418 凍結保存技術に関する基礎的研究 (冷却面上におかれた液滴の凍結挙動)

Basic Study on Technique of Freezing Preservation (Freezing Behavior of a Droplet on Cooled Surface)

○正 渡辺 敏晃 (水産大)
学 千野 和史 (水産大)

正 横田 源弘 (水産大)

Toshiaki WATANABE, Motohiro YOKOTA and Kazushi CHINO
Dept. of Ocean Mech. Eng., Nat. Fisheries Univ., 2-7-1, Nagata-honmachi, Shimonoseki

Key Words : Freezing Preservation, Water Droplet, Icing

1. 緒 言

現在、日本は近海で自国の消費量に見合うだけの魚を採ることができないでいる。そのため、日本に持ってくるまでの間、品質を損なわないための保存技術が必要であり、現在その主流は凍結保存である。近年の食文化に対する社会のニーズはますます厳しくなる一方であり、いかにして「旨み」を損なわない冷凍保存を実現するかが問題である。最も効果的で優れた冷凍・凍結保存とは被保存物の細胞を破壊することなく凍結させ、T-T-T (時間-温度-品質耐性)⁽¹⁾で示された保存が効く温度まで、低温化することである。それには、細胞内に含まれる水分の凍結を如何にして制御するかが問題であり、冷凍・凍結の技術の向上を図るためにはまず水の凍結状態^{(2),(3)}を十分に理解する必要がある。本研究においては、その第一歩として水が凍結する際の基礎的な現象の理解を目的とした。これにより冷凍保存技術を考える上での有益な知見を得ようというものである。

2. 実験装置及び方法

Fig.1 に実験装置の系統図を示す。試験槽である Test Box は内寸法 150mm×270mm×155mm、肉厚 15mm の発泡スチロール製で前背面には可視化用の二重窓が設けら

① Cooling Water Circulator	⑥ Video Camera
② Cold-Proof Hose	⑦ Monitor
③ Copper Pipe	⑧ Data Logger
④ Test Box	⑨ PC
⑤ Light	⑩ Cooling Stage

Fig.1 Schematic diagram of Experimental apparatus

れている。Test Box 内冷却管には液滴を置く冷却ステージが3つ (真鍮製の中実棒、サイズは $d=8, 5, 3\text{mm}$) ろう付けにより固定されている (Fig.2 参照)。これら冷却ステージにはそれぞれ温度測定用の熱電対 (Type-T, 素線径 0.25mm) が設けられている。

液滴の凍結挙動の可視化にはビデオカメラを用い、映像はモニターで観察すると同時に記録、保存した。温度はデータロガーを介し、パソコンに接続して計測される。被試験液体には、水道水を採用した。

実験は冷却ステージ $S_8 \sim S_3$ に液滴をのせ、冷却水循環装置を始動させることにより開始する。冷却装置の温度変動の影響を極力避けるために、設定温度をたえず降下させていく方法を採用した。

3. 実験結果及び考察

本報告においては外径 8mm の冷却ステージを用いて行った実験結果について述べる。

Fig.3 に実験中の試験槽内温度、冷却ステージ温度、冷却水温度の時間変化を示す。この図における時間のゼロ点は凍結を開始した時間を可視化画像から割り出し、適用したもので、絶対量にあまり意味はない。冷却水温度はこの図を見ても確認できるとおり、若干変動するものの、単調に降下している。試験槽内温度は冷却管及び、冷却ステージにおける吸熱により、徐々に降下していくものの、実験中は冷却ステージよりも十分に高い温度を保っている。ここで、冷却ステージの波形を見てみると、 $t=0\text{s}$ で急激な温度上昇が見られる。これは凍結により、潜熱放出があったことを示している。

Fig.4 にはこのときの液滴の様子を透過光で撮影した

Fig.2 Detail of cooling stage

場合の写真を示す。 $t=0$ s で冷却面中心部が若干白くなりはじめ、凍結開始を表す。 $t=1$ s では液体自由表面上を樹枝状のものが延びてくるとともに、冷却面から上方に向かって凍結面が生じてきている。 $t=2$ s になると樹枝状結晶はさらに成長して延びてきており、凍結面もわずかが進行している。 $t=5$ s では自由表面は完全に水で覆われている状態となる。その後、 $t=13\sim 50$ s と時間の経過に伴い、内部凍結面が上昇してきており $t=50$ s では液滴高さの半分をちょうど半分を超えた辺りにある。ここまでは温度低下による体積膨張は目立たないが、 $t=85$ s では縦方向に、 $t=135$ s においては液滴頂上部に顕著に見られるようになってくる。Fig.3 と照らし合わせてみると、冷却面温度が -4°C 近辺を通過するタイミングである。さらに時間が経過し、 $t=145$ s になると、変形は頂上部のみとなり、局部的に隆起しはじめる。 $t=155$ s において突起が形成され、その後、形状変形が停止したので、ここで完全に凍結したものと考えられる。

本実験の場合、凍結初期の段階で比較的進展が速く、主に自由表面を伝わるとされる凍結と、その後、冷却面からその面と平行に鉛直上方に向かってゆっくりと進行する凍結が観察された。潜熱放出は初期の凍結の際に起こっているようである。

4. 結 言

凍結保存問題を考える上で、最も基礎となる水の凍結の状態を観察した。その結果、凍結開始による潜熱放出、凍結層の進行、体積膨張など基本的な現象を確認することができた。今後、食品、生体等の凍結において、どのように効いてくるかを検討していきたい。

参考文献

- (1) 小嶋秩夫・田中和夫, 食品冷凍工学, 恒星社厚生閣, (1986), pp.189-192.
- (2) 堀部・ほか4名, 第32回日本伝熱シンポジウム講演論文集, III, (1995), 677-678.
- (3) 麓ほか2名, 第37回日本伝熱シンポジウム講演論文集, I, (2000), 119-120.

Fig.3 Temperature-time histories

Fig.4 Photographs of freezing process