

# 安心・安全な養殖魚生産技術開発事業－Ⅲ (魚介類の出荷前蓄養と環境馴致による高品質化システム技術開発)

折田和三・保 聖子

## 【目 的】

生鮮魚介類の品質は、体成分、色調、呈味性、匂い、テクスチャーなどの物理的・化学的要素に加え、漁獲前の魚介類の生理状態、漁法、温度管理条件など鮮度や漁獲前後の取扱いなどによって大きく変化することが知られている。近年の水産物品質制御に関する基礎研究では、漁獲時あるいは養殖物の収穫時の致死条件コントロールによる高鮮度維持技術や水揚げ前の蓄養時の特殊環境馴致による体成分変動を利用した高品質化に関する研究の進展がめざましい。また、生産現場では漁獲物を安全に効率良く蓄養施設まで運搬する技術、最適な蓄養条件、蓄養時の歩留まりや最適な〆条件が求められており、新しい漁業（活魚運搬方法を含む）いわゆる加工・出荷後流通温度、適温保持流通システムに蓄養システムを加えた新しい流通システムを構築し、水産物の高品質化による高付加価値化を実現することを研究目的とする。

## 【方 法】

### 1 供試魚

第1回目：平成20年10月23日に立目崎沖においてまき網で漁獲されたゴマサバを同日朝に当センター内3m角イケスに収容した。平均尾叉長30.8cm，平均重量342gであった。その後、無給餌で3週間蓄養し、搬入当日、蓄養後1日，3日，7日，14日，21日に取り上げ、首折れ脱血処理後（海水氷2.2～4.0℃の海水氷中に30分浸漬）各種分析を行い、品質・旨味を評価指標とする水温下降期における最適蓄養条件の検討を行った。

第2回目：平成21年1月30日に阿久根市脇本で蓄養していたゴマサバを活魚車で当センターへ搬入し、3m角イケスに収容した。平均尾叉長30.6cm，平均重量358gで第1回目とほぼ同じ大きさであった。その後、無給餌で約2週間蓄養し、搬入当日、蓄養後7日，13日後に取り上げ、同様に分析を行い、水温低温期における最適蓄養条件を検討した。なお、脇本で既に7日間無給餌蓄養されていたので、飢餓状態になってからの経過日数は、7日，14日，20日にあたる。

### 2 測定項目

測定項目は下記のとおり。

※ ●：1回目試験 ◎：2回目試験

区分	分析項目	方法	0hr	4hr	8hr	25hr
肉質	一般成分(タンパク質)	ケルダール	●◎			
	同上(脂肪)	ソックスレー	●◎			
	同上(炭水化物)		●◎			
	同上(灰分)	マッフル	●◎			
	同上(水分)	水分計	●◎			
		遊離アミノ酸	HPLC	●◎		
鮮度	ATP関連物質	HPLC	●◎	●	●	
	グリコーゲン	酵素法	●◎	●	●	
	乳酸	酵素法	●◎	●	●	
	pH	pHメータ	●◎	●	●	
	硬直指数		◎			◎
肉質物性	そしゃく圧縮強度	レオメータ	●◎			●
	筋周膜構造	SEM	●◎			●
	官能試験	テスター	●◎			●
健康状態	血液性状	自動血液分析計	●◎			
飼育環境	水温	テータロカー水温計	常時	測定器を浸漬計測		

#### (1) 水温

イクネス内の水深1 m位置にデータロガー (Stow Away Tidbit temp logger) を垂下して測定した。

#### (2) 体長・体重

各項目測定に使用する供試魚について測定前に体長 (尾叉長) (L)・体重 (W) を計測した。肥満度については  $(W/L^3 \times 1000)$  により算出した。また、第1回目試験については、併せて内臓重量も計測した。

#### (3) 一般成分

供試魚は、片側を卸し、薄皮及び腹骨を取り除いたものを1尾ずつ微細化し、分析に供した。

また、粗脂肪分析については、前述同様薄皮及び腹骨を取り除き皮下から1 cmの位置までを皮下側、残りを内臓側として部位別に分析に供した。なお、微細化したサンプルは-35℃で凍結保管し分析の際に解凍して使用した。

ア 粗タンパク：タンパク質迅速定量装置による測定後、タンパク係数6.25を乗じて算出した。

イ 粗脂肪：ソックスレー抽出法による。

ウ 炭水化物：差引き法による。

エ 粗灰分：550℃～600℃で灰化法による。

オ 水分：常温加熱乾燥法 (105℃) による。

#### (4) 遊離アミノ酸

一般成分同様に処理した魚肉に20%トリクロロ酢酸を加えホモジネートした後5000 r p mで10 min遠心分離して上澄液を得た。これを適宜希釈し、0.45 μmのメンブランフィルターでろ過したものを高速液体クロマトグラフィーに付し測定した。分析条件については、以下のとおりとした。

測定カラム：S h i m-pak Amino-Na (島津製作所)

検出波長：Ex 350nm Em 450nm

反応方法：O P A (オクタフルアルデヒド) 発色法

#### (5) 血液性状

イクネスから5尾取り上げ、FA100で深麻酔後、尾柄部静脈からシリンジで採血した。なお、シリンジには予めヘパリンを0.2 ml程度吸引しておいた。採取した血液は30分以内にミキサーにかけた後ヘマトクリット管で吸い上げ、遠心分離後、ヘマトクリット値を測定した。残った血液は遠心分離にかけ、上澄みをドライケム用プレインチューブ (0.5 ml) に移し、-80℃で保管した。全試験期間終了後、常温で解凍し、富士ドライケムで総タンパク質 (TP-P)、血中ブドウ糖 (GLU-P)、総コレステロール (TCHO-P II)、中性脂肪 (TG-P) の4項目を測定した。

#### (6) p H

首折れ脱血処理後直ちに背肉の一部を5 g切り出し、氷冷下で0.02 Mヨード酢酸ナトリウム溶液を加えホモジネート後、pH測定計 (Thermo Orion) により測定した。

#### (7) グリコーゲン

p H同様サンプルを切り出した後、氷冷下で5%トリクロロ酢酸を加えホモジネートした後、

5000 r p mで10min遠心分離して上澄液を得た。これを50mlに定量し、F-キットスターチ (Roche Diagnostics社 ドイツ製)により測定した。

#### (8) A T P 関連物質

首折れ脱血処理後直ちに背肉の一部を5 g 切り出し、氷冷下で10%過塩素酸を加えホノジネートした後、5000 r p mで10min遠心分離し上澄液得た。これを中和し0.45  $\mu$  mのメンブランフィルターでろ過したものを高速液体クロマトグラフィーに付し測定した。分析条件については、以下のとおりとした。

測定カラム：S h o d e x A s a h i p a k G S - 3 2 0 7 E (昭和電工)

移動相：0.2mMリン酸緩衝液(pH2.9)

検出波長：260nm

#### (9) 乳酸

グリコーゲン同様に抽出して得た上澄液をpH10~11に調整後100mlに定量し、F-キット乳酸 (Roche Diagnostics社 ドイツ製)により測定した。

#### (10) 硬直指数

第2回目試験のみ実施した。

首折れ脱血処理後、5℃冷蔵庫内で速やかに測定を開始した。測定は、尾藤ら<sup>1)</sup>の硬直指数測定法に基づき、別途開発した硬直指数測定装置を用いてデジタルビデオカメラに記録後、画像から30分ごとに尾部の垂下の度合いを測定した。

#### (11) そしゃく圧縮強度

首折れ脱血処理後、供試魚の片側をおろし、その胸びれ後方を体側と鉛直方向に1 c m厚に3枚切りだしサンプルとした。測定にはサン科学社製レオメータC R - 5 0 0 D Xを用い、測定条件は以下のとおりとした。

MODE：2 1                      使用プランジャー： $\phi$  15mm円盤

繰り返し：2回                      侵入深さ：6mm

侵入速度：1mm/sec                      クリアランス：1mm

プランジャーは、背肉部中央付近に当てた。残る半身は、2℃で25時間保存し、同様に測定した。

なお、2回目の試験では、首折れ脱血処理後のみを測定した。

\*なお、上記(3)、(4) (6)~(11)の項目の値は1回目の試験では個体別に3尾分析したものの平均で表し、項目(5)のみ5尾の平均で表した。2回目試験の一般成分については、10尾微細後混和したものを分析サンプルとした。

#### (12) 筋周膜観察

そしゃく圧縮強度試験に供した魚体の残りのうち、前方の肉片の背肉部から $\phi$  5mmの円柱コアを突き刺して、0.1Mリン酸緩衝2%グルタルアルデヒド固定液に浸漬した。また、同一の魚体を2℃で25時間保管した後、同様に肉片を取り出して固定した。数日間の固定後、筋繊維を横断する方向に2mm程度の厚さにカミソリで切り出し、2N水酸化ナトリウム溶液に浸漬し、20℃前後で1

週間放置してタンパク除去を行った。肉片がほぼ透明になったのを確認した後、蒸留水に2時間浸し、続いて通常のアルコール脱水系列で脱水、ブチルアルコール置換、凍結乾燥、コーティングを経て、SEM（日立S-3000）高真空下で観察した。

しかしながら、コア抜きによるサンプル切り出しは、鋭利性に乏しく筋周膜繊維が切れるものと思われ、上記の方法では筋周膜構造が残らず観察できなかった。そこで、第1回目21日後及び第2回目の魚体からの切り出しは、包丁で1cm×1cm×2cm程度の筋繊維方向に長く切りだし、固定後は同様に処理を行った。

## 【結果及び考察】

### 1. 蓄養環境について

#### (1) 蓄養期間中の水温の変化

試験期間中のイケス内の水温を下図に示す。1回目試験については、試験開始時に25℃前後であったが、徐々に低下していき試験終了時には20℃となり、水温下降期であったといえる。2回目試験については、ほぼ15℃前後で推移し、水温はほぼ一定で水温低温期であった。

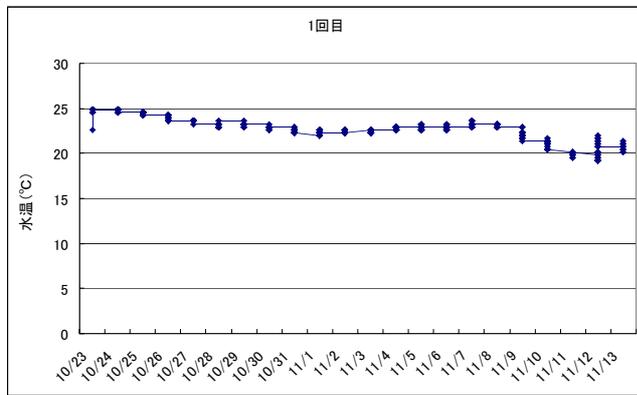


図1 蓄養時の飼育水温の変化 (1回目)

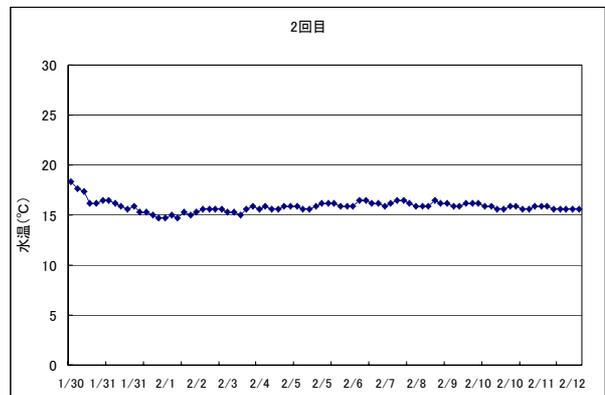


図2 蓄養時の飼育水温の変化 (2回目)

### 1. 肉質成分からの評価

#### (1) 体長・体重・肥満度

第1回目の試験に用いたゴマサバは、体長（尾叉長）30.8cm，体重342g (n=63)であった。第2回目試験では、それぞれ30.6cm，358g (n=48)であった。これらのデータからそれぞれ算出した肥満度を図3に示す。第1回目試験の肥満度は、漁獲当初11.46であったが、4日後には、12.16となった。その後7日後には11.49に戻り、14日後で10.87、21日後で10.93となり漁獲当日と比較してもわずかに低くなる程度であった。

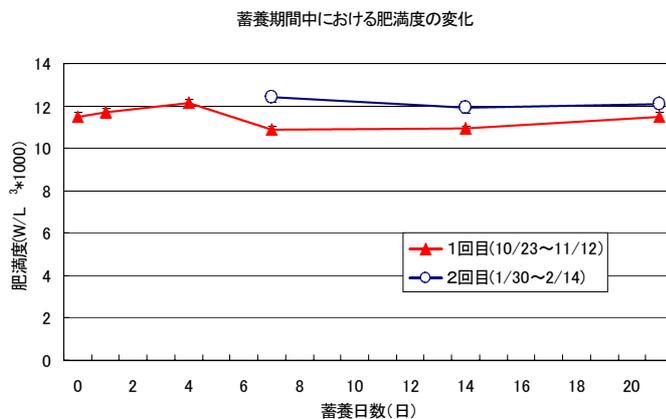


図3 肥満度の変化

2回目の試験については、漁獲直後のデータがなく完全に比較することはできないが、1回目とほぼ同様の傾向であった。このことから、水温下降期から水温低温期においては、21日程度蓄養しても極端な「やせ」は認められず、肥満度に関しては無給餌による影響はほとんど無いものと推察された。次に、蓄養期間の魚体重量に対する内臓重量の割合の推移を図4に示す。内臓重量の割合は、蓄養日数の経過とともに、徐々に減少する傾向が確認された。なお、蓄養2日以降から胃内容物は確認されておらず、減少が胃内容物の消化による影響とは考えにくい。このことから、無給餌状態における生命維持のために、内臓成分が何らかの寄与をしているものと示唆された。

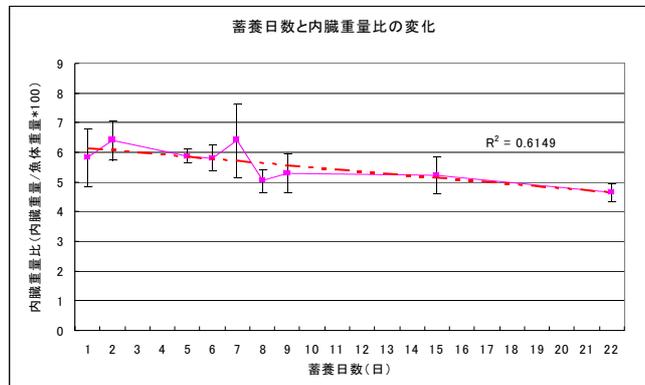


図4 内臓重量比の推移

(2) 一般成分

第1回目の試験では、蓄養開始直後に約25%程度あった粗タンパク質が蓄養日数の経過とともに減少していき、およそ2週間で22.5%程度になった。一方、この間の粗脂肪量の推移については、蓄養開始直後から翌日にかけて粗脂肪量が増加し、その後9日目までは大きな変化は見られず、蓄養14日目以降になるとやや減少する傾向が確認された。また、水分量に関しては粗脂肪と負の相関にあり、灰分については、特段の変化は見られなかった。2回目の試験では蓄養開始日のデータが得られていないが、1回目同様粗タンパク質が減少する傾向が確認された。(図7)

また、筋肉中の粗脂肪について、皮下側及び内臓側の粗脂肪量の推移を図5、筋肉中の粗脂肪に対する皮下側脂肪の割合を図6に示す。これより、蓄養期間中は、内臓側の脂肪の変動より、皮下側の脂肪の変動が大きいことが確認された。また、皮下側及び内臓側ともに、蓄養期間が14日を経過する頃から、脂肪量は一定のレベルを保つことが確認された。

さらに、図6から全脂肪量に占める皮下脂肪の割合が蓄養9日目以降急激に下がっていく傾向が確認され、このことが「蓄養により皮下脂肪が全体に行き渡る」と言う生産現場の声を裏付ける結果と成り得るのか、さらに検証を重ねる必要がある。

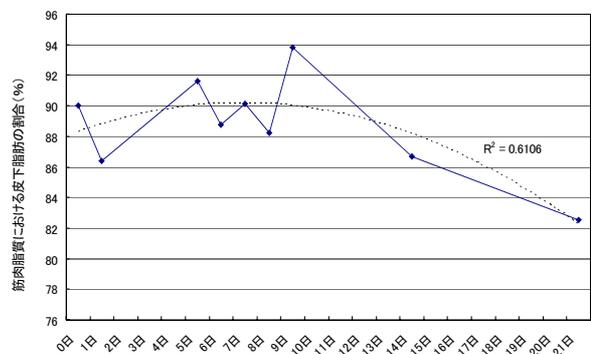
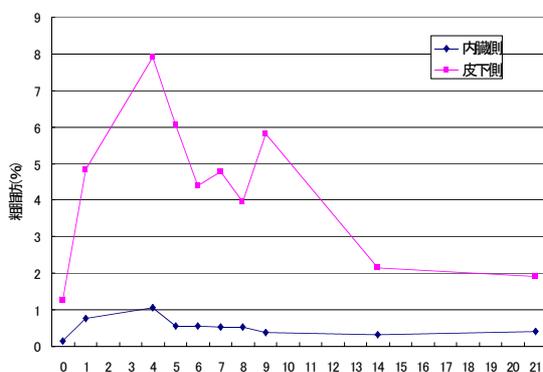


図5 皮下側及び内臓側の筋肉内粗脂肪量の推移 図6 筋肉中の粗脂肪に対する皮下側脂肪の割合

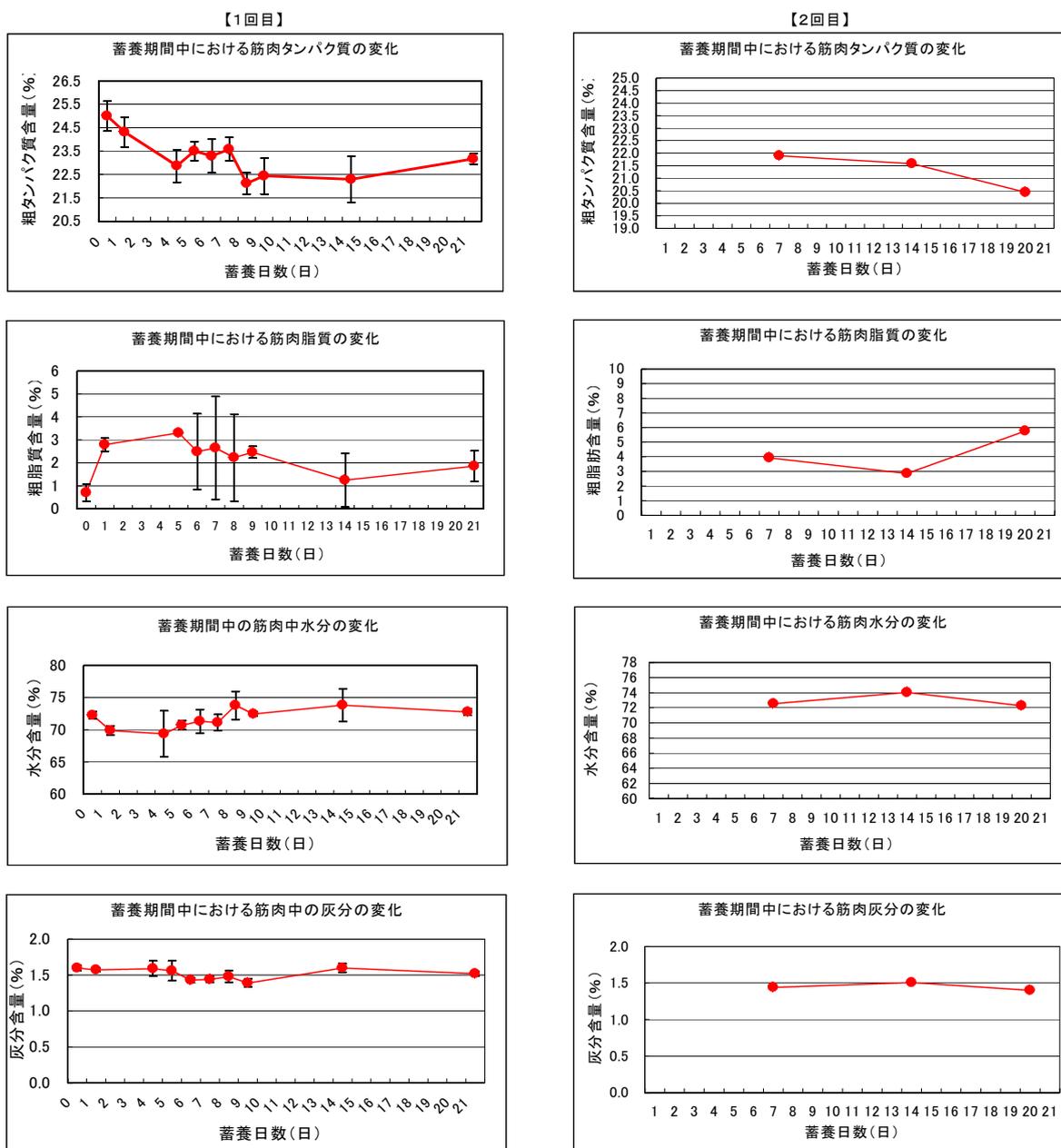


図7 一般成分の推移

(3) 遊離アミノ酸

サバ精肉部における遊離アミノ酸の推移を図8に示す。増減しながら、期間中を通してわずかに増加していく傾向が見られた。「蓄養すると旨味が増す」という生産現場の声を一部裏付ける結果となったが、今回確認されたアミノ酸の増加レベルが旨味増加に寄与するか確認には至っていない。複数回試験を繰り返して、遊離アミノ酸増加と蓄養日数の関係について再現性のあるデータの積み上げが必要である。

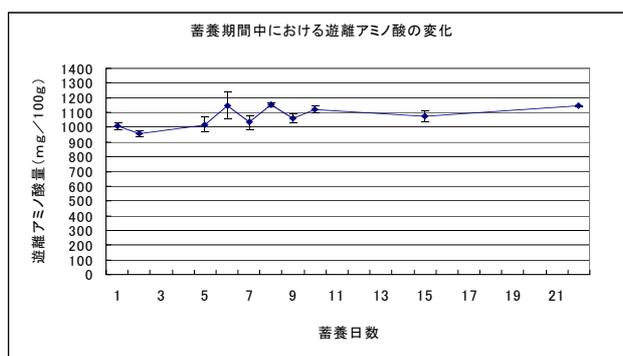


図8 魚体筋肉中の遊離アミノ酸の推移

## 2. 健康状態からの評価

### (1) 血液性状

ヘマトクリット値の推移を図9に示す。

蓄養全期間を通じて50%前後で推移し、特徴的な動態は見られなかった。したがって、蓄養により少なくとも21日間は、貧血の状態にはならないことが確認された。

各分析項目別の推移を図10に示す。

第1回試験では血中グルコースは、蓄養期間が長くなるにつれ、減少していった。また血中トリグリセライドは、7日まで増加した後横ばい、14から21日にかけて再度増加した。総コレステロールは、蓄養期間が長くなるにつれ、微減していった。総タンパク質は、蓄養開始直後に増加した後、横ばいで推移した。また、第2回試験では、分析結果のばらつきが大きく、検出限界値を下回る異常値もあり、魚体がびらんした正常個体でなかったこともあり、血液性状としても信頼性に欠けるものと思われた。

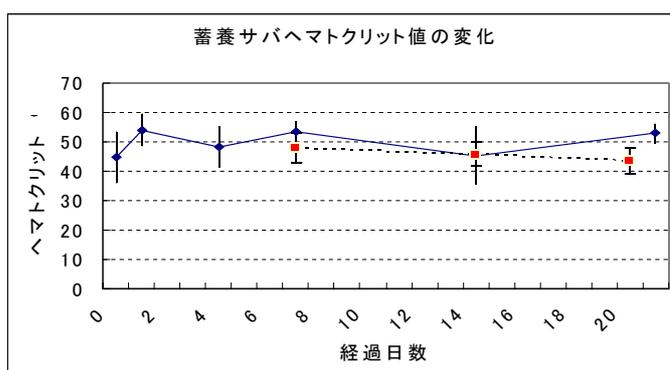


図9 血中ヘマトクリット値の推移

### (2) 蓄養期間中の歩留まり

第1回目の試験においては、活魚運搬船からトンネル網を伝いイクスへ池入れしたことから、へい死は少なく、開始から21日間の累計で27尾であり、歩留まりは95%であった。また、蓄養期間の経過とともに、体表粘液が明らかに増加していき、漁獲時に擦れた体表を自己修復する様子が窺えた。一方、第2回目の試験については、活魚車による搬入を行い、タモ網を使ってイクスに池入れしたことが影響したと思われ、翌日には、へい死する個体が散見され、生存している個体についても表皮のズレが発生し、状態は芳しくなかった。終了時の歩留まりは68%であった。



(蓄養により体表粘液が増加する様子)

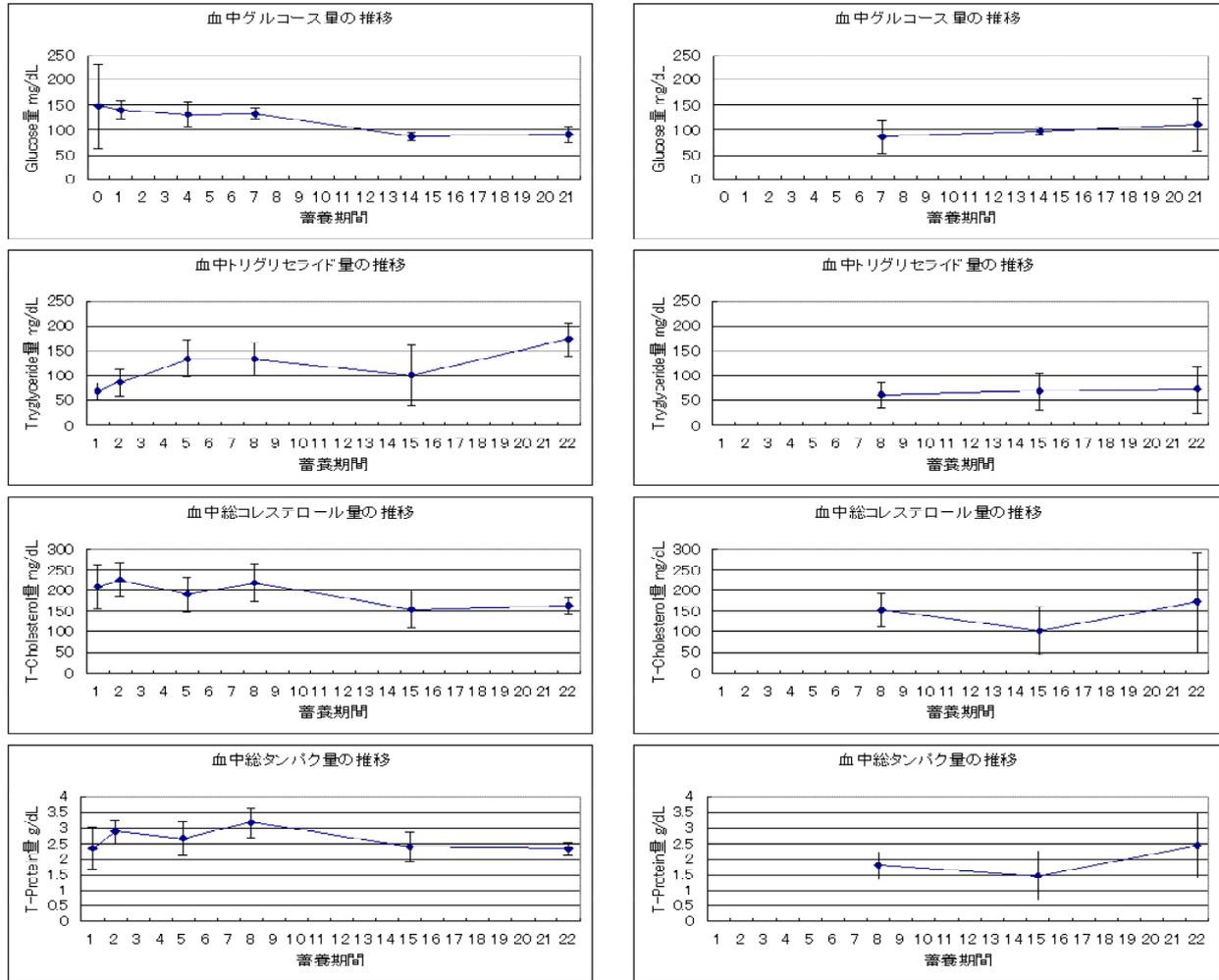


図10 血液成分の推移

### 3. 鮮度による評価

#### (1) pH

首折れ直後の pH については、蓄養期間中に大きく増減することはなく pH 7.0 前後であった。

また、首折れ後の冷蔵保管中 (2℃) の変化については、4 時間経過後わずかに低下し、8 時間経過後もやや低下する程度であった。

冷蔵保管中の変化についても、蓄養日数との関係は認められずどの期間においても 6.3 ~ 6.8 のレベルで鮮度としては良好な状態が維持されていた。(図11)

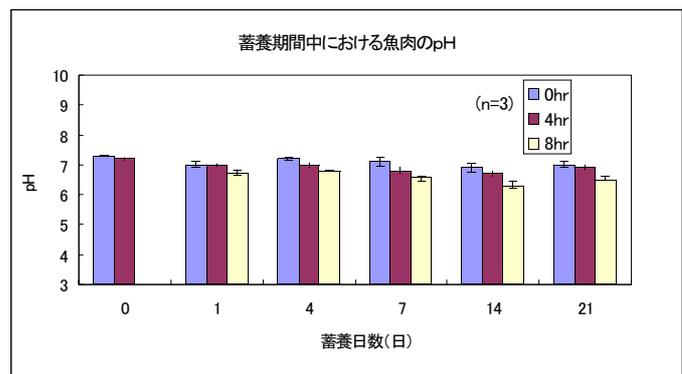


図11 pHの推移

#### (2) グリコーゲン

死後硬直に關与する ATP (アデノシン3リン酸) の再合成と深い關連のあるグリコーゲンの挙動

が蓄養中にどのように推移するのか確認する目的でグリコーゲンを測定した。魚類筋肉中のグリコーゲンの推移を図12に示す。蓄養日数によって、測定値の個体バラツキが大きく、蓄養開始から終了までのグリコーゲンの挙動を言及するに至らなかった。一方、三坂ら<sup>2)</sup>によると飢餓中のサクラマス当歳魚では肝臓グリコーゲンが減少するとの報告があり、また、魚類筋肉中のグリコーゲン量は肝臓と比べ非常に低いレベルであることから肝臓グリコーゲンを測定すれば、何らかの傾向が示せた可能性がある。このようなことから、グリコーゲンについては、測定部位を見直す必要があると思われた。

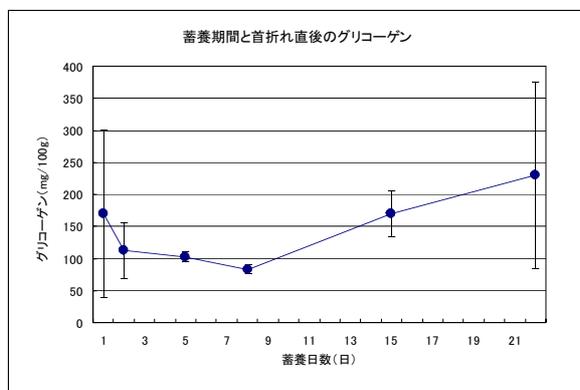


図12 グリコーゲンの推移

### (3)ATP

1回目の試験結果を図14に示す。

致死時のATP量は死後硬直の発現に寄与するといわれるエネルギー物質である。また、一時蓄養は漁獲時に消耗したエネルギーを回復させる効果があるといわれている。これらのことから、蓄養期間ごとの普通筋中のATP量を測定した。今回の試験においては、首折れ直後のATP量が蓄養日数の経過とともに増加する傾向は確認できなかった。安崎ら<sup>3)</sup>によると、底引き漁獲ヒラメを4時間以上安静にするとATP量が増加し、死後硬直が遅延できるとの報告がある。一方、今回実施した試験においては、蓄養0日（漁獲当日）の首折れ直後のATP量が比較的高い値を維持しており、このことから、漁獲から当センターへ搬入されるまでに4時間程度活魚運搬船の水槽中に低密度で収容されていたことで安静が付与されエネルギー回復に繋がった可能性が考えられる。回遊魚であるサバの場合、エネルギー回復つまりATP量の回復に要する時間は、短時間である可能性が示唆された。また、蓄養1日後以降の数値については、首折れ直後も脱血水中で泳ぐ個体や暴れ出す個体があり、完全に即殺に至らなかったことが、「安静」という蓄養の効果以上に悪影響を及ぼしたものと推察された。なお、第2回目の試験については、サンプル欠損等により、適正なデータが得られず考察に至らなかった。

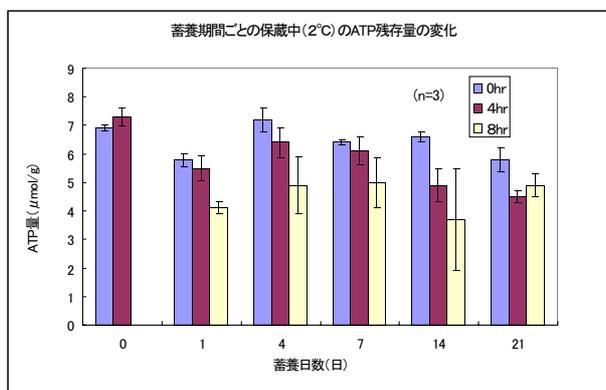


図13 ATP量の推移

(4) 乳酸

第1回目の乳酸の分析結果を図14に示す。開始日から蓄養日数の経過と共に増加する傾向が確認された。しかしながら、ATP同様、サンプリング時に即殺に至らなかったためか開始日を除いて個体差によるバラツキが大きく、蓄養による影響を確認するに至らなかった。

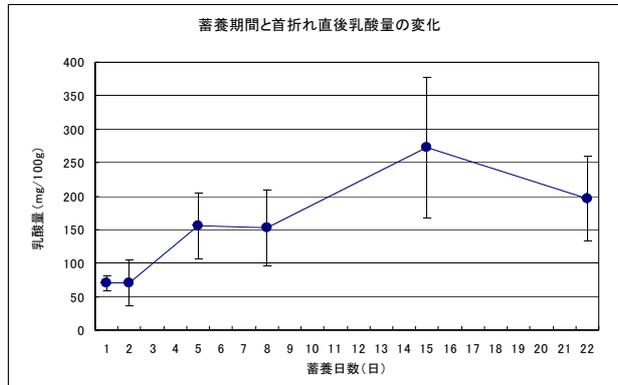


図14 乳酸の推移

(5) 硬直指数

自動硬直指数測定装置で撮影した画像の一例を示す。



即殺 1 時間後

4 時間後

14 時間後

最高硬直までの時間は、7日後で約12時間、14日で約15時間、21日で約17時間かかり、蓄養日数とともに遅延が見られた。最高硬直までのパターンは、7、14日はおおむね80%までは一気に進み、その後緩やかになるのに対し、21日では50%まで一気に進んだあと、4時間程度変化無く、その後再度硬直していた。

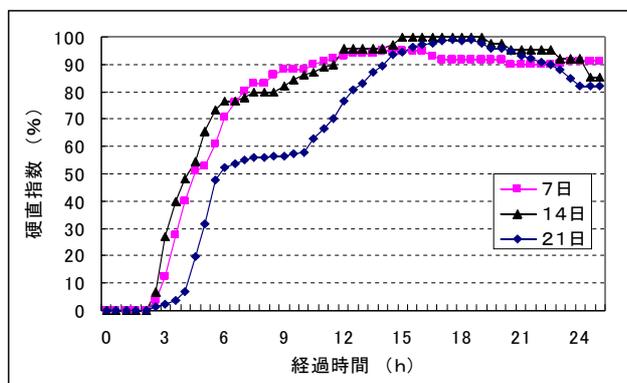


図15 死後硬直指数

#### 4. 肉質物性による評価

##### (7) そしゃく圧縮強度

2回そしゃくの圧縮強度プロファイルを図16に示す。山のパターンは稜線が凹んだ鋭いピークを持つ2峰型で2番目の山は1番目よりもやや小さくなっていた。この形状から、テクスチャーは弾力に富み、そしゃくにより筋肉の一部が破断されていくことがわかった。ゼラチンやこんにゃくのような強い弾力に富む素材は1回目（p1）と2回目（p2）の山のピークは同じになるため、復元率 = p2強度 / p1強度 とし、歯ごたえの保持の程度を比較した。その結果、蓄養初日から21日後まで一様に0.8程度であり、蓄養期間による差は見られなかった。これは、25時間後の試料についても同様の傾向が見られた。

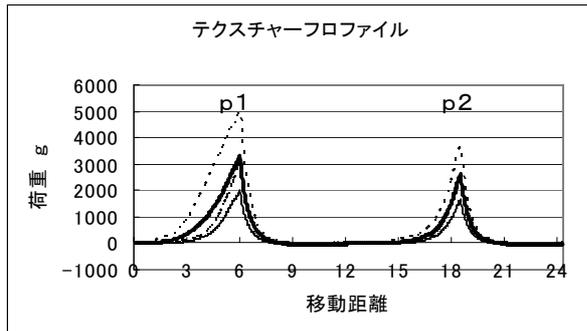


図16 サバ刺身のテクスチャープロファイル

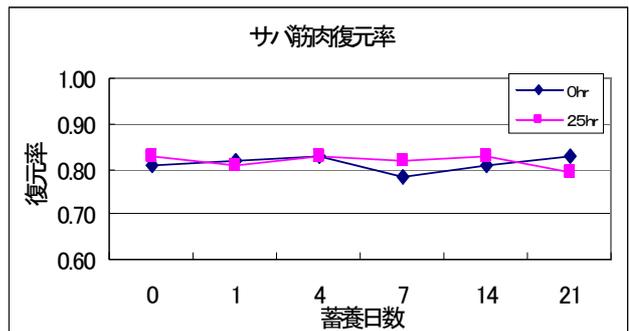


図17 サバ刺身の弾力性の推移

圧縮強度の推移を図18に示す。蓄養初日に比べ、第1回試験1回目圧縮Fp1及び2回目圧縮Fp2は、1日後から14日後まで高くなり、21日後で下がる傾向が見られた。第2回試験1回目圧縮Sp1及び2回目圧縮Sp2でも漁獲当日のデータがないが、14日後よりも20日後で低下した。なお、25時間後の圧縮強度ではほぼ横ばいで特徴は見られなかった。このことから、蓄養により首折れ直後の歯ごたえは強くなることが示唆された。また、その保持力については、25時間後までは及ばないものと推測された。

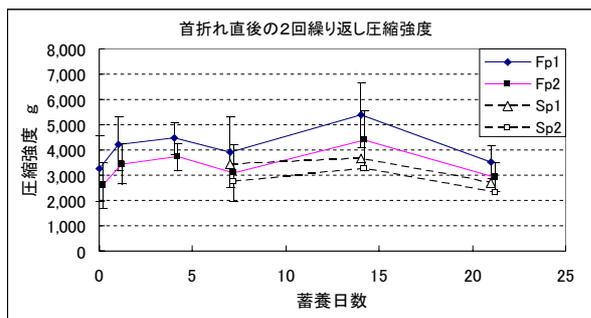


図18 圧縮強度の推移（首折れ直後）

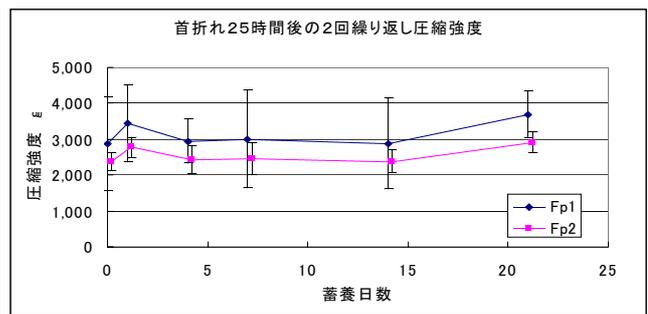


図19 圧縮強度（冷蔵25hr後）

##### (8) 筋周膜観察

コア抜き方によるサンプル採取は、筋繊維が切断され、タンパク質除去工程で筋周膜の形状が残らなかったものと思われ、観察できなかった。最終21日後のサンプルは、包丁により切り出したところ、筋周膜が観察された。

即殺直後の筋周膜は、コラーゲン繊維が切れることなく良好な形状を保っていた。コラーゲン繊維の密度は、自身の魚に比べれば荒く空隙が多く見られた。2℃保存25時間後も筋周膜の形状は保たれ、破断や崩壊は確認されなかった。

第2回試験では首折れ脱血処理後の池入れ当日（蓄養7日後）、蓄養14日後、蓄養20日後の筋周膜を比較して観察した。いずれの筋周膜の状態に大きな変化は見られなかった。

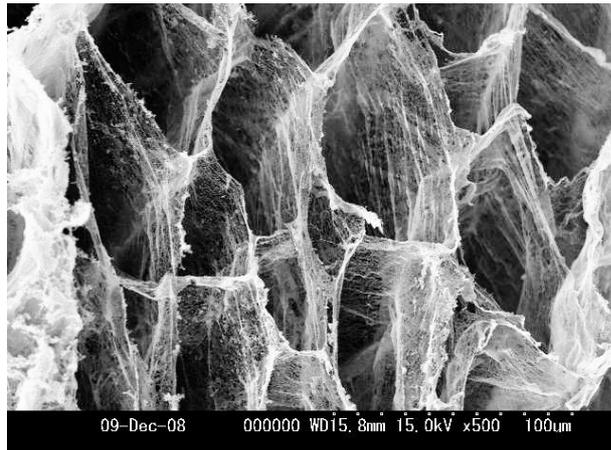


図20 首折れ脱血直後(×500)

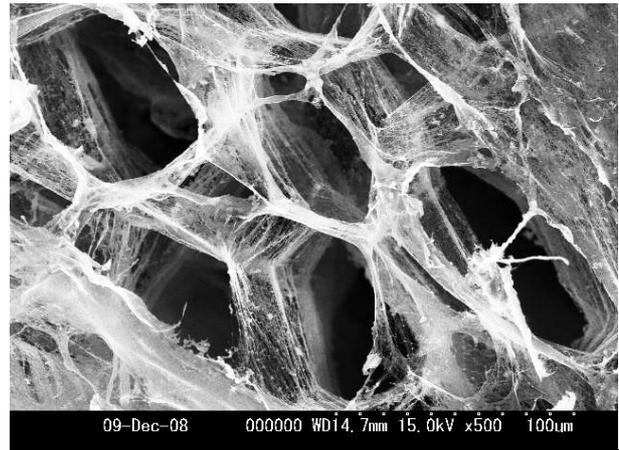


図21 2°C25時間保管後(×500)

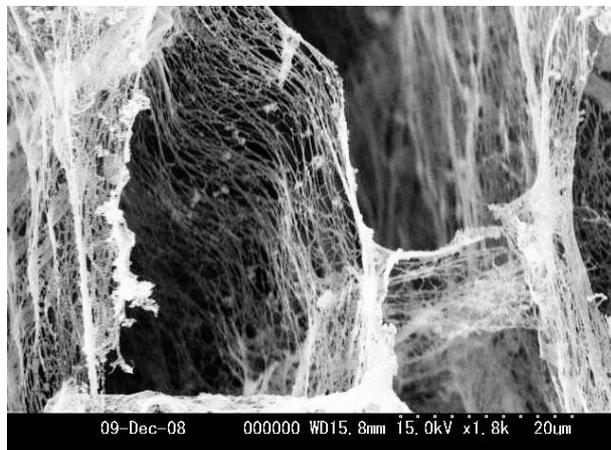


図22 首折れ脱血直後(×1,800)

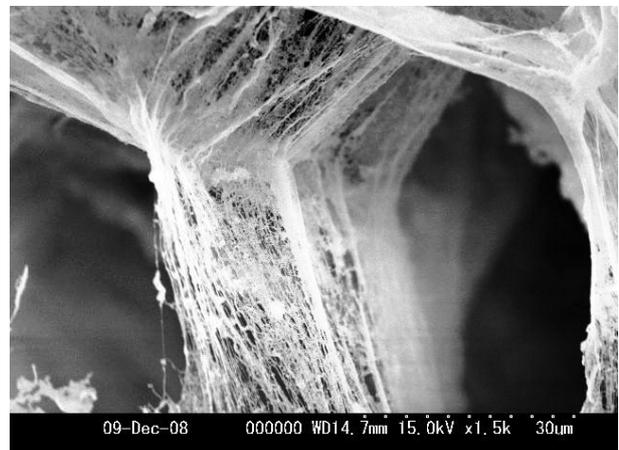


図23 2°C25時間保管後(×1,500)

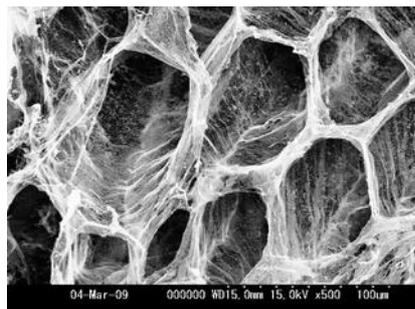
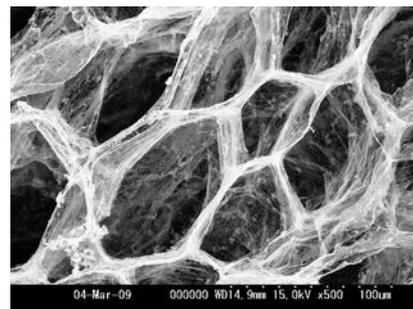
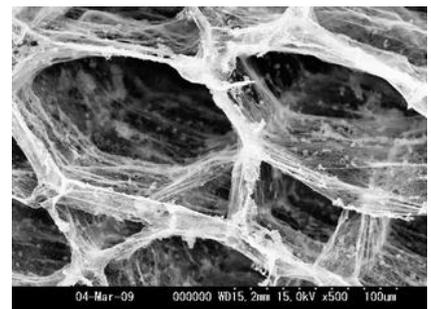


図24 蓄養7日後



蓄養14日後



蓄養20日後

### 【まとめ及び今後の課題】

秋季～冬季にかけての水温下降期及び水溫低温期におけるゴマサバの蓄養においては、漁獲からの池入れ時に魚体のスレが起こらないように丁寧な扱いを行うことで、蓄養期間中のへい死率を5%程度に抑えることが可能であった。

21日間の蓄養では開始時と比べ肥満度の減少は少なくほとんど影響を及ぼさないことが確認され

た。また、開始から9日目までは粗脂肪含量もほとんど減少しないことが確認された。肉質物性の側面からは、肉の弾力性を表す項目の一つである圧縮強度において、蓄養開始から2週間までは経過日数とともに数値が上昇し、歯ごたえが強くなることが確認された。

今回、天然海域でのサバを供試魚とし個別分析とするため、個体差によるバラツキが大きく、最適蓄養条件を見いだすに至らない項目が生じた。これを解決するために、来期の試験実施においては、さらに分析個体を増やし、再現性のあるデータ採取していくことで、最適蓄養条件を見つける必要がある。

また、蓄養当日の鮮度指標が良好であった要因として、漁獲時から当センター搬入までの安静が考えられた。このことを踏まえ、漁獲直後からの時間経過に伴うストレス緩和の推移を目的とする項目については、実験的に漁獲ストレスを再度与えてから回復状態を確認する等、必要とする項目に応じた対応が必要である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご支援賜りました鹿児島県旋網漁業協同組合並びに（有）海盛水産に深く感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 尾藤方通・山田金次郎・三雲泰子・天野慶之：魚の死後硬直に関する研究－1．東海水研報(1983)
- 2) 三坂尚之・水野伸也・宮腰靖之・竹内勝巳・鷹見達也・笠原昇：飢餓中のサクラマス当歳魚の肝臓におけるトリグリセリドおよびグリコーゲン含量の変動．日水誌(2004)
- 3) 安崎友季子・滝口明秀・小林正三 底曳網漁獲ヒラメの鮮度保持と蓄養による高品質保持. 水産学シリーズ, 恒星社厚生閣(2004)