 W 断続照射による電子レンジ解凍は、解凍時間が短くドリップが少ない解凍方法であった。

要 約

焼き魚の食味に及ぼす冷凍魚の解凍方法の影響を 100 W 断続照射による電子レンジ解凍、室温解凍、流水解凍、低真空チルド室解凍、冷蔵庫解凍の 5 種類について検討した。

- 1) 解凍終点温度を一定にしても、流水解凍・冷蔵庫解凍・室温解凍はドリップ量が多くなる傾向が認められた。特に流水解凍は、組織観察からも筋繊維の空隙が大きくなり、そこから流出するドリップが多くなり、加熱後の食味でも多汁性は有意に低く評価されていた。
- 2) 低真空チルド室解凍は、解凍時間が一番長い、筋繊維も比較的均一に戻る傾向があり、ドリップ量が少な

焼き魚の食味に及ぼす解凍方法の影響

い。また、調理歩留まりも高く、官能評価でも高評価が認められた。

- 3) 今回の電子レンジ解凍(100 W の断続照射)は、短時間でドリップ量が少なく、筋繊維も低真空チルド室解凍と類似の傾向がみられた。

文 献

- 1) 田中武夫 (1980), 食品冷凍における進歩—特に水産物冷凍の研究と実際からみて—, 凍結及び乾燥研究会会誌, **26**, 28-31
- 2) 熊谷義光 (1972), 冷凍食品の解凍, 日本食品工業学会誌, **19**, 34-46
- 3) 斎藤貴美子 (1996), 冷凍魚の解凍について, 日本調理科学会誌, **29**, 67-72
- 4) 米田千恵, 香西みどり, 畑江敬子, 広田起子, 中村淳 (2006), 3 種類の解凍法によるマグロ肉の品質, 日本調理科学会誌, **39**, 16-21
- 5) 米田千恵, 栗津原元子, 畑江敬子 (2008), 温塩水解凍により解凍したマグロ肉の品質, 日本調理科学会誌, **41**, 337-343
- 6) 杉本昌明 (1994), 冷凍魚介類の解凍, 冷凍食品製造ハンドブック, 熊谷義光, 山田嘉治, 小嶋秩夫編, 光琳, 東京, pp. 170-195
- 7) 田中武夫 (1969), 解凍法について, 調理科学, **2**, 48-53

- 8) 吉岡慶子, 前田典子 (1979), 低温保存による魚肉の生鮮度と調理・加工特性について—凍結魚肉の解凍条件とその品質におよぼす影響—, 中村学園研究紀要, **12**, 141-146
- 9) 吉岡慶子 (1981), 解凍方法が凍結魚肉の品質に及ぼす影響, 栄養と食糧, **34**, 315-323
- 10) 岡崎守男, 渡辺尚彦, 赤尾剛 (1991), 凍結と解凍, 食品工学基礎講座 5 巻, 加熱と冷却, 光琳, 東京, pp. 169-170
- 11) 松田由美子 (2002), 食品鮮度・食べ頃事典, 太田英明, 椎名武夫, 佐々木敬卓編, 株式会社サイエンスフォーラム, 東京, pp. 290-293
- 12) 吉岡慶子 (1975), 各種解凍条件が凍結鯨肉の品質に及ぼす影響について, 日本食品工業学会誌, **22**, 193-198
- 13) Shibata, K. and Yasuhara, Y. (1996), Effect of aging time after thawing on the palatability of frozen beef, *J. Home Econ. Jpn.*, **47**, 203-211
- 14) 斎藤貴美子 (1987), 冷凍メルルーサの解凍に関する研究 (第 2 報) 送風解凍・電子レンジ解凍について, 文教大学女子短期大学部 研究紀要, **31**, 27-33
- 15) 肥後温子 (1988), 電子レンジの加熱特性, 調理科学, **21**, 35-42
- 16) 肥後温子, 島崎道夫 (1990), マイクロ波加熱による昇温特性の分類 (第 1 報), 日本家政学会誌, **41**, 585-596

(平成 23 年 7 月 1 日受付, 平成 24 年 1 月 13 日受理)

和文抄録

焼き魚の食味に及ぼす解凍方法の影響を検討するため、冷凍魚（メカジキ：学名 *Xiphias gladius*）の数種類の解凍方法の実験を行なった。我々は 5 種類の解凍条件—1. 電子レンジ（100 W 断続照射）；2. 室温解凍；3. 流水解凍；4. 低真空チルド室解凍；5. 冷蔵庫内解凍—を比較した。

解凍の内部温度終点を -1°C にした場合、電子レンジ断続照射による解凍は解凍時間が最短で、最も解凍ドリップが少なかった。低真空チルド室の解凍は最も長い解凍時間であったが、解凍ドリップが比較的少なく、筋繊維も十分に水和膨潤していた。更にこの方法は調理歩留まりが高めになり、焼き魚の食味も好まれていた。流水解凍した場合の焼き魚は、ドリップ量が多いため多汁性が低く評価されていた。