

# スーパーチリングによるブリ肉の品質劣化抑制

緒方由美、吉岡武也

## Suppression of Quality Deterioration in Yellowtail Fillets by Superchilling

Yumi Ogata, Takeya Yoshioka

### 要 旨

生鮮水産物の品質保持期間の延長を目的とし、生鮮水産物をスーパーチリングの温度で保存したときの品質変化を多面的に評価するため、ブリの切り身を用いたモデル試験を行った。ブリの切り身を $-3^{\circ}\text{C}$ にて非凍結および微凍結した状態で保存し、経時的に魚肉の性状を分析した結果、微凍結によりK値の上昇は抑制されるものの、保水性の低下と血合肉の褐変が進行し、品質劣化が認められた。 $0^{\circ}\text{C}$ または $-2^{\circ}\text{C}$ の非凍結でブリの切り身を保存したときの魚肉の性状を比較すると、 $-2^{\circ}\text{C}$ でK値の上昇と物性の低下、微生物の増殖が抑制された。以上の結果より、スーパーチリングはブリの品質劣化を抑制する効果があり、品質を良好に保つためには魚肉を凍結させないことが重要である。

### 1. はじめに

健康志向の高まりや新興国の経済発展などを背景に、世界の水産物市場はアジアを中心に拡大している。さらに、「和食」のユネスコ世界無形文化遺産登録により、寿司や刺身を食べる習慣が世界的に普及し、生鮮水産物の需要が高まっている。我が国から生鮮水産物を輸出する場合、各地で水揚げされた水産物は豊洲市場に集められ、羽田空港などを経由して海外に送られるのが一般的であり、この場合、水揚げから現地到着まで3~4日を要する。そこから飲食店に入荷し、消費者に提供されるときには、水揚げから4~7日後となり、鮮度低下の速い魚種では刺身として食べられる限界の日数であると予想される。現状の流通は、発泡スチロール容器に氷または保冷剤と一緒に水産物を梱包する方法、いわゆる氷蔵流通が主流である。氷蔵は1~3日程度の短期間の保存には適しているが長期間の保存には適さない。生鮮水産物の品質を長期間保持することができれば、ハ

ブ空港を有する都市だけでなく、さらに遠方の地域にも日本の水産物を提供することができるため、品質劣化を抑制し、高品質の状態を長期間維持する技術の開発が求められている。

水産物の鮮度保持技術の一つに温度管理が挙げられる。水産物の鮮度判定に用いられるK値や揮発性塩基窒素、微生物の増殖などは温度依存性を示し、低温ほど抑制される。我が国では、1970年代後半から1980年代にかけて、 $0\sim-5^{\circ}\text{C}$ の温度で水産物を貯蔵するスーパーチリングを活用して生鮮水産物のシェルフライフを延長させる研究が行われ、スーパーチリングによる優れた貯蔵性が報告されている。一方、スーパーチリングは水産物の凍結点付近の温度であり、水産物が微凍結する可能性があるため、解凍後の品質についても把握する必要がある。スーパーチリングによる水産物の微凍結が品質に及ぼす影響について過去の研究報告を調べると、測定項目によって微凍結の影響を受けるものと受けないものがあり<sup>1-3)</sup>、

責任著者連絡先 (Yumi Ogata) : ogata@techakodate.or.jp

微凍結した魚肉の品質については議論が分かれている。これに加え、当時の技術では保管中の温度変動を制御できなかったこともあり、実用化には至っていない。しかしながら、近年、水産の水揚げ現場や加工場などでスラリーアイスが活用され、水産物のスーパーチリングが身近なものとなりつつある。さらに世界に目を向けると、欧州を中心にフードロス対策としてスーパーチリングによる食品のロングライフ化に関する研究が活発になっている<sup>46)</sup>。

そこで本研究では、あらためて、スーパーチリングが生鮮水産物の品質に及ぼす影響を明らかにするため、天然ブリの切り身をスーパーチリング温度で保存したときの品質の変化について検討した。はじめに、スーパーチリング温度による微凍結が解凍後のブリ肉に及ぼす影響を明らかにするため、 $-3^{\circ}\text{C}$ で微凍結したブリ肉の解凍後の性状と、非凍結の状態、すなわち魚肉を $-3^{\circ}\text{C}$ の過冷却の状態に保存したときのブリ肉の性状を比較した。次に、水産物の一般的な流通方法である氷蔵を想定した $0^{\circ}\text{C}$ と $-2^{\circ}\text{C}$ の非凍結で保存したブリ肉の性状を比較し、その品質を評価した。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験材料

試験当日に函館近海で定置網にて水揚げされた天然ブリを用いた。スーパーチリングによる微凍結がブリ肉に及ぼす影響を検討するための試験は2021年10月に実施し、天然ブリ5尾(尾叉長 $68.9 \pm 1.0\text{cm}$ 、体重 $4.5 \pm 0.1\text{kg}$ )を用いた。 $0^{\circ}\text{C}$ または $-2^{\circ}\text{C}$ 保存におけるブリ肉の性状分析の試験は2021年11月に実施し、天然ブリ5尾(尾叉長 $66.8 \pm 3.3\text{cm}$ 、体重 $4.5 \pm 0.4\text{kg}$ )を用いた。

### 2.2 試料調製

スーパーチリングによる微凍結がブリ肉の性状に及ぼす影響を検討するための試料は次のように調製した。ブリを3枚に卸し、片フィレを非凍結用、もう片フィレを微凍結用とした。さらにフィレを背側と腹側のロインに切り分けた。背側と腹側のロインから厚さ $10\text{mm}$ の切り身を $15 \sim 20$ 切れずつ切り出し、1切れずつ真空包装し、 $-3^{\circ}\text{C}$ に設定したインキュベーターで保存した。切

り身1切れに温度センサーを取り付け、切り身の温度が $-3^{\circ}\text{C}$ に達したところで、微凍結用の切り身に $1\text{cm}$ 角の氷を乗せた。これにより切り身の過冷却を解除し、強制的に $-3^{\circ}\text{C}$ で切り身を凍結させた。なお、非凍結用に調製した切り身は、保存期間中に凍結することはなかった。

$0^{\circ}\text{C}$ または $-2^{\circ}\text{C}$ 保存におけるブリ肉の性状分析のための試料は次のように調製した。ブリを3枚に卸し、片フィレを $0^{\circ}\text{C}$ 保存用、もう片フィレを $-2^{\circ}\text{C}$ 保存用とした。さらにフィレを背側と腹側のロインに切り分けた。背側のロインを厚さ $30\text{mm}$ の切り身に切りわけ、1切れずつ真空包装して $0^{\circ}\text{C}$ または $-2^{\circ}\text{C}$ に設定したインキュベーターで保存した。 $-2^{\circ}\text{C}$ で保存した切り身が保存期間中に凍結することはなかった。

### 2.3 解凍方法

$-3^{\circ}\text{C}$ にて微凍結状態で保存したいくつかの切り身は、解凍後の切り身の性状を分析するため、 $5^{\circ}\text{C}$ のインキュベーターで保存して解凍した。 $-3^{\circ}\text{C}$ で保存した微凍結切り身と非凍結切り身の分析条件を揃えるため、非凍結切り身も微凍結切り身と同様に $5^{\circ}\text{C}$ のインキュベーターで保存し、その後の分析に用いた。解凍は切り身の温度が $5^{\circ}\text{C}$ に達したところで終了し、直ちに分析に供した。

### 2.4 遠心ドリップ量の測定

$-3^{\circ}\text{C}$ で保存した切り身を解凍前に $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm}$ にカットし、 $5^{\circ}\text{C}$ で3時間保持して解凍した魚肉のドリップ量を遠心分離法により測定した。

### 2.5 ATP 関連化合物量の測定およびK 値算出

日本農林規格「魚類の鮮度(K 値) 試験方法—高速液体クロマトグラフ法」(JAS 0023) に準じて行なった。いずれの切り身も速やかに一定量の魚肉を採取し、直ちにATP 関連化合物の抽出を行った。 $-3^{\circ}\text{C}$ で微凍結した切り身は、解凍せずに微凍結のまま一定量の魚肉を採取し、同様にATP 関連化合物の抽出を行なった。

### 2.6 色調測定

切り身の普通筋と血合筋の $L^*$ 値、 $a^*$ 値および $b^*$ 値を分光測色計(CM-700d、コニカミノルタジ

ヤパン株式会社) を用いて、同一試料について 3 回ずつ測定した。 $-3^{\circ}\text{C}$ で保存した試験では、腹側のロインから調製した切り身を用い、 $5^{\circ}\text{C}$ 解凍直後の切り身の色調を測定した。

## 2.7 物性測定

クレープメーター (RE-3305S、株式会社山電) を用いて、切り身普通筋の最大荷重を測定した。試料は Ando らの方法<sup>7)</sup> に準じ、筋繊維の方向と垂直に 10mm の厚さで切り出し、測定に供した。治具は  $\phi 7\text{mm}$  球形プランジャーとし、筋隔膜を避けてプランジャーが進入するように測定部位を選定した。同一試料について 3 回ずつ測定した。 $-3^{\circ}\text{C}$ で保存した切り身は  $5^{\circ}\text{C}$ で解凍した直後に測定し、 $0^{\circ}\text{C}$ または $-2^{\circ}\text{C}$ で保存した切り身は直接氷が触れないように留意しながら氷冷して保管し、魚肉温度約  $2^{\circ}\text{C}$ で測定を行った。

## 2.8 微生物測定

経時的に切り身から魚肉 10g を採取し、9 倍量のリン酸緩衝生理食塩水を加えストマッキング処理して得た溶液を適宜希釈し、一般生菌数と海洋細菌数を測定した。一般生菌数は、ペトリフィルム生菌数測定用プレート (AC プレート、スリーエムジャパン株式会社) を用いて測定した。海洋細菌数は Marine Agar (Difco) 寒天培地に塗抹後、 $20^{\circ}\text{C}$ で 5 日間培養し、コロニー数から魚肉 1g あたりの生菌数を求めた。

## 2.9 統計処理

得られた値は、等分散であることを確認し、等分散であった場合は  $t$  検定を、等分散が棄却された場合は Welch 検定を行った。

## 3. 結果

### 3.1 $-3^{\circ}\text{C}$ で微凍結したブリ肉の品質変化

$-3^{\circ}\text{C}$ で非凍結および微凍結で保存したブリ切り身の K 値変化を図 1 に示す。K 値は水産物の鮮度指標として広く活用されている指標であり、数値が小さいほど鮮度が良好であると評価される。非凍結と凍結切り身のどちらも時間経過とともに K 値は上昇した。保存 10 日目の K 値は、非凍結切り身で 48%、微凍結切り身で 30%を示し、保

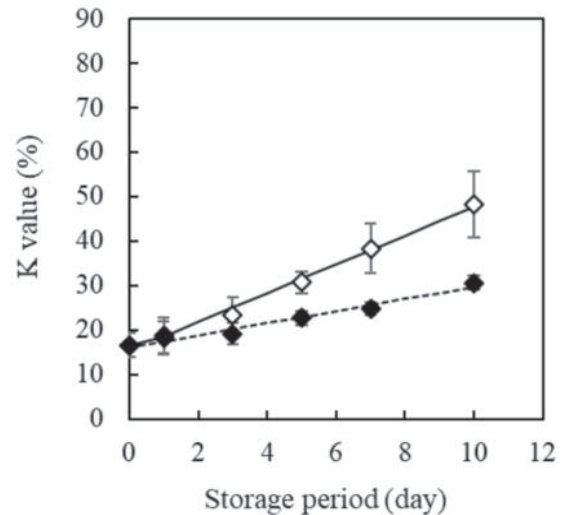


図 1  $-3^{\circ}\text{C}$ で保存したブリ切り身の K 値変化  
値は平均±標準偏差を表す (n=5) .  
(◇) 非凍結、(◆) 微凍結

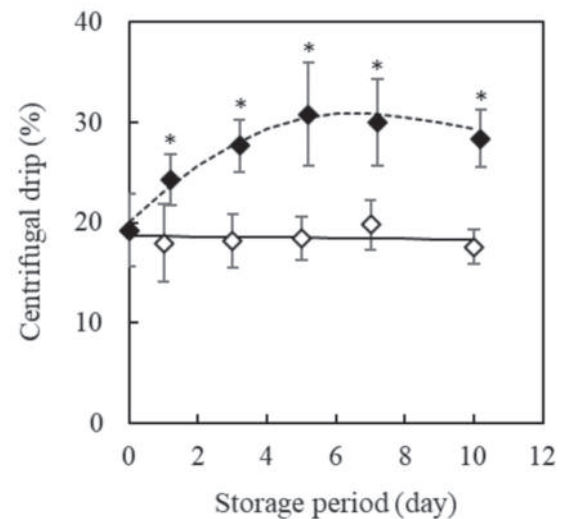


図 2  $-3^{\circ}\text{C}$ で保存したブリ切り身の遠心ドリップ量の変化  
 $-3^{\circ}\text{C}$ で保存したブリ切り身を  $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 1\text{cm}$  に切り出し、 $5^{\circ}\text{C}$ で解凍後、遠心分離によって流出したドリップ量を測定した。  
値は平均±標準偏差を表す (n=5) .  
\*は非凍結に対する有意差を表す ( $p < 0.05$ ) .  
(◇) 非凍結、(◆) 微凍結

存 0 日目の K 値 16%から、10 日目にはそれぞれ 32%と 14%増加した。同じ保存温度にもかかわらず、魚肉の凍結により K 値の上昇は 1/2 以下に抑制された。

次に、遠心ドリップ量の変化を図 2 に示す。非凍結切り身の遠心ドリップ量は、保存期間をとおして大きな増減は見られなかった。一方、微凍結

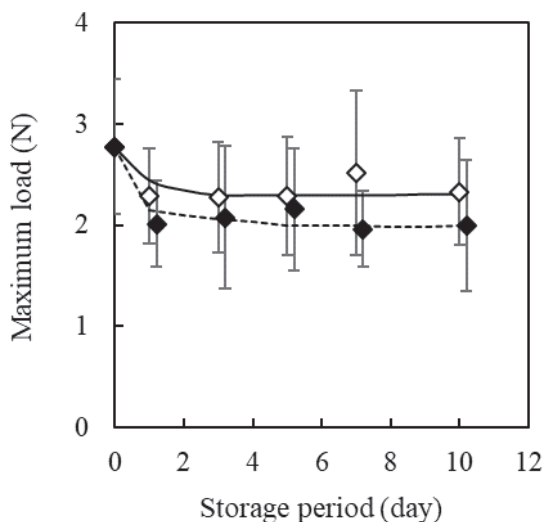


図3 -3°Cで保存したブリ切り身の物性変化  
-3°Cで保存し、5°Cで解凍したブリ切り身普通筋の最大荷重を測定した。  
値は平均±標準偏差を表す (n=15) .  
(◇) 非凍結、(◆) 微凍結

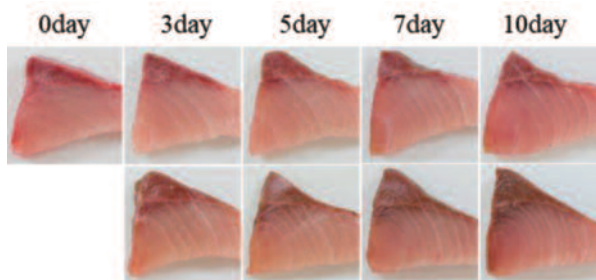


図4 -3°Cで保存したブリ切り身の外観の変化  
上段：非凍結、下段：微凍結

切り身は、保存1日目から遠心ドリップ量が増加し、5日目に30%と最大になり、7日目、10日目も30%近い値を示した。目視でも非凍結切り身より微凍結切り身で多くのドリップが流出していることを確認した。

図3に普通筋の最大荷重の変化を示す。保存0日目が  $2.78 \pm 0.66\text{N}$  と最も高く、非凍結と微凍結のどちらも保存1日目に低下したが、保存1日目から10日目にかけて最大荷重はほとんど変化しなかった。保存期間をとおして非凍結切り身の最大荷重が僅かに高い値を示したが、有意な差はなかった ( $p < 0.05$ )。

切り身の外観の変化を図4に示す。血合筋は、非凍結切り身で赤みが残っているのに対し、微凍結切り身は褐変が確認された。普通筋は、微凍結

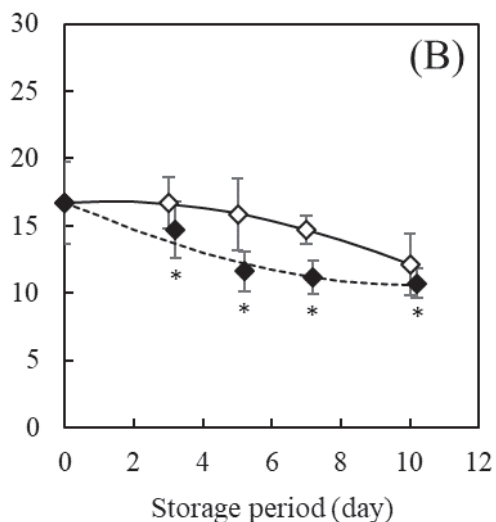
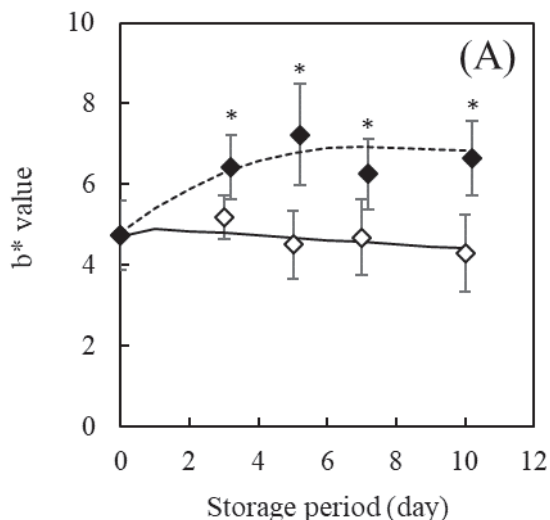


図5 -3°Cで保存したブリ切り身の色調変化  
-3°Cで保存し、5°Cで解凍したブリ切り身の (A) 普通筋の b\* 値と (B) 血合筋の a\* 値を示す。  
値は平均±標準偏差を表す (n=15) .  
\*は非凍結に対する有意差を表す ( $p < 0.05$ ) .  
(◇) 非凍結、(◆) 微凍結

切り身で黄味が強いように見受けられた。これら切り身の普通筋と血合筋の色調を分光測色計で測定した結果を図5に示す。普通筋では、非凍結切り身に比べて微凍結切り身で黄味を表す b\* 値が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。血合筋は、非凍結切り身に比べて微凍結切り身で赤みを表す a\* 値が有意に低かった ( $p < 0.05$ )。これらの結果は、目視の結果と一致していた。

### 3.2 0°Cまたは-2°Cで保存したブリ肉の品質変化 ブリの切り身を 0°Cまたは-2°Cで保存したとき

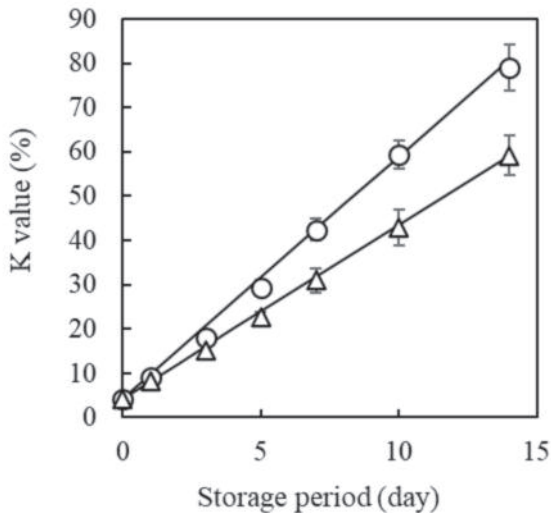


図6 0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身のK値変化  
値は平均±標準偏差を表す (n=5) .  
(○) 0°C、(△) -2°C

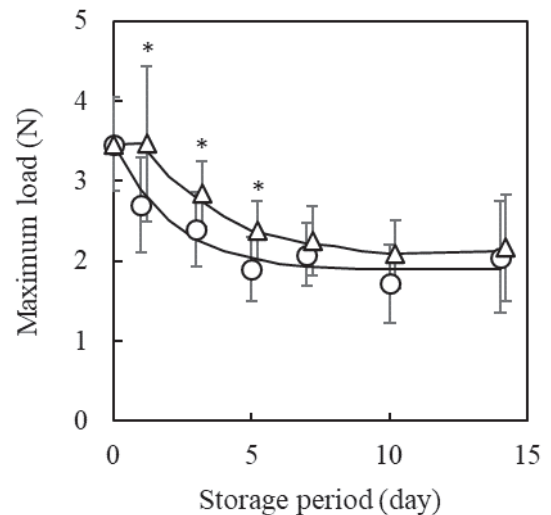


図7 0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身の物性変化  
0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身普通筋の  
最大荷重を測定した.  
値は平均±標準偏差を表す (n=5) .  
(○) 0°C、(△) -2°C

のK値変化を図6に示す。-2°Cで保存することでK値の上昇が0°Cの1.4倍抑制された。

図7に普通筋の最大荷重の変化を示す。0°Cで保存した切り身の最大荷重は保存5日目までは保存期間にともなって低下し、その後14日目まではほとんど変化がなかった。一方、-2°Cで保存した切り身は、翌日まで最大荷重が維持され、その後、14日目まで緩やかに低下した。保存5日目までは-2°Cで保存した切り身で最大荷重が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

0°Cまたは-2°Cで保存した切り身の外観の変化を図8に示す。保存14日目は、0°Cと-2°Cのどちらの切り身も色調の劣化と軽度の身割れが認められ、刺身として品質を維持していなかった。目視では、0°Cと-2°Cの切り身に特段の違いは見られなかった。これら切り身の普通筋と血合筋の色調を分光測色計で測定した結果、0°Cと-2°Cの両方で、保存期間にともなって普通筋のb\*値が上昇する傾向が見られ、僅かではあるが-2°Cで上昇が遅かった(図9)。L\*値とa\*値は、普通筋と血合筋のどちらも0°Cと-2°Cとで差が見られなかった(図示なし)。

0°Cまたは-2°Cで保存した切り身の一般生菌数と海洋細菌数を測定した。一般生菌数は、0°Cと-2°Cのどちらも保存0日目の2.37 log CFU/gから

増加しなかった(図示なし)。0°Cで切り身を保存した場合、海洋細菌数は、保存0日目の3.08 log CFU/gから14日目には4.15 log CFU/gに増加した。一方、-2°Cは14日目に2.36 log CFU/gに低下し、海洋細菌の増殖が抑制された(図10)。

#### 4. 考察

スーパーチリング温度で微凍結した水産物の品質変化を評価するため、モデル試験としてブリの切り身を-3°Cで非凍結または微凍結で保存したときの魚肉の性状を経時的に分析した。K値は酵素反応により進行し、低温ほど酵素活性が低下するため、低温保管はK値の上昇抑制に有効な手段である。加えて、魚肉を凍結することによってK値の上昇はさらに抑制できることが知られており<sup>8)</sup>、本試験においても、-3°Cにて微凍結で保存した切り身は、非凍結で同じ-3°Cで保存した切り身よりも2倍以上K値の上昇が抑制された。しかしながら、遠心ドリップ量は非凍結に比べて有意に増加し、品質劣化が認められた。これは、-3°Cがスーパーチリング温度であると同時に最大氷結晶生成帯でもあり、魚肉中に生成した氷結晶により、細胞が損傷し、保水性が失われたためと考えられた。一方、遠心ドリップの結果から、微凍結切り身が細胞に損傷を受け、非凍結が損傷を受

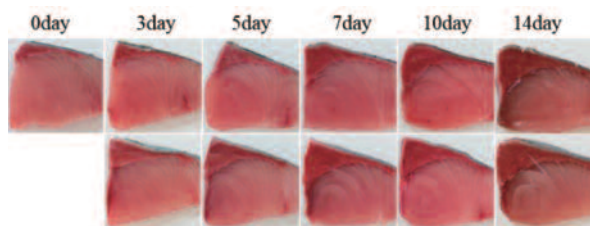


図8 0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身の外観の変化  
上段：0°C、下段：-2°C

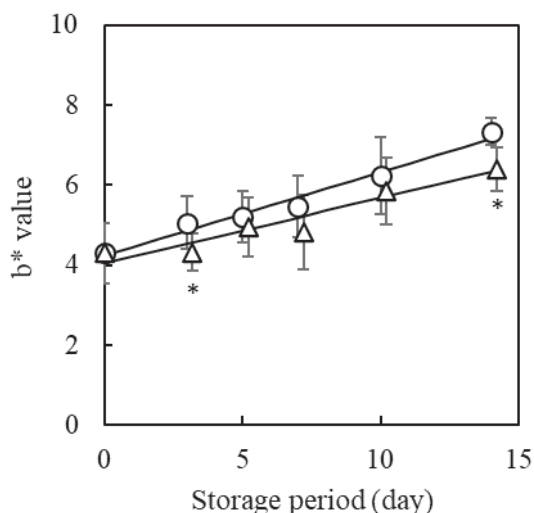


図9 0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身の色調変化  
0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身の普通筋の  
b\*値を示す。  
値は平均±標準偏差を表す (n=15) .  
\*は非凍結に対する有意差を表す ( $p < 0.05$ ) .  
(○) 0°C、(△) -2°C

けていないとすると、最大荷重は微凍結切り身で低い値を示すと予想されたが、非凍結と微凍結で有意な差は認められなかった。これについては詳細な検討が必要である。

ブリの血合肉の色は、刺身商材としてブリを評価する際の重要な評価項目であり、血合肉が鮮やかな赤色を呈するものが好まれ、反対に、褐変したものは低鮮度・低品質であると評価される。魚類血合肉の褐変機構については、温度とミオグロビンの自動酸化の関係やタンパク質の冷凍変性とミオグロビンのメト化の関係などが報告されており<sup>9-11)</sup>、保管温度と冷凍解凍は血合肉の褐変に大きく影響する。-3°Cで凍結した場合、前述のように氷結晶により血合肉がダメージを受け、それにもないメト化が進行したと推測された。

ブリの切り身を用いたモデル試験ではあるが、

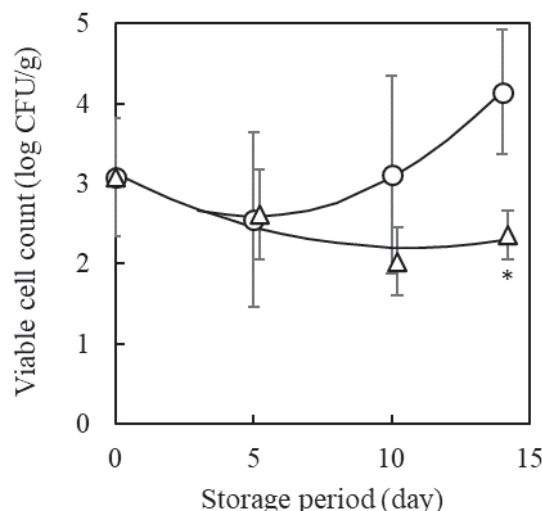


図10 0°Cまたは-2°Cで保存したブリ切り身の海洋細菌数の変化

値は平均±標準偏差を表す (n=5) .  
\*は非凍結に対する有意差を表す ( $p < 0.05$ ) .  
(○) 0°C、(△) -2°C

-3°Cのスーパーチリングの温度で凍結すると、ドリップ量の増加と色調の劣化により、解凍後の魚肉の品質低下が認められた。従って、水産物の品質保持を目的としてスーパーチリングを活用する場合、水産物を凍結させない条件を検討する必要がある。

スーパーチリングで微凍結したブリの品質劣化が認められたため、ブリの切り身を0°Cまたは-2°Cの非凍結で保存したときの魚肉の品質変化について検討した。K値の上昇は、魚肉を-2°Cで保存することにより0°C保存よりも1.4倍抑制された。最大荷重は保存5日目までは-2°Cが0°Cに対して有意に高かった。食品の物性値は、測定時の温度や試料の厚さ、形状などの影響を受けるが、本試験では測定時の魚肉の温度は2°C前後に保たれ、魚肉の厚さや大きさを揃えて測定したため、得られた最大荷重の差は、スーパーチリングの効果によるものと考えられる。魚肉の破断強度や最大荷重などの物性低下の要因の一つに筋肉中のV型コラーゲンの崩壊が示唆されている。Andoらは、ブリ、ヒラメおよびマダイのスライスを通冷却したときのタンパク質の微細構造を調べ、過冷却のスライスでコラーゲン線維の崩壊が遅いことを報告している<sup>12)</sup>。さらに、養殖ブリを-1.5~10°Cで保存したときの細胞間の隙間の大きさを

調べ、 $-0.5\sim 4^{\circ}\text{C}$ 貯蔵では細胞間の隙間が拡大したのに対して、 $-1.5^{\circ}\text{C}$ と $10^{\circ}\text{C}$ では細胞間の隙間の拡大が小さく、軟化現象が抑制されることも報告している<sup>13)</sup>。これらの研究結果は、スーパーチリングが魚類筋肉のコラーゲン崩壊を遅延させ、それにとまなう魚肉の軟化を遅らせる効果があることを示している。以上のことから、ブリをスーパーチリングすると魚肉の軟化が抑制され、 $0^{\circ}\text{C}$ よりも物性が維持されることが明らかとなった。

$0^{\circ}\text{C}$ または $-2^{\circ}\text{C}$ で保存したときのブリ肉の色調を経時的に測定した結果、普通筋で黄味を表す $b^*$ 値が増加し、その増加速度は $-2^{\circ}\text{C}$ のほうが遅かった。この原因として、魚肉中の脂質の酸化が関係していると推測する。魚に含まれる高度不飽和脂肪酸は酸化しやすく、酸化により黄味が増す。Dateらはマイワシを $0^{\circ}\text{C}$ と $-3^{\circ}\text{C}$ (パーシャルフリージング)で保管したときの脂質の酸化を過酸化物質価(POV)とチオバルビツール酸(TBA)の反応で比較し、 $-3^{\circ}\text{C}$ でPOVとTBAの反応が抑制されることを明らかにしている<sup>1)</sup>。これは微凍結したマイワシの結果ではあるものの、スーパーチリングによる水産物の脂質酸化の抑制が示唆される。

生鮮水産物を従来のようなチルド温度で保管した場合、微生物の増殖による腐敗よりも、K値の上昇や色調等の低下による品質劣化のほうが先に現れるため、微生物増殖よりもK値や色調等で品質を判断することが多い。しかし、スーパーチリングによって保存期間が延長されることで、K値や色調等の品質劣化よりも微生物増殖による品質の劣化が先に現れることが予想される。そこで、 $0^{\circ}\text{C}$ と $-2^{\circ}\text{C}$ で保存したブリ肉の一般生菌数と海洋細菌数を測定した結果、 $-2^{\circ}\text{C}$ では保存14日目まで一般生菌も海洋細菌も増殖が認められなかった。以上の結果から、スーパーチリングしたブリの品質は、微生物数ではなく、従来どおりK値や色調で評価するのが適切と判断した。

#### 4. 結論

スーパーチリング温度で保存したブリ切り身の性状を経時的に分析し、スーパーチリングがブリ肉の品質に及ぼす影響を検討した。その結果、スーパーチリングにより、K値の上昇や物性の低

下、微生物の増殖が抑制された。さらに、スーパーチリングで微凍結して保存すると、保水性の低下と血合肉の褐変が進行することから、微凍結しないで保管することが重要であることがわかった。今回はモデル試験として切り身で試験を行ったが、実際の流通はフィレやラウンドが大半を占めるため、今後、フィレやラウンドを用いた試験を実施する予定である。また、スーパーチリングによる水産物の品質劣化抑止効果を普及するためには、ブリ以外の水産物への適応についても検討する必要がある。

#### 謝辞

本研究は、生物系特定産業技術研究支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業(JP007097)」により実施した。関係各位に深謝する。

#### 参考文献

- 1) 伊達郁子、角田清斉、内山均：家政学雑誌、Vol.35、No.12 (1984)、pp.839~845
- 2) 平江重男、内山均：日本コールドチェーン研究会誌「食と低温」、Vol.12、No.4 (1986)、pp.125~135
- 3) 望月聡、上野洋子、佐藤公一、樋田宣英：日本水産学会誌、65 (1999)、pp.495-500
- 4) Sivertsvik M, Rosnes T, Kleiberg GH : Journal of food science, Vol.68, Nr.4 (2003), pp.1467-1472
- 5) Kaale LD, Eikevik TM : J Food Sci Technol, 53, (2016), pp.441-450
- 6) European Food Safety Authority : EFSA Journal, Volume 19, Issue 1 (2021)
- 7) Ando M, Toyohara H, Shimizu Y, Sakaguchi : Nippon Suisan Gakkaishi, 57, (1991), pp.1165-1169
- 8) Miki H, Nishimoto J : Bull Japan Soc Sci Fish, 28, (1962), pp.210-216
- 9) Chow C, Ochiai Y, Watabe S, Hashimoto K : Nippon Suisan Gakkaishi, 54, 3 (1988), pp.473-478
- 10) Chow C, Ochiai Y, Watabe S, Hashimoto K : J Agric Food Chem, Vol.37, No.5 (1989), pp.1391-1395

- 11) 橋本周久、渡部終五：日本水産学会誌, 49, (1983), pp.203-206
- 12) Fukuma Y, Yamane A, Itoh T, Tsukamasa Y, Ando M : Fish Sci, 78, (2012), pp.451-461
- 13) Ando M, Mizuochi S, Tsukamasa Y, Kawasaki K : Fish Sci, 73, (2007), pp.705-712