総 説

冷 凍 食 品 の 解 凍

熊 谷 義 光*

Defrosting of Frozen Foods

YOSHIMITU KUMAGAYA

1. 冷凍品と冷凍食品の解凍

最近の食生活の変化とコールドチェーンの整備に伴い、冷凍食品の生産量は第1表に示すように年々急激に増加し、約240万トンに達している。このうち家庭用の製品形態としての冷凍食品は約12万トンで大部分は原料素材としての冷凍品である。冷凍品を利用する場合これを解凍して凍結前の状態に還元しなければならないが、冷凍食品の解凍は(1)消費者用の冷凍食品と(2)加工原料素材としての冷凍品の2つに分けて考えなければならない。第1の消費者用の冷凍食品では消費普及の見地からむずかしい解凍方法や条件を要求することはなるべく避けなければならない。また必要により急速解凍しても安定した品質の解凍品が得られ、冷凍食品の簡便食品としての特性を損なわないようにしなければならない。この点消費者用の冷凍食品は形状を小さくすることにより解凍時間を短縮でき、また加熱調理などの凍結処理に

より高温急速解凍も可能になる。しかもこのような消費者用の冷凍食品では厚さがうすく凍結速度が均一なため、解凍速度の品質に及ぼす影響は少ないとされている¹⁾。冷凍食品の大きさと解凍時間との関係について冷凍鯨で試験した結果²⁾は第2表に示すとおりで、形状が小さく厚さがうすくなるに従い、解凍時間が傾斜的に短縮されることがわかる。また第3表³⁾は消費者用の冷凍食品について解凍速度の品質に及ぼす影響を、試料として約2.5kgのメルルーサを用いて試験した結果で、4方法で解凍し、各試料から厚さ1.5~2cm、重量約60gの切身をつくり、液体窒素凍結して-23℃のストッカーで1日冷蔵後40℃温水、21℃流水、26℃室温および5℃静止空気中で解凍後パン粉をまぶしたものと、あらかじめパン粉をまぶして凍結したものをそのまま、それぞれ170~180℃の熱油で揚げ、熟練検査員6名で色、香味、肉質から総合的に判断して順位をつけ、その順位

第1表 我国の冷凍品³⁾と冷凍食品の生産量の推移

年	合 計 (千トン)	¹ 冷凍魚 (千トン)			² 冷凍食品 (トン)					
		陸上加工	船上加工	計	水産物	農産物	畜産物	調理品	ソノ他	計
40	1,826	1,141	659	1,800	9,893	5,849	1,148	8,942	636	26,468
41	1,864	1,217	609	1,826	12,482	7,857	3,641	13,365	616	37,961
42	2,075	1,340	681	2,021	20,115	10,208	4,430	19,354	22	54,129
43	2,433	1,632	724	2,356	28,787	15,375	8,847	25,397	702	77,108
44	2,337	1,120	1,094	2,214	40,384	28,529	3,952	48,288	2,346	123,499

(注) 1: 農林省「水産物流通統計年報」による。(鯨を含む) 2: 日本冷凍食品協会統計。 3: 我国の冷凍品は大部分が冷凍魚とみなせる。

* 日本冷凍食品検査協会神戸検査所
(神戸市生田区加納町 6-16 輸出雑貨センター内)
Japan.

第2表 冷凍食品の大きさ和解凍時間

No.	解凍時間 (分)	重 量 (kg)	厚 さ (cm)	大 き さ 縦×横×厚さ (cm)	単位表面積 (cm ² /kg)
1	310	8.76	15	23×30×15	308
2	130	3.86	7	20×30×7	493
3	85	2.39	3.9	20×30×3.8	651
4	60	1.04	3.7	20×15×3.7	826

第3表 冷凍食品の解凍方法と品質

方 法	1 次 解 凍			2 次 解 凍				
	時 間 (分)	ドリ ッ (%)	重電減 (%)	温 水	流 水	室 温	5°C 空 気	熱 油
本装置	75	0.9	0.6	26	17	19	28	30
室 温	150	1.8	2.5	33	21	20	25	21
静 水	75	—	1.0	23	24	17	23	28
5°C 空気	1,705	0.1	0.54	20	25	16	32	27

和を示している。クレーマーの検定⁹⁾では5%の危険率で各試料間に品質上の有意差はなく、厚さのうすい消費者用の冷凍食品では必要に応じて低温で緩慢に、あるいは高温で急速に解凍しても解凍方法による大した品質差のないことが伺える。これに対し第2の加工用の原料素材の冷凍品は、(イ)数量的に現在流通している冷凍食品の大部分を占めて解凍需要が多い上、(ロ)作業能率、生産コストの関係から一般に形状が大きく、かつ(ハ)その大部分は生鮮解凍され、冷凍食品その他に再加工される。

これら業務用の解凍方法としては、一般に空気や水を解凍媒体とする方法が行なわれているが、大型のため解凍に長時間要し、その間の品質低下、細菌汚染、ドリップ流出、重量減少などの問題がある反面、二次加工原料として良品の解凍品が要求されるところに解凍技術上の問題点がある。解凍は凍結同様重要な工程であるにもかかわらず、ただ単に自然放置してもどるところから、とかく軽視されがちであるが、解凍方法の優劣は解凍品の品質、味に重大な影響を与えるだけでなく、温度条件などの変動により時間計画性がなく、解凍ミスを起したり、解凍後の品質が一定しないなどの問題点も指摘され、大量に扱う業務用の解凍では、外的条件に支配されない専門の装置で適切に行なう必要性が認識されるようになり、最近の解凍需要の増大とともに解凍技術の研究は、大量に、安価に、良品に解凍する能率のよい解凍装置の開発研究に関心が向けられてきている。

2. 解凍について的一般論

冷凍食品の解凍は、(1)冷凍食品の種類(冷凍野菜、果

物、畜肉、魚貝類、乳等の別)(2)状態(生鮮冷凍食品か加熱調理冷凍食品かの別)(3)形態(表皮、包装の有無)(4)大きさ(大型の冷凍品か小型の冷凍食品かまた整形か不整形かの別)(5)喫食方法(解凍後生で食べるか加熱調理して食べるかの別)などの因子によって異なり、それぞれの冷凍食品について適切な方法を選択しなければならない。現在行なわれている解凍方法、解凍速度と解凍手段により分類すると第1図⁴⁾のようになる。一般に魚、肉、果物などは自然解凍し、半解凍の状態で喫食、調理する。一方野菜、調理冷凍食品は急速解凍する。野菜は一般に凍ったまま約5倍容の沸騰水中で3～5分加熱解凍する。この場合野菜は酵素不活性化のためブランチング後凍結されているので、解凍のため加熱時間は生野菜に比し1/2～1/3でよく、過度の加熱はクロロフィルの加水分解による色沢の劣化や肉質、風味の低下を招くので注意するとともに解凍後の急冷却は大切である⁶⁾⁶⁾。

調理冷凍食品は一般に熱油、熱湯、熱板、蒸気、電子レンジなどで加熱調理解凍される。調理冷凍食品のおもなものについてその解凍例を示すと第4表のとおりである⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。さて適切な解凍方法とは、できるだけ凍結前の状態に近くもどすような方法で、(イ)解凍時間は短い方がよく、(ロ)表面と中心部の解凍ムラが少なく、(ハ)解凍後の品質(色、鮮度、肉質)がよく、(ニ)ドリップが少なく、(ホ)衛生的であることなどが要求される。このためには、(1)解凍前の品質(2)解凍速度、温度、(3)解凍終温度の3点に注意を払わなければならない。

(1) 冷凍食品は一般に第2図のような工程で製造されるが、その品質は原料鮮度、前処理、凍結、冷蔵などいくつかの要因が積算されてその品質が決定される。なか

第1図 解凍方法の分類

第4表 調理冷凍食品の加熱解凍

品 目	解凍方法	電子レンジ	熱鉄板	熱湯	蒸気	熱油	オリーブ	備考
中華料理	ギョウザ	◎			○	○		* 印刷耐熱性フィルム袋詰のもの
	シューマイ*	○		○	◎	◎		
	春巻					◎		
	ハヤシ菜*			◎	○			
	肉まんジュウ	◎			◎			
	チャーシューメン		○	◎				
西欧料理	ステーキ*	○			○			
	シチュー*	○		◎	○		○	
	グラタン*	○		◎	○		○	
	カレー*	○		◎	○		○	
	ピラフ*	○		◎	○		○	
	チキンライス*	○		◎	○		○	
	ピザパイ	○	○				◎	
	コロケ					◎		
	ハンバーグ*	○	◎					
	スパゲッティ*	○		◎				
日本料理	茶碗むし	○			◎			
	うなぎ蒲焼*	○		◎				
	赤飯*	○		◎	○			
	肉御飯、釜飯*	○		◎	◎			
	めし類*			◎				
各種フライ類						◎		
スチック類						◎		
練製品類						◎		
かつ類						◎		

(冷凍食品)

(原料)
冷↓却
選↓別
(処↓理)
(包↓装)
(凍↓結)
箱↓詰
(冷↓蔵)

(調理冷凍食品)

(原料)
冷↓却
選↓別
(調↓理)
(包↓装)
(凍↓結)
函↓詰
(冷↓蔵)

第2図 冷凍食品の製造工程

(注) () 内は品質に影響するところ。

でも凍結、冷蔵条件は品質を左右する重要な因子である。解凍は凍結前の状態に再現する方法であり、よい解凍品を得るためにはなによりも解凍前の品質を吟味する

ことが第1条件になる。冷凍食品は通常数カ月にわたって凍結冷蔵され、その間に乾燥、油焼け、変色などの表面変化のほか、氷結晶の成長、蛋白質の変性、油脂の酸敗といった内部変化が徐々になっている。そしてこのような凍結冷蔵中の悪変化は元に戻らない不可逆変化である。このような悪変化を最少にするには、新鮮な原料を用いて適切な前処理と包装を行ない、氷結晶をできるだけ微量にするように急速凍結し、また蛋白変性を少なくするため未凍結水分をなるべく少なくするように深温凍結し、その後の保管において氷結晶の成長がすみやかに進まないように -18°C 以下の低温で貯蔵し、保管中の温度変化を少なくする必要がある。そして一般に解凍前の品質がよく、保管期間の短いものは解凍方法の違いによる品質差は比較的少ないと考えられている¹¹⁾。

第5表はC級すり身の解凍条件とカマボコの品質との関係を示している。冷凍期間が1カ月の場合は解凍条件による品質差はあまり見られないが、2, 3カ月と貯蔵日数が長くなるにつれて解凍方法による影響が明瞭となり、低温で解凍した場合の方が品質がよくなっている¹²⁾。

(2) 解凍速度、温度

解凍速度が品質に及ぼす影響は、解凍に用いる空気や水など解凍媒体の種類や温度、流速などの条件の方がウェットが大きい場合があるが、解凍速度の重要性も無視できない要因である。魚貝類や食肉を生鮮解凍(生の状態に戻す)する場合、一般に低温空気で緩慢に解凍した方が、高温で急速に解凍したものより品質がよいといわれる。その理由は溶けた水が細胞や組織に再吸収される時間的余裕があり、ドリップが少なく、全体が均一にとけ品質低下が少ないことと、解凍終温度が低温に抑えられ、半解凍の状態で止めることができるためと説明されている。たとえば田中¹³⁾は鯨肉の静止空気解凍において、空気温度が $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ の場合と $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ の場合を

第5表 すり身の解凍条件とカマボコの品質

測定項目	冷蔵期間 解凍温度					
	3カ月			1カ月		
	10°C	20°C	30°C	10°C	20°C	30°C
解凍時間(時間)	18	17	16	18	16	16
返溶性-N量(%)	0.89	0.77	0.72	0.95	0.95	0.92
肉糊の状態	のび 良い	のび 良い	のび 悪い	良	良	良
カマボコ弾力(g)	628	572	530	617	600	567
折曲げテスト	AA	AB	A	AA	AA	AA
坐りの強さ(g)	320	287	212	—	—	—

比べると、収縮型の鯨肉では低温の方が解凍が緩慢に進むので、その間に解凍硬直が行なわれ、収縮現象もおだやかでドリップの少ない良品質のものが得られ、非収縮型の場合も、低温の方が解凍に長時間要するので、その間に凍結、冷蔵によって乱れた細胞組織が元に復帰する時間的余裕があるためか、ドリップ量の少ない良品質のものが得られ、静止空気解凍に関する限り低温緩慢解凍が有利と報告している¹³⁾。また齊藤¹⁴⁾は豚肉の解凍方法について試験し、 -2°C の静止空気中で72時間放置後 3°C の室温で解凍したものはドリップが少なく良質であったと報告して比較的低温で緩慢解凍したものが、わずかに温度を高めて急速解凍したものよりドリップの少ないのは、低温で解凍が緩慢に進行して肉の各部分が均一に解凍されるので、筋肉繊維が復元して水分が吸収されやすい状態で解凍したためで、急速解凍した場合は復元する時間的余裕がなかったものと考察している¹⁴⁾。しかし解凍に長時間要するのが欠点である。解凍中の品温の上昇は通常解凍曲線（第4図）¹¹⁾で示されるが、 -5°C ～ -1°C の温度帯では解凍に最も長時間かかっている。この温度帯は凍結過程においては肉中の水分の大部分が氷結するところから最大氷晶生成帯といわれるが、解凍の場合は逆に肉中の氷結晶が最もとける温度帯で最大氷晶融解帯と仮称される。この温度帯では加えた熱は水を融解する潜熱として使用されるため、品温の上昇がおくれ解凍に長時間要する。一方蛋白変性の面では、この温度

帯は肉蛋白質が最も変性しやすいとされており^{15),16),17)}、また氷結晶の面でもこの温度帯を急速に通過した方が、遅く通過させた際に解凍前線（凍結時の氷結前線に対応する仮称で、解凍域と未解凍域の境界面をさす）上に見られるとけた氷の再結晶化による細胞、組織の損傷を幾分少なくする利点も考えられ¹¹⁾また冷凍まぐろでは第4図に示されるように -6°C ～ -7°C 付近に最も色変の著しい温度帯があり¹⁸⁾、肉色保持の点ではこの温度帯をすみやかに通過した方が有利と考えられている¹⁹⁾。第5図は350gのマグロ肉を 30°C 20°C 10°C および 2°C の空气中で解凍し、解凍後のメトミオグロビン生成率を測定した結果を示している。 20°C 区が最も少なく、 30°C 10°C 2°C の順に増加が著しく、低温で緩慢解凍したものは色変度が一番大きい。また700gのマグロ肉片を 7°C の

第4図 まぐろ肉の色変と温度の関係

第3図 鯨肉の室温放置による解凍曲線と凍結曲線

1. 肉中心 深さ2.5 cm A面より5 cm
2. 肉中間 深さ2.5 cm A面より2.5 cm
3. 肉表面 深さ1.0 cm

第5図 まぐろ肉の解凍条件と色変の関係

1. 表面より 0～5 mm の深さ
2. 表面より 5～10 mm の深さ
3. 表面より 10～15 mm の深さ
4. 表面より 15～20 mm の深さ

流水で急速解凍した場合と 2°C 空気で緩慢解凍した場合の色変の度合は、第6図に示すように急速解凍(4時間)したものはほとんど増加が認められないのに対し、2°C 空気で44時間要したものは表面、内部とも色変が著しい。

これは -5~-1.5°C の最大氷晶融解帯通過に34時間要し、-6°C 付近の最大色変温度帯での経過時間の長いことが色変の進行に影響したためと考えられている¹⁹⁾。また冷凍バンの解凍は -7°C~-18°C の危険老化温度帯をすみやかに通過する方が解凍後の品質がよいとされ²⁰⁾さらに43年「暮らしの手帖」誌で冷凍魚を袋に入れて40°C の湯でもどす方がよいなどの見解²¹⁾も発表されるなど、急速解凍した品質の利点を再認識される傾向がでてきているが、田中(武)²²⁾は組織的に観察した結果、解凍前の品質が良好であれば、別に再吸収のための時間的余裕を与えず、急速解凍しても立派に復元することが示され、最近急速解凍しても差支えないほど高品質の冷凍魚が出回ってきたと考えられるところから、解凍終温を低く保つようにして急速解凍することは能率上、品質上から見てよいことと考えるとして述べている。ただ40°C 解凍は少量の魚を注意して解凍する場合はよいが、大量の魚を扱う現場の場合は避けた方が無難と注意している²³⁾。

解凍速度は単位時間内に解凍媒体から凍結品の表面、表面から内部へと伝わる熱量の大きさに支配され、次の様な関係式²⁴⁾で示される。

$$Q_1 = \alpha F(\theta_1 - \theta_2) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_2 = \lambda F(\theta_2 - \theta_3)/r \dots\dots\dots (2)$$

Q_1 : 表面伝熱量, Q_2 : 内部伝導量 (kcal/h) α : 表面熱伝達率 (kcal/m²h°C), λ : 内部伝導率 (kcal/m²h°C) F : 表面積 m², r : 内部伝熱距離 m, θ : 解凍媒体) 温度 °C, θ_2 : 表面温度, θ_3 : 表面から r の距離の温度 °C を示す。解凍速度を速くするためには Q_1 と Q_2 を大きくする必要がある。このためには第1に形状を小さく

くして表面積を大きくし、厚さをうすくすることが考えられるが、これは I. Q. F 製品やスライス解凍に取入れられている。第2に表面熱伝達率 (α) や内部伝導率 (λ) を大きくし、解凍媒体の温度を高くして温度差を大きくする方法が有効となる。しかし内部伝導率は食品内部の水結率により異なり、氷の2に対して水では0.5とずっと低い値になる。このことは表面の解凍が進むに従い氷結部分が水に変わって次第にその厚さを増すため、内部への熱伝達は伝導率の少ない層を通じて行なわれることになり、解凍速度がおくれるという凍結の場合とは逆の不都合な要因になる。又解凍温度については品質、衛生面で相反する問題がある。今適切な解凍条件として、品質、解凍時間、衛生の条件を取り上げ、一般的な空気解凍について見た場合、品質についてはドリップを少なくしようとする温度は低い方がよいが色沢が劣り、色を元に近くしようとする空気温度は高い方がよい。鯨肉の解凍ではドリップを最少に止める問題があるので、空気の温度は5~10°C と低い方がよく、マグロなどでは肉色保持の問題があるので、20°C 近辺の高温にしたい方がよいといえよう。

また短時間に解凍しようとするれば空気温度を高く、細菌数を少なく解凍しようとするには低温で行なわなければならない。食品衛生法では生食用冷凍魚貝類の加工基準の中で10°C 以下の室温か、飲用適の流水中解凍を要望している。このような相反する条件下で適切な解凍方法の選択は両者の最大公約数を取り、15°C 近辺の空気か、水の場合は空気より熱伝達率が大きいので温度を下げて10°C 近辺が一つの目標と考えられている²⁵⁾。

空気や水による熱伝達は温度を除外して考えた場合、流速と圧力の函数になる。空気解凍の場合、空気の流速を速くすると α が大きくなり解凍速度が早くなるが、乾

第6図 まぐろ肉の解凍条件と色変の関係 (2)

第7図 圧力・風速と解凍時間の関係

燥、目減りの問題があり、1~2 m/sec 以上に風速を上げることが好ましくない。そこで加圧空気では α を大きくする方法が考えられる。第7図は空気の圧力、流速と解凍時間の関係を示している²⁾。A要因として圧力、B要因として風速をとり、A要因を0, 1.5, 3 kg/cm²、B要因を1, 2 m/secの各水準において冷凍すり身C級を用いて温度20°Cで解凍した結果で、風速1 m/secで圧力が上昇するに従い解凍時間が270分から165分に短縮され、さらに風速を2 m/secに増した場合、解凍速度は一層加速され、分散分析²⁶⁾の結果5%の危険率で解凍促進の要因となっていることがわかった。なお、対照として同じ大きさの試料を室温(25°C)に放置して解凍した場合は、435時間要している。

(3) 解凍終温度

解凍終温度は解凍速度よりも解凍後の品質に大きな影響を与える。それは解凍後は生鮮品に比べて品質劣化が速く、顕著だからである。一般に生鮮解凍では氷結点以下の半解凍の状態で止めた方が品質的によい。第8図²⁾

はサバの解凍終温とドリップ量、重量減少率の関係をj示している。解凍終温を-2, 0, +5°Cとした場合、解凍終温が高くなるにつれて品質が低下していることがわかる。また第9図²⁾はサバの解凍後の貯蔵性を示している。魚や肉の解凍は半解凍の状態では止めるとともに解凍後はできる限り早く処理することが大切で、10°C以上の温度に放置した場合は急激に細菌が増加し品質低下するので、低温に保持するとともにできる限り早く処理しなければならない。冷凍果物の解凍も一般にできるだけ低温で自然解凍し、半解凍の状態では喫食するのがよく、最適な供食温度は-2.5°C付近である。また0~5°C自然解凍中の酸化によるビタミンの損失を防ぐため、包装のまま空気で解凍し、解凍後は生鮮のものより栄養価の損失が大きいため、必要量を供食時間に合わせて解凍することが大切である⁷⁾。すり身の解凍についても完全解凍した肉に比べて半解凍の方が品質がよく、カマボコの品質もまさる傾向にある。解凍しすぎて品温が高い場合は塩溶性蛋白量が少ない値を示し、品質が低下している。

解凍方法	解凍時間			-2°C	0°C	+5°C
	-2°	0°	+5°	1%	1%	1%
本装置	29分	47分	81分			
室温	150	177	221			
5°C空気	990	1,120	1,257			

■ ドリップ □ 重量減少

第8図 解凍終温と品質の関係(サバ)

室温(21~25°C)放置 5°C冷蔵庫放置

第9図 サバの解凍後の貯性

またスライス解凍して肉温 0°C から塩ずりしてカマボコを作った場合、概して品質のよい結果が得られている。これは急速に解凍されたためにその間の肉温の上昇が少なく、カマボコ足形成に關する塩溶性蛋白が時間的にも温度的にも少ないためと考えられている¹²⁾。

また第10図は電子解凍後の鯨肉を $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ と $30\sim 32^{\circ}\text{C}$ 温度区で放置した際のドリップ量を示している。高温区放置の方は低温の10%に比べ20%のドリップが発生し、表面が黒く変色し、異臭が発生して品質低下が認められ、電子解凍直後はドリップも少なく(3%以下)生鮮同様にきれいな解凍肉も、解凍後の処置を誤ると折角のよい解凍法も無意味になることを示唆している¹¹⁾。

3. 解凍上の問題点

(1) 解凍と衛生

冷凍食品には一部を除き加熱殺菌工程がなく、凍結およびその後の冷蔵は細菌学的に見た場合、食品に付着した細菌を死滅、減少させるというよりその発育を抑制し、細菌数を増加させない手段と考えなければならない。それゆえ凍結前の細菌数を少なくするため、原料の解凍から製造工程全般の衛生的な取扱いが大切である。第6表²⁷⁾はサバ切身の細菌汚染経路を追跡した結果を示している。解凍用水や加工処理工程の衛生管理に注意すれ

第10図 電子解凍後の鯨肉を $10\sim 14^{\circ}\text{C}$ と $30\sim 32^{\circ}\text{C}$ との室内に放置した際のドリップ量

第6表 サバの切身の汚染経路追跡試験

No.	加工工程		温度 ($^{\circ}\text{C}$)		生菌数/g	大腸菌* M.P.N./100g
	工程	条件	品温	室温・水温		
1	原料	冷蔵室保管	-23	-23	<3,000	0
2	解凍後	静水タンク (70分)	0	7~8(水温)	9.1×10^4	140
2	"	ポリ袋空気中 (18時間)	8	8(室温)	<3,000	0
3	切身	切断直後	—	8(室温)	1.2×10^5	2,400
4	"	水洗後	—	10(水温)	1.5×10^5	230
5	凍結後	コンタクトフリーザー (22時間)	-30	—	8.5×10^4	210

* E.C. テスト。

ば、最終製品の細菌汚染はかなり防止できよう。また藤原²⁸⁾はえび、タラスチックの製造工程の細菌検査を行ない、原料である冷凍タラの解凍水の細菌数が 10^7 ありこのため解凍後のタラが高い生菌数を示し、最終製品の生菌数が多くなる原因のひとつとなっている点を指摘している。また小嶋²⁹⁾は冷凍フライ、コロッケなど調理加熱解凍による生菌数の変化を調べ、油揚げ前 10^4 のものが油揚げ後 10^3 (中心温度 $63\sim 65^{\circ}\text{C}$) になると報告している。

(2) 解凍ムラ

第11図は各種冷凍水産物を解凍した場合の表面と中心部の平均温度差を示している³⁾。表面と中心部との解凍ムラは中心温度が -5°C から大きくなり始め、 0°C において最大になる傾向がある。最大氷晶融解帯において解凍ムラが大きくなる現象は、この温度帯では加えた熱の大部分が氷をとかず潜熱として使われるため品温の上昇がおくれることと、解凍が進行して氷結率が小さくなるに従い、内部伝導率 (λ) の値が小になり中心部の昇温がおくれるため、相対的に表面と中心部の温度差が大きくなるものと考えられる。最大氷晶融解帯での昇温のズレは解凍品の表面と内部で解凍の時間的ズレを生じ、中心部が解凍されるまでの間、食品表面が比較的高温に長時間おかれることになり、表面がおかされ、品質低下の要因になり勝ちである。一般に解凍中の変質、細菌増殖を少なくするため、解凍に長時間要する場合は $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ の低温で行ない、高温で解凍する場合は短時間に行なうことが必要である。解凍の注意事項として解凍終温度を低くし、氷結点以下の半解凍の状態で解凍を止めた方が、品質、衛生的によいことを述べたが、半解凍で中止した場合、表面との温度差は 10°C 以下に抑えられ、解凍ムラによる悪影響を最少限に止めることができると考えられる。

第11図 中心温度と平均温度差

(3) 解凍硬直

冷凍鯨、食肉などで死後硬直前の高鮮度のものを解凍した場合、筋収縮に關与する ATP がそのままの状態凍結肉中に保存され、解凍時温度上昇とともに死後硬直を來たして筋肉が著しく収縮し、過度のドリップを流出する、いわゆる解凍硬直の現象を生じる。第 12 図はその模様を冷凍鯨肉で実測した例を示している⁸⁰⁾。はじめ $5 \times 5 \times 5 = 125 \text{ cm}^3$ 容積の冷凍肉片が、 25°C で 2 時間解凍後において、およそ $2 \times 7 \times 5 = 70 \text{ cm}^3$ となり 44% の容積減となっている。また第 7 表は冷凍鯨肉のドリップ量に及ぼす解凍温度の影響を示している¹⁸⁾⁸⁰⁾⁸¹⁾。鮮度のよい (95%) 鯨肉では解凍温度が高いほど ATP の分解が急激に発生し、多量のドリップを流出しているが、 5°C では少なく低温解凍の優位が認められる。解凍硬直を阻止するには、凍結保管中に ATP を分解させてしまい、解凍時 0 の状態とし解凍硬直を起させない方法、たとえば第 13 図から -25°C では分解はある程度以上進行しないが、 -15°C ではやや進み、 -5°C では 6 カ月

第 12 図 冷凍鯨肉の解凍硬直による変形容積減少

第 7 表 冷凍鯨肉のドリップ量に及ぼす解凍過度の影響

解凍温度	鮮度 (95%)	鮮度 (85%)	所要時間
30°C	27.1%	14.2%	4
20°C	21.6	8.7	3.5
10°C	12.3	6.9	5.5
5°C	3.9	2.8	7.5

ぐらいでかなり分解され解凍硬直が起こりにくくなるので、保管温度を引き上げて抑制することは可能である⁸⁰⁾。実用的方法としては 10°C 以下の低温で半解凍までに解凍硬直をおだやかに終らせる方法や、 $-2 \sim -3^\circ\text{C}$ の低温空气中に 7~10 日放置し、半解凍の状態解凍硬直を進行させ、次いで 15°C 近辺の比較的高温で普通に解凍する 2 段階解凍¹⁸⁾⁸¹⁾が推奨されよう。

4. 解凍装置

(1) 低温微風解凍装置³²⁾

解凍時間 15 時間を目標に、毎秒 1 m/sec 前後の低風速の加湿空気を $0 \sim 5^\circ\text{C}$ の低温室内で凍結品に均等にあてながら解凍する装置で、収容量 5 トンの装置で巾 3.9 m、奥行 5.4 m、高さ 2.3 m の大きさと構造は第 14 図に示すとおりである。解凍中の温度変化は最大氷晶融解帯で長時間横ばいし、内外の温度差は少なく、18~19 時間で半解凍に達し、ブロック分離作業性が適当な状態になる。解凍後の品質測定結果は品質的にとくにすぐれているともいえないが、実用目的に対して品質上の欠点は見出されていない。また本装置は解凍時間をコントロールすることができ、解凍後も同じ状態で長時間保持することができ、加工時に解凍肉全体の堅さが均一で、作業能率を向上させることができると報告されている。

第 13 図 収縮型冷凍鯨肉の冷凍保管中の $\Delta 7p$ 分解

第 14 図 解凍庫の構造例

(2) 圧搾空気解凍装置³⁾

試作装置の外観は第15、16図 構造は第17図に示すとおりで、本体は直径約0.7m、奥行約1mの鉄製タンクで、金網バスケットに冷凍品を入れ、密閉後コンプレッサーで庫内圧力を2~3kg/cm²に上げ、庫内温度15~20°C、風速1~1.5m/secの流動空気で解凍する装置で、従来の流動空気に圧力という因子を加えて熱伝達率(α)を大きくし、解凍時間を短縮させた点が特徴である。解凍時間は第18図に示すとおりで静水解凍と同程度でかなりの急速に解凍でき、時間計画性があり、解凍時間(y)と被解凍品の単位重量(x)の間には、高度の相関($r=0.895$)があり、 $Y=28.3x+31.1$ の回帰直線が得られた。(第19図)一方高温解凍の欠点として

解凍ムラが生じやすいが、半解凍の時点で解凍を中止することにより表面との温度差を最少限に抑えられる。ドリップ量と重量減少率について室温解凍と比較した結果は、第20図に示すとおりで、全般に本装置で解凍したものは室温解凍よりやや少ない傾向にある。また第8表に示すように解凍後の保水性(解凍肉から2×2×1cmの肉片を切り取り、特製遠心管にとり、10°Cで1,000 r.p.m.

第15図 圧搾空気解凍装置外観

第16図 装置内部

第17図 圧搾空気解凍装置構造図

第18図 解凍時間の比較

第8表 解凍後の保水性

品名 解凍方法	目録鮐 (1.2kg)				メルルーサ (ドレス2.7kg)			
	時間 (分)	ドリッ プ(%)	保水性 (%)	重量減 (%)	時間 (分)	ドリッ プ(%)	保水性 (%)	重量減 (%)
本装置	120	1.1	15.58	0.71	75	0.9	21.94	0.6
室温	265	5.0	19.97	1.50	150	1.8	25.71	2.5
静水	135	—	17.63	1.25	75	—	16.09	1.0
5°C 空気	—	—	—	—	1,075	0.1	21.66	0.54
砕水	1,350	2.1	25.18	2.0	—	—	—	—

遠心流出量を測定し、遠心前の重量との百分比で表わす³⁸⁾も室温解凍に比し良好であった。これについてはさらに追試する必要があるがこの試験結果だけから見ると、試料は同一ブロックを切断して使用し、解凍前の品質条件が同一と考えられるところから、急速解凍した方が室温で緩慢に解凍したものより最大氷晶融解帯をすみやかに通過し、蛋白質の変性や肉組織の損傷が少なく、保水力があり、庫内圧力と平衡状態にあってドリップが圧出されないのではないかと推察される。収縮型鯨(小切特級)では解凍硬直を生じ多量のドリップ(26.3%)と重量減少(26.6%)が見られた。この現象は室温(26°C)解凍にも見られ27.7%, 27.1%と多かった。しかし5°C空気で解凍した場合は少なく、それぞれ11.3%, 15%であった。一方非収縮型の鯨肉ではドリップ、重量減少率

第19図 解凍品の重量と解凍時間の関係

ともに少なく、それぞれ5.4%, 5.7%, 室温解凍で6.4%, 7.5%であった。この点前述の2段階解凍が推奨される。また本装置、室温、静水(5°C 空気)の各方法で解凍した場合の理化学、細菌学的試験結果は第21図に示すとおりで、巨視的に見て解凍中の変化は比較的少なく、また各解凍方法との大きな差異は見られなかった。また官能検査の結果は、色沢、肉質概してよく、とくに鯨肉は鮮紅色を呈し良好であった。また香味は本装置で解凍したものは各試料とも高く評価されている点特徴的である。

(3) 電子解凍装置^{34), 35), 36)}

マグネトロンから出す2,450 MHzのマイクロ波を冷凍食品に照射して食品内部分子を振動させ、その摩擦熱により表面からだけでなく内部からも急速に解凍する装置で、小型で厚さがうすく、加熱調理される冷凍食品では、解凍時間が短く、ドリップも少なく、品質衛生的に他の方法に比較してすぐれた装置であるが、形状の大きい業務用冷凍品を生鮮解凍する場合には解凍ムラなどの問題点があり、断続照射、食品表面の強制空冷、適当な電波防具使用などの改良工夫が必要とされる。ある物質に高周波電界を加えたときの発熱量は次式で与えられ、その物質の誘電率、誘電体損失角、マイクロ波周波数が大きいほど大で、かつ加えられた電界の2乗に比例

第20図 ドリップと重量減少率

して大きくなる。

$$P = (1/1.8) f \cdot E^2 \cdot Er \cdot \tan \delta \times 10^{-10}$$

P : 発熱量 w/m^3 , f : 周波数 Hz , E : 電界の強さ v/m
 Er : 物質の誘電率, $\tan \delta$: 物質の誘電体損失角, ここで $Er \tan \delta$ (損失係数) は物質の加熱されやすさの目安となる値で, 温度や周波数によって変動する。また水と氷の損失係数に大きな差があり, 水の方が氷より著しく大きい。したがって冷凍品の表面が解凍して水っぽくなると誘電体損失が大きくなり, マイクロ波の吸収が著しく大きくなって表面の解凍が急速に進み, 加速度的に加熱される。とくに角や突起部分があると局部加熱される。この現象をランナウエー現象という。一方電波の内部透過の深さ D は次式のように電波吸収のよさ (発熱量) と逆比例の関係にあり, 厚みのあるものは, 内部まで透過せず表面と内部で解凍ムラを生ずるという問題がある。

$$D \propto \frac{1}{f \sqrt{Er \cdot \tan \delta}}$$

D : 電界の強さが $1/e$ になる透過の深さ (m)

第22図は凍結肉の厚さが, 5, 11, 15 cm の3種類の材料を用い, 照射10秒, 休止70秒の解凍条件によって解凍した結果を示している。凍結肉の厚さが5 cm と11 cm との間には解凍速度の差は少ないが, 15 cm との間には大きな差があり, この解凍条件では解凍を行なうことが不可能であり, 解凍プログラムの設定について再検討を行なう必要があるが, マイクロ波の半減深度, 解凍曲線から考慮すると, 5~11 cm 程度の凍結肉を造ることが得策であろうと考えられている¹⁴⁾。解凍装置の基本構造を示すブロックダイアグラム例は第23図に示すとおりで, 解凍ムラなどの対策として, 食品表面の強制空冷 (-15°C), マイクロ波の断続照射, 適当な防具の応

第22図 解凍庫による解凍曲線
(照射10秒, 休止70秒)

第23図 解凍装置の構造

用, 単位重量当りの最適電波量の決定などの工夫を施している。最近 915 MHz が 2,450 MHz に比し厚物の加熱に適しており, 連続照射しても角などの過熱が少ないという利点があり, 電波法上自由に使用することはできないが, 誘電加熱の周波数として最もバランスがとれた広い用途をもつものとして研究が行なわれている。

文 献

- 1) 加藤・石渡: 食品冷凍法, p. 78 (1965).
- 2) 熊谷: 冷凍, **45**, (508), 122~130 (1970).
- 3) 三浦: 工場に於ける官能検査の進め方, 日科技連 (1966).
- 4) 田中: 食品冷凍テキスト, p. 153 日本冷凍協会 (1970).
- 5) 稗田: 冷凍, **45**, (508), 189~197 (1970).
- 6) 江口: New Food Industry (Japan), **9**, (8), 28~31 (1967).
- 7) 稗田: 食品工業, **13**, (20), 12~20 (1970).
- 8) 清原: ジャパン・フード・サイエンス **10**, (6), 41~45 (1971).
- 9) 長井: 冷凍, **46**, (521), 80~84 (1971).
- 10) 熊谷: 「暮らしの一日講座」資料 6-4 大阪市消費者センター (1971).
- 11) 田中武夫: テキスト, 冷凍品の解凍, 日本冷凍協会 (1970).
- 12) 田元: 冷凍, **45**, (508), 169~178 (1970).
- 13) 田中: 冷凍, **35**, (388), 79~91 (1960).
- 14) 斎藤: 冷凍, **45**, (508), 178~188 (1970).
- 15) 鈴木: 冷凍, **42**, (471), 46~54 (1967).
- 16) 田中武夫: 日本水産学会秋季大会, シンポジウム議事録, 202~210 (1963.10).
- 17) Love R.M.: *J. Food Sci.*, **27**, (6), 544~550 (1962).
- 18) 尾藤: 日水誌, **33**, (1), 33~40 (1967).
- 19) 尾藤: 日水誌, **36**, (4), 402~406 (1970).
- 20) 田中康夫: 冷凍, **45**, (508), 198~206 (1970).
- 21) 暮らしの手帖: 第94号, 16~19 (1968).
- 22) 田中武夫: New Food Industry (Japan), **11**, (6), 2~9 (1969).
- 23) 田中武夫: 冷凍, **45**, (508), 139 (1970).
- 24) 加藤: 食品冷凍テキスト, 86~91 (1970).
- 25) 田中: 冷凍, **45**, (508), 99 (1970).
- 26) 鉄・奥野: 実験計画法, (1), (2), (1968).
- 27) 全国協同食料神奈川センター: 冷凍水産物の品質試験 p. 19~25 (1967).
- 28) 藤原: 食品開発, **14**, (11), 37 (1969).
- 29) 小嶋: 冷凍, **45**, (508), 216 (1970).
- 30) 天野: 冷凍, **45**, (508), 159~168 (1970).
- 31) 田中: New Food Industry (Japan), **9**, (8), 7~19 (1967).
- 32) 中出: 冷凍, **45**, (508), 114~121 (1970).
- 33) 大田ら: 冷凍, **42**, (471), 15 (1967).
- 34) JASAN A.C, SANDERS H.R.: *Food Technol.*, **16**, (6), 101~112 (1962).
- 35) 大島, 食品工業, **13**, (20), 26 (1970).
- 36) 深田: 冷凍, **45**, (508), 141 (1970).