

## 公募型試験研究事業－Ⅰ (多獲性赤身魚「サバ」の高付加価値化を実現するための 革新的な原料保蔵と加工システムの構築)

保聖子, 加治屋大, 稲盛重弘

### 【目 的】

サバ等の多獲性赤身魚は、一時的に大量に漁獲されることから、生鮮魚流通の場合、市場規模が限られ価格の低下を招くことがある。また、従来のサバ冷凍品は、ATPが消失した状態で凍結することから、魚肉筋原繊維タンパク質が冷凍により変性を起こしており、一般的に品質評価が低い。そこで、平成24年度は、漁獲から冷凍加工までの高鮮度維持方法を構築し、筋肉中のATPによる凍結保存時のタンパク質等変成抑制効果の活用による高品質冷凍技術を確立することを目的に、船上凍結を想定したモデル試験により、致死時における魚のストレスや疲労の程度と冷凍魚の品質の関係を明らかにする。

### 試験 1 運動負荷の程度と致死直後の魚体のストレス及び疲労の関係

#### 【材料及び方法】

#### 供試魚

鹿児島県沿岸海域で漁獲され、予め海面生簀で3日間蓄養したゴマサバ（平均体長 $36.1 \pm 1.82$ cm, 平均体重 $598 \pm 93.1$ g）200尾を鹿児島県水産技術開発センターの海面生簀までトラックで陸送し、2面の生簀にそれぞれ100尾ずつ収容した。収容後、2面同時に網を絞り強制的に運動負荷を与え、漁獲時に魚体が受ける疲労度合いのモデル試験を実施した。なお、陸送に要した時間は、30分であった。運動負荷の20分経過後に1面の網を緩め（以下、運動負荷小群という）、別の1面は1時間経過後に網を緩め（以下、運動負荷大群という）それぞれ運動負荷を停止させた。また、宮城県石巻市沿岸の定置網で漁獲され、石巻漁港に水揚げされた直後のゴマサバを定置網漁獲群として試験に供した。

#### サンプリング

それぞれの生簀から15尾ずつ取り上げ、即殺処理としてフェノキシエタノールによる深麻酔処理による致死後、血液（15尾分）及び筋肉（9尾分）を採取し分析に供した。なお、運動負荷を与えない群として、陸送前のゴマサバ5尾から血液及び筋肉を採取した。また、定置網漁獲群については、水揚げ時点で既に致死後4時間が経過していたことから、血液は採取せず、筋肉のみを採取した。

#### 血液分析

血液は、ヘパリン処理を施したシリンジを用い、尾柄部腹面から採取した。遠心分離（4000 rpm, 5分間）により血漿を分離し、ストレス指標としての血漿中コルチゾル測定用サンプルとした。なお、血漿サンプルは、分析に供するまで $-80$ ℃で保存し、コルチゾル濃度は、Cortisol Express EI A Kit（Cayman Chemical Company製, USA）により測定した。

#### 筋肉分析

筋肉は、背部より筋肉の一部をサンプルチューブに採取し、液体窒素で直ちに凍結処理を行い、分析に供するまで $-80$ ℃で保存した後、筋肉中のエネルギー代謝に関与する物質であるATP、乳酸、グリコーゲンについて分析を行った。ATPは過塩素酸抽出で得られた上清を2 M水酸化カリウムで中

和し、HPLC（検出器：SCL-10A 島津製作所製，カラムGS-320 7E Shodex Asahipak製）で検出波長260nmの吸光値を測定した。乳酸及びグリコーゲンはトリクロロ酢酸抽出で得られた上清を試料としてF-

kit（Roche Dignostics製，BRD）で測定した。

## 【結果及び考察】

運動負荷直後の血漿コルチゾル濃度を図1に示す。コルチゾル濃度については、長い時間網を絞り運動負荷を掛けた運動負荷大群で、コルチゾル濃度が高くなる傾向がみられたが、個体差によるバラツキが大きく、結果として試験区間に有意差は認められなかった。

次に筋肉中に含まれるATP濃度を図2に示す。運動負荷を与える前と20分及び1時間の負荷を与えられたそれぞれの群について、直後のATP濃度に有意差は認められず、どの群も約 $6\mu\text{mol/g}$ と高い濃度であった。この結果は、漁獲に要する時間が1時間以内である一般的な漁法の場合、致死前のサバの状態は、クレアチンリン酸回路と解糖系から補給されるATPの量に比べ、運動により消費されるATPの量が下回っており、常に高濃度のATPが維持されている状態であることを意味する。一方、定置網漁獲群の場合、水揚げ時点で既に致死しており、水揚げ直後のATP濃度は、 $1\mu\text{mol/g}$ 未満で、完全硬直に達していた。当センターのこれまでの研究では、ゴマサバを $5^{\circ}\text{C}$ で保管した場合、即殺処理すれば9時間経過してもATP濃度はほぼ減少せずに $7\mu\text{mol/g}$ 程度残存することが判明している。今回の試験で入手した定置網で漁獲されたゴマサバは、産地での聞き取りの結果、死後4時間程度経過していたものと推定される。漁獲前のストレスや疲労の程度は不明であるが、水揚げ時点のATP濃度から、即殺処理は行われず、苦悶死に近い状態で致死したものと推察している。今回のモデル試験の結果から、サバの場合、致死直前の漁法が、致死直後のATP濃度に直接影響を与えることは少ないものと示唆された。一方で、致死方法の違いがATP濃度を与える影響が大きいことが改めて確認され、致死時のATP濃度を高い状態で維持するためには、即殺処理が最も重要な要素であることがわかった。

次に、筋肉中に含まれる乳酸濃度を図3に示した。運動負荷を与える前の乳酸濃度は約 $20\mu\text{mol/g}$ で、運動負荷直後では、濃度変化はほとんど見られず、負荷の大小の群間に顕著な変化は認められなかった。一方、定置網漁獲群では約 $100\mu\text{mol/g}$ に達しており、前三者と比較すると有意に高かった

( $P<0.01$ )。運動負荷を与える前のグリコーゲン濃度については、 $38.7\mu\text{mol/g}$ で乳酸と同様、運動負荷の大小の間に顕著な差は認められなかった（図4）。また、死後4時間が経過した定置網漁獲群のグリコーゲン濃度は、他と比較すると有意に低く( $P<0.01$ )、筋肉中の乳酸とグリコーゲンの濃度には、強い負の相関が認められた ( $r=-0.8801$ )。これらのことは、定置網漁獲群の致死方法が苦悶死に近かったこと、並びに筋肉中の乳酸は死後増加することを併せて考察すると、致死後の経

過時間が強く影響したものと推察される。

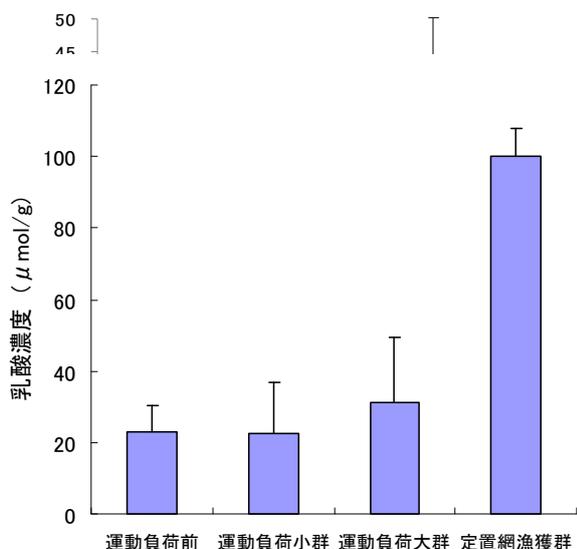


図3 筋肉中の乳酸濃度

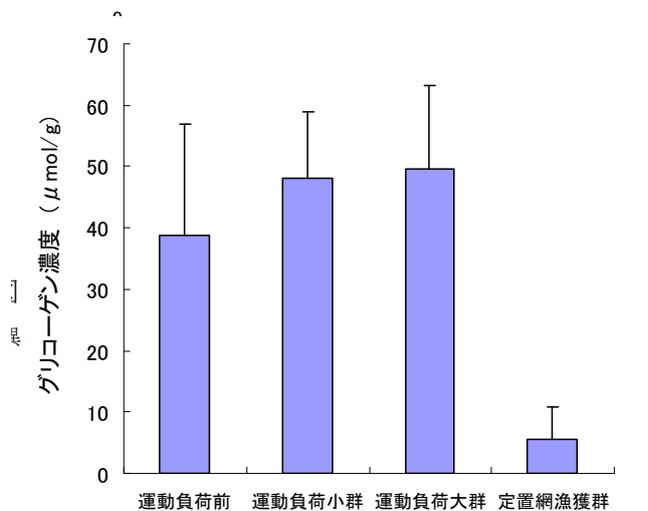


図4 筋肉中のグリコーゲン濃度

## 試験2 運動負荷の程度と冷凍魚の品質の関係

### 【材料及び方法】

#### 冷凍魚の試作

試験1で用いた運動負荷を与えたゴマサバ及び定置網で漁獲されたゴマサバを使用した。運動負荷を与えたゴマサバは、首を折り鰓を切断することによる即殺処理を行い、引き続き海水氷中で10分間の脱血処理を行った後、ラウンド状態で保存袋に入れ、-35℃のアルコールブライン液による凍結処理を行った。また、定置網で漁獲されたサバは、試験1同様、既に致死していたことから、水揚げ後保存袋に入れ-20℃で緩慢凍結処理を行った。保管方法は、それぞれ凍結処理した時と同様の形態で-35℃ストッカーで最大3ヶ月間行った。

#### 冷凍魚の評価

冷凍保管後、0.5ヶ月、1ヶ月及び3ヶ月経過ごとに、サンプルを解凍し評価試験に供した。解凍方法は、-1℃の水氷中に保存袋のまま浸漬し、4時間かけて行った。解凍直後のATP濃度の測定は、1ヶ月及び3ヶ月冷凍保存したものについて、試験1同様の手法で測定した。筋肉の圧縮強度は、0.5ヶ月、1ヶ月及び3ヶ月冷凍間保存したものについて、魚体に対し水平方向に10mm幅に切り出した試料の背肉部分について、レオメーター(CR-500DX サン科学社製)でプランジャーを6mm押し込んだ時の応力を測定した。測定は、直径5mmの円形プランジャーを用い、侵入速度は1mm/secとした。

### 【結果及び考察】

解凍直後のATP濃度を図5に示す。運動負荷の大小に関わらず、また、冷凍保存の期間に関わらず、解凍後のATP濃度は、1μmol/g以下であった。これは、4時間の解凍作業中にATPの分解が起こったものと示唆される。凍結前にATP濃度が高い状態にあると、タンパク変性を抑制するなどの利点がある。しかし、一方で、解凍後に「ちぢれ(解凍硬直)」を起し多量のドリップの流出による食感の悪さを引き起こす。そこで、解凍後に「ちぢれ」を起ささないために解凍中にATPを消失させる必要がある。今回実施した解凍方法は、ATPを1μmol/g以下に分解することができ、「ちぢ

れ」によるドリップの流出も防ぐ適切な手法であると示唆された。また、ラウンド状態で保存することで、血合筋の赤色は、冷凍保存中に大きく変色することもなく（写真1）、運動負荷の違いによる影響も確認されなかった。

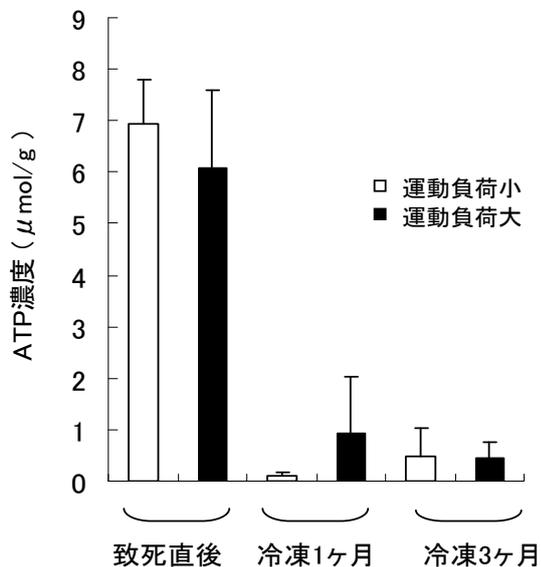


図5 解凍後の筋肉 ATP 濃度

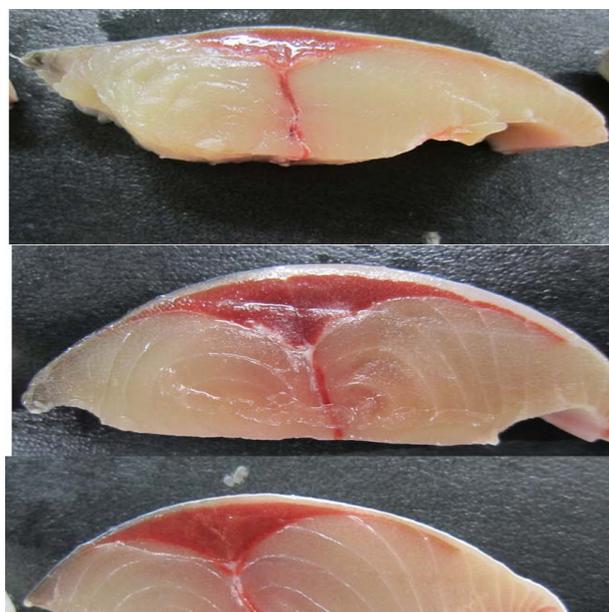


写真1 解凍後の血合筋の色  
 (上段; 保存期間 0.5 ヶ月 中段: 保存期間 1 ヶ月  
 下段: 保存期間 3 ヶ月)

また、解凍後の筋肉圧縮強度について図6に示す。筋肉の圧縮強度は、刺身で食した場合における肉の弾力性（歯ごたえ）の指標となるものである。運動負荷小群では運動負荷が大きい群に比べ、圧縮強度が高かった。凍結時点における ATP、乳酸及びグリコーゲン濃度について、両群間に有意差は認められず、解凍後の圧縮強度に差をもたらした要因は不明である。また、運動負荷を与えたそれぞれの群について、凍結保管日数の経過に伴う圧縮強度の低下は認められず、凍結時点での高濃度ATPと低温保管によるタンパク質の変成抑制効果によるものと推察された。一方、運動負荷群と定置網漁獲群について、3ヶ月間保存したものを比較した結果、定置網漁獲群が有意に低かった ( $P < 0.01$ )。これは、定置網漁獲群の凍結時点における ATP 濃度が

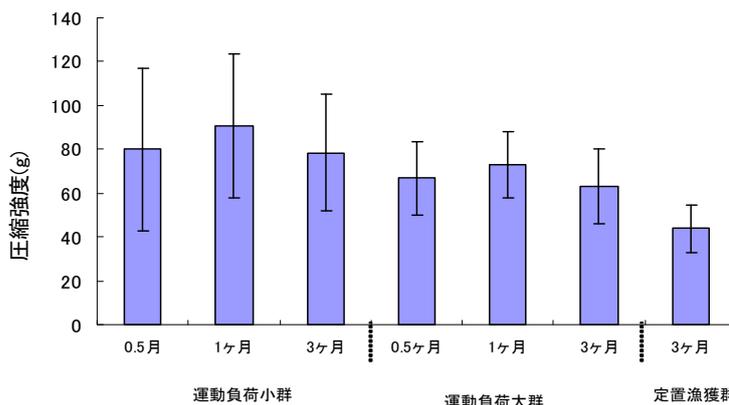


図6 凍結解凍後の冷凍サバの筋肉圧縮強度

1  $\mu\text{mol/g}$ と極めて低い状態であったため、ATPによるタンパク質の変成抑制効果が発揮されなかったことに起因するものと推察される。しかしながら、今回の試験において、保管温度については、 $-35^{\circ}\text{C}$ と同一条件であったものの定置網漁獲群の凍結方法は、緩慢凍結であった。この凍結方法の違いによる影響も無視できないと考える。よって、今後さらに、これらの課題も含め、高品質冷凍サバ製造のための必要不可欠な条件を見出していく必要がある。