

魚類の鮮度保持条件に関する研究

—特に致死，保存，環境条件が魚類の鮮度に及ぼす影響—

Studies on Preservation of Fish Freshness

—Effects of Killing Methods, Storage Temperatures and Rearing Conditions—

2007年 3月

長崎大学大学院生産科学研究科

岡本 昭

目 次

| | |
|---|----|
| 第1章 緒 言 | 12 |
| 第2章 長崎近海で漁獲されたマアジ筋肉の死後変化に及ぼす保存温度と致死条件の影響 | 16 |
| 2-1 緒 言 | 16 |
| 2-2 試料及び方法 | 17 |
| 2-2-1 材 料 | 17 |
| 2-2-2 保存温度実験 | 17 |
| 2-2-3 致死条件実験 | 17 |
| 2-2-4 ATP 関連化合物の測定 | 17 |
| 2-2-5 乳酸の測定 | 17 |
| 2-2-6 破断強度の測定 | 17 |
| 2-3 結 果 | 17 |
| 2-3-1 保存温度実験における死後変化 | 17 |
| 2-3-2 致死条件実験における死後変化 | 19 |
| 2-4 考 察 | 20 |
| 第3章 養殖イサキの死後変化に及ぼす刺殺条件と保存温度の影響 | 22 |
| 3-1 緒 言 | 22 |
| 3-2 試料および方法 | 22 |
| 3-2-1 材 料 | 22 |
| 3-2-2 致死条件実験 | 22 |
| 3-2-3 保存温度実験 | 23 |
| 3-2-4 ATP 関連化合物の測定 | 23 |
| 3-2-5 死後硬直の測定 | 23 |
| 3-3 結 果 | 23 |
| 3-3-1 ATP 関連化合物の変化および死後硬直に及ぼす致死条件の影響 | 23 |
| 3-3-2 ATP 関連化合物の変化および死後硬直に及ぼす保存温度と飼育温度の影響 | 24 |
| 3-4 考 察 | 26 |
| 第4章 天然イサキの死後変化に及ぼす保存温度 | 27 |
| 4-1 緒 言 | 27 |
| 4-2 試料および方法 | 27 |
| 4-2-1 材 料 | 27 |
| 4-2-2 保存温度実験 | 28 |
| 4-2-3 ATP 関連化合物, グリコーゲンおよび乳酸量の測定 | 28 |
| 4-2-4 死後硬直の測定 | 28 |

| | |
|------------------|----|
| 4-2-5 統計処理 | 28 |
| 4-3 結果 | 28 |
| 4-4 考察 | 31 |
| 第5章 総合考察 | 33 |
| 謝 辞 | 37 |
| 参考文献 | 37 |
| 要 約 | 43 |

第1章 緒言

我が国における生鮮魚介類（冷凍を含む）の国民1人・1年当たり供給純食料は昭和40年に28.1kgであったものが平成13年40.2kgとピークを迎え、以降、平成16年は34.5kgとやや減少傾向にあるが、近年はほぼ横ばい状態もしくは長期的に見れば増大の傾向にある。¹⁾

一方、国内の海面の漁業生産量は平成6年6,590千トンから平成16年には4,455千トンに減少し、養殖業生産量は平成6年1,344千トンから平成16年1,215千トンに減少している。同様に生産額は海面漁業で15,819億円（平成6年）から10,655億円（平成16年）、養殖業では6,270億円（平成6年）から4,343億円（平成16年）へと減少している。²⁾また、この間において、全般的に魚価の向上は認められない。

国内の漁業生産量が減少した分の供給は、食用魚介類の輸入量が平成6年3,776千トンから平成16年には4,103千トンへ増加しているように輸入によって補われている。³⁾しかし、1人・1年当たりの供給純食料量がほぼ一定もしくは長期的には増大傾向にあるのに対して、生鮮魚介類の1人・1年当たり購入量は昭和40年頃には16kg前後であったものが、その後緩やかに減少を続け、平成16年には12.8kgにまで低下して逆の傾向を示している。⁴⁾

これらのことから、近年、食生活の大きな変化とその背景として水産物流通の構造が大きく変化し、流通ルートが多様化している⁵⁾などの事情がうかがえる。

例えば食生活の変化については、水産物が外食や中食など調理食品として摂取されることが増え、食材として消費者に直接、購入される水産物が減少したことや生鮮魚介の購入する上で調理しやすく、不可食部が除去された形態で販売・購入されるようになったことがあげられる。⁶⁾

農林水産省の食料品消費モニター調査（平成15年度第3回）⁷⁾によれば、消費者が食料品を購入する際に注意する点は、生鮮3品について「鮮度や品いたみの程度」が2位以下を大きく引き離してどの年齢階層でも多数であり、特に鮮魚について年齢別にみると、20歳代を除き、「新鮮」が1位、「品質」が2位となっている。

筆者ら⁸⁾が実施した「水産物の安全・安心に関するアンケート」（平成17年）では、日頃の買い物で水産物を買うときに気になることとして、「鮮度」、「価格」、「国産か輸入か」の順で高く、先の調査と同様な結果であるが、不安を感じる水産物として「輸入品」が最も高かった。この傾向は北海道⁹⁾の実施した「道産水産物トレーサビリティ導入検討予備調査事業」（平成15年）でも「鮮度」や「産地」について意識が高い点において同様であった。また、「輸入品」には消費者の多くが何らかの不安を感じつつも、輸入量の増大や魚市場を経由する水産物の減少など流通ルートは多様化している。

前述したように消費者が水産物を購入するときのポイントは「鮮度や品質」であるものの、鮮魚を購入する際、最もよく利用されているのはスーパーマーケットで、その理由は利便性が高いことがあげられている。⁴⁾そのスーパーマーケットは、大型店舗を多数有し、一度に大量の商品を計画的に仕入れるため、冷凍品、加工品などの「輸入品」が中心となる傾向があり、消費者の意識と行動には差異がみられる。スーパーマーケットと集荷、分荷、価格形成、決済の機能を有する産地および消費地の魚市場とは流通システム上の対応が困難であり、市場経由率が低下し直接取引や相対取引が上昇することになる。

産地の生産者側からみると、消費者ニーズが鮮度、利便性、そして低価格と多岐にわたっていることや、鮮度や安全性に疑問を持ちながらも大口需要者が求める輸入水産物との競争の中で産地による販売力強

化が必要となっている。このため各地ではブランド化や新たな販路開拓を図るなど付加価値を高めるための取り組みが開始されている。水産業の経営の安定と発展を図るためには、鮮度や多様性・季節性といった国産水産物の持つ特長を活かして、変化する消費者ニーズにどのように応えていくかが課題となっている。⁴⁾

これらの取り組みとして、長崎県内では活魚、鮮魚及び水産加工品のブランドの確立について取り組みが行われている。^{10,11)}水産物の商標登録は大分県の「関アジ」「関サバ」¹²⁾を代表としているが、長崎県内には18魚種の商標登録が行われている。その中でもマアジについては「ごんあじ」「野母んあじ」「旬あじ」「てっぺんあじ」の4種が登録されている。マアジは長崎県で平成16年に61,205トンの生産があり全国漁獲量の約22%を長崎県が占めている。

¹³⁾ マアジは温暖性の回遊魚で日本周辺に広く分布しており、長崎県周辺海域も主漁場の1つになっている。大中型まき網、中・小型まき網の他、大型定置網、小型定置網、刺網や一本釣りなど様々な漁法で漁獲されている。¹⁴⁾

商標登録された「ごんあじ」は漁場である長崎県五島灘と体色の黄金色を由来として命名されたものである。対象魚は五島灘の瀬付きのマアジをまき網で漁獲したもので体の背部が黄色みを帯びた緑色で腹部にかけて黄金色に輝く250g以上のマアジを用いている。体脂肪含有量が高く、1週間ほど餌を与えずに畜養することで身が締まり、黄色みが強くなるとされている。¹⁵⁾「野母んあじ」は野母崎沖において一本釣りで漁獲された全長26cm以上、体重が300~500gの瀬付きのマアジである。¹⁵⁾「旬あじ」は五島・対馬海域で4月~8月に大中型まき網によって漁獲された100g以上のマアジである。¹⁵⁾また、「てっぺんあじ」は対馬周辺海域において小型まき

網で漁獲されたマアジであるという特徴を有し各地で差別化のための取り組みがなされている。

イサキは主に本州中部以南から東シナ海にかけて分布し、一本釣り、吾智網、定置網、刺網等で漁獲される重要な魚種である。¹⁶⁾長崎県では平成16年に1,919トンが漁獲されており、全国の漁獲量の33%を占める長崎県においては非常に重要な魚種である。イサキは小値賀漁協が「値賀咲」という名称で登録している。「値賀咲」は小値賀島周辺で一本釣りで漁獲された250g以上のイサキとして扱われている。

いわゆるブランド魚は多くの場合、生鮮水産物であり、地域の漁業協同組合がブランド化として取り組んでいる。^{17,18)}この背景は生産者がマーケティング志向への興味を持ち、付加価値を付けて販売する必要が生じるようになってきたことと消費者、市場への対応の必要性という側面がある。また近年では、消費者が「食の安全・安心」への関心の高まり¹⁹⁾とともに、品質の保証、HACCP^{20,21)}認定の取得等より衛生的な環境での生産、生産履歴や流通履歴の開示、手法としてのトレーサビリティ・システムの導入^{22,23)}などの必要性がうたわれている。このような中で食に対する現在のトレンドとして、生産者が保証する取り組みは時節に合致したものだと考えられる。

中でも魚類の品質と鮮度の問題は、これまで述べてきたように生産魚介類の価値を決定づける水産物流通における最大の問題であり、生鮮魚介類の鮮度を保持することは、品質管理や安全性へ寄与し、付加価値の向上のみならず、トレーサビリティの導入や食の安全・安心を促進することとなる。

本研究はこのような背景の中、魚類の品質向上のための鮮度保持技術の開発の観点から実施したものである。

さて、魚類の品質は鮮度と密接な関係にあり、これまで魚類の鮮度にかかる研究がなされてきた。そ

の中で多くの鮮度判定法が考案され、鮮度指標とされてきた。^{24,25)}

かつて広く採用されていた鮮度判定法は生菌数測定やVB-NやTMA-Nのように魚類の鮮度は細菌作用によって低下するという発想であった。しかし、漁業、流通現場における評価は、鰓の色、眼球の混濁等を用いており、魚そのものの質的な変化を経験的に適応しているものであった。これらの判定は多く使用されているにもかかわらず経験に基づくものであり、食に関する社会情勢から鮮度の規範は変化していく。例えば1950年代の水産物流通における食品の鮮度の基準は食品として食べられるかどうか²⁶⁾ということ判断する程度である。これらの判定は現在の商品価値基準である「活きのよさ」の客観的指標になりにくい。現在、科学的な鮮度判定法としては、破断強度や弾性等の物理的方法、ドリップ量や遊離アミノ酸量、K値等があげられる。Saitoら²⁷⁾が提唱した下記に示すK値は、官能的な「活きのよさ」と良い相関を示す客観的指標として、水産分野において実用性を有し多くの研究に利用されている。

$$K \text{ 値}(\%) = (\text{HxR} + \text{Hx}) / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}) \times 100$$

(以下、ATP：アデノシン三リン酸、ADP：アデノシン二リン酸、AMP：アデノシン一リン酸、IMP：イノシン酸、HxR：イノシン、Hx：ヒポキサンチン酸)

現在、K値の測定法としてはイオン交換クロマトグラフ法、²⁸⁾高速液体クロマトグラフ法、²⁹⁾バイオセンサ法、³⁰⁾酵素比色法^{31,32)}が用いられている。一般に魚類の場合、K値が20%までは生、即ち刺身として食することができ、20-40%は鮮度良好、

40-60%は加熱、調理すれば食することができ、60%以上は腐敗とされている。³³⁾しかし、無脊椎動物筋肉の場合はK値が当てはまらない例もある。例えばイカ類の場合K値の上昇が速やかで官能検査と合致せず、鮮度判定指標として適していない。Ohashiら³⁴⁾はスルメイカをYokoyamaら³⁵⁾はヤリイカを対象としてK値の式を変換し、Hx比、Xt(キサンチン)比、Hx/AMP比を提唱した。これらの式はイカ類の貯蔵中にほぼ直線的に増加がみられ、また、官能検査ともよく一致しており、長崎県の特産種であるアオリイカについても適応できる。* また、他の甲殻類についても品質評価の試みがなされており、クルマエビ、³⁶⁾マダコ、³⁷⁾ホタテガイ、³⁸⁾マガキ³⁹⁾、クロアワビ⁴⁰⁾等で化学的な指標が提唱されている。

死後の筋肉に観察される初期変化のうち、最も顕著なもの1つに死後硬直がある。死後硬直とは物理的には、筋肉が伸展性あるいは弾性を失って硬直性を示す現象である。⁴¹⁾魚類については死後変化が一般に早く、魚種、個体間の取り扱いによって著しく値が異なるが、魚類の死後硬直に関する初期の報告は野口⁴²⁾によってなされている。その後、尾藤ら⁴³⁾が魚の死後硬直測定法についてCuttingの方法⁴⁴⁾を改良して提案し、現在、この測定法が広く利用されている。これを用いて岩本ら⁴⁵⁾はマダイを用いて死後硬直と貯蔵温度の関係について述べた。これはマダイの場合10℃貯蔵の方が0℃貯蔵よりもATPの減少が緩慢で死後硬直が遅延するという報告である。この報告以前にも死後硬直に及ぼす貯蔵温度の影響について調査された研究があり、やや高い温度に貯蔵したほうの死後硬直が遅れるという報告⁴⁶⁾もあるものの岩本らの報告を契機として多くの魚類について死後硬直の進行速度が述べられた。

死後硬直と貯蔵温度の関係について岩本らはヒラ

* (未発表資料)

メ,⁴⁷⁾ハマチ,⁴⁸⁾マゴチ,⁴⁸⁾イシダイ,⁴⁸⁾Iwamoto
らはカレイ,⁴⁹⁾Watabe らはマイワシ,⁵⁰⁾マサバ,⁵⁰⁾
について、岡ら⁵¹⁾は養殖ブリについて報告している。
また、死後硬直の進行に及ぼす影響については貯蔵
温度の他、致死条件、飼育条件などからいくつかの
研究が行われた。

望月らはマアジ,⁵²⁻⁵⁴⁾マサバ,^{55,56)}マルアジ⁵⁶⁾を用
いて温度ショック、首折り、脱血など致死条件によ
る死後変化の影響について報告した。その結果、苦
悶や温度ショックによって致死させた場合に比較し
て、即殺や脱血することは魚の死後硬直の進行やエ
ネルギー関連物質の変化を遅らせることができるこ
とを報告した。また、門上⁵⁷⁾は養殖魚の新しい鮮度
保持技術として一過的な低温ショックで魚を安楽死
させることで死後硬直が遅延する魚の活けしめ方法
を提案している。

寺山⁵⁸⁻⁶⁰⁾は活けしめ脱血処理を行うことでカツオ
筋肉の pH 低下を抑え、メトミオグロビンの生成を
遅延でき、肉色の保持ができるとし、実際に漁獲直
後のカツオ、カンパチ、ハマチを活けしめ脱血して、
漁獲物の付加価値向上及び消費拡大を図ることを目
的に、紡錘形魚の活けしめ脱血装置を開発しその品
質向上を認めた。

Ando ら⁶¹⁾は新しい致死法として脊髄破壊を取り
上げ、ブリ、マダイ、ヒラメを用いて検討した。そ
の結果、ブリ、マダイは硬直の遅延が認められたも
ののヒラメは硬直の遅延が認められなかったことを
報告した。

Nakayama ら^{62,63)}はマダイについて脊髄破壊が死
後硬直遅延の影響があることを認め、pH が高水準を
維持しプロテアーゼの活性が抑制されたためと推察
している。

飼育温度については Tsuchimoto ら、⁶⁴⁾Abe ら、
⁶⁵⁾Watabe ら、⁶⁶⁾Hwang ら⁶⁷⁾によって死後変化に生息
温度が影響することが報告されている。

このような死後硬直のメカニズムについて渡部ら
⁶⁸⁾は硬直の進行と ATP の分解速度の温度依存性を次
のように説明している。筋肉細胞中の筋小胞体の
Ca²⁺取り込み能は 10°C や 20°C に比較して 0°C では極
端に低かった。筋原繊維の ATPase 活性は筋形質中
の Ca²⁺濃度の変化により調節され、この Ca²⁺濃度は
筋原繊維を取り巻く筋小胞体によって制御される。
致死直後の魚の筋肉が弛緩状態にあり、魚体温が
0°C であるとすれば筋小胞体の Ca²⁺取り込み能も低
下して、筋形質中の Ca²⁺濃度が高まる。その結果と
して筋原繊維 Mg²⁺-ATPase 活性が賦活されて ATP
の消費を促進するという機構である。これは基本的
には畜肉の低温短縮現象 (cold shortening) として
同様の想定がなされている。⁶⁹⁻⁷¹⁾

一方、植本らは養殖魚の運動飼育が死後変化に及
ぼす影響⁷²⁾を述べるとともに組織学的な見地から死
後硬直のメカニズムを検討している。Lee ら^{73,74)}は
養殖マダイと養殖ヒラメにおける死後硬直進行の差
異の原因を明らかにするため、筋収縮の経時変化を
比較測定した。また、Wang ら⁷⁵⁾は天然および養殖
マダイのアクトミオシンの性質を比較し、アクトミ
オシンの超沈殿反応の差が死後硬直の差であるとし
た。

また、Yada ら⁷⁶⁻⁷⁹⁾は魚類の鮮度指標となる K 値に
ついて、その上昇への影響をとくに魚類普通筋に存
在するピンク筋に着目して検討している。魚類背部
普通筋へのピンク筋の介在が、死後の K 値変化に及
ぼす影響を検討し、筋タイプの違いによる K 値変化
は、赤筋、ピンク筋、白筋の順位で速かったことか
ら、背部普通筋へのピンク筋の介在は K 値変化を速
めることがわかった。

このように魚類の死後変化のメカニズムについて
はおおよそ明確になってきた。今後はこれらを生産
流通の現場でどのように展開していくかの段階に入
っており、魚種ごとの商品形態に応じた詳細な検討

が必要になっている。品質の影響要因に関しては Tsuchimoto ら⁸⁰⁾の筋タイプ別の酵素活性や渡部ら⁸¹⁾のミトコンドリアの生物活性などが報告され、新しい品質評価法としては近赤外分光法^{82,83)}やK値指標に基づく生鮮魚類の温度管理システムが開発⁸⁴⁾されている。また、具体的な品質保持技術開発としては漁獲物の安静のための蓄養⁸⁵⁾や漁獲段階での冷却⁸⁶⁾が行われている。

さらに近年はブランド魚への展開や食の安全・安心という観点から、より高鮮度で高品質の水産物の生産技術が求められており、どのような魚種がどのように漁獲され、取り扱われ、流通されたかを具体的に示す必要がある。

このような観点から本研究においては、長崎県の代表的な魚種であるマアジを対象として、死後変化に及ぼす保存温度と致死条件について把握し死後変化に関する特徴を述べた。(第2章)次に、飼育温度の違いで魚の死後変化に及ぼす保存温度と致死方法の影響の差異を把握するため、養殖魚であるイサキを対象とし、死後変化に関する特徴を述べた。(第3章)さらに天然イサキの死後変化について検討し、天然イサキと養殖イサキの差異を述べた。(第4章)これらを総括してブランド魚として付加価値を向上させるための鮮度保持技術の在り方について考察した。

第2章 長崎近海で漁獲されたマアジ筋肉の死後変化に及ぼす保存温度と致死条件の影響

2-1 緒言

死後変化の進行を遅らせて味やテクスチャーの良い魚を消費者に供給することは重要な課題である。魚類の死後変化に影響する要因には、保存温度や致

死条件などがあり、多くの研究が行われている。
49,51,52,55,56,61-63)

死後変化に及ぼす保存温度の影響について、岩本ら⁴⁹⁾は、ヒラメのATPの減少や死後硬直の進行は0℃や20℃に比べて5~15℃が緩慢であるが、15℃では鮮度の保持が困難であり、5℃と10℃の保存温度が最も適当であると報告した。望月ら⁵⁵⁾は、マサバでは5℃が最適な保存温度であることを報告した。その理由はエネルギー関連物質や死後硬直の変化は0℃や-3℃に比べて5℃と10℃が遅いが、5℃の方が10℃より鮮度と破断強度の低下が遅いことによる。これらの結果のように、死後変化を遅らせると共に、鮮度低下を抑制する保存温度の設定がいくつかの魚種で明らかにされてきている。

死後変化に及ぼす致死条件の影響について、延髄刺殺は苦悶死に比べるとエネルギー関連物質の変化が遅く、死後硬直も遅いことが多くの魚種で^{51,52,56)}確認されており、延髄刺殺は広く用いられている致死方法である。一方、Nakayamaら^{62,63)}は、マダイを用いて、延髄刺殺より、脊髓破壊をすると死後変化をさらに遅らせることを示した。さらに安藤ら⁶¹⁾も、脊髓破壊がブリやマダイの死後硬直を遅らせるのに有効であったがヒラメでは効果がなかったことを報告している。これらの報告のように、いくつかの魚種では脊髓破壊が魚の死後変化を遅らせる有効な方法であると認められている。しかしながらその有効性が検討されていない魚種も多い。

長崎県近海の五島灘でとれる大型のマアジは、体色の美しさと食味の良さから高級魚としてブランド化され、生で消費するための生鮮魚として利用されている。この評価をさらに高めるためには、死後変化の進行をできるだけ遅らせた高品質の魚を消費者に供給することが重要である。本研究では、この長崎産のマアジの死後変化を遅らせるのに有効な保存温度や脊髓破壊を含めた致死条件の影響を検討した。

2-2 試料及び方法

2-2-1 材料

長崎近海の五島灘で漁獲されたマアジを研究室に搬入し、一夜安静にさせた後、実験に用いた。

実験は種々の保存温度における死後変化を検討した保存温度実験と種々の致死条件における死後変化を検討した致死条件実験の2つの実験項目で行った。

2-2-2 保存温度実験

試料魚は延髄を切断して殺した後、すぐに脊髄を破壊した。脊髄破壊は延髄を切断した部分から脊柱にピアノ線を挿入して行った。魚体はポリエチレン袋に入れて恒温水槽 (5°C, 10°C, 15°C) に入れるか、氷をつめたアイスボックス (0°C) に保存した。経時的に試料魚より背部普通筋を採肉して、ATP 関連化合物、乳酸、破断強度の測定に用いた。

2-2-3 致死条件実験

試料魚は4つの方法で致死させた。すなわち延髄を切断して、血抜きを行う方法 (即殺)。試料魚を空气中に10分間放置して暴れさせた後、延髄を切断する方法 (苦悶死)。氷を入れて冷却した海水に試料魚を10分間入れた後、延髄の切断と血抜きをする方法 (温度ショック)、延髄を切断して血抜きをした後、脊髄を破壊する方法 (脊髄破壊) であった。保存温度は、前述の保存温度実験の結果で最適であると考えられた 10°C を全ての致死条件において用いた。致死条件実験における ATP 関連化合物、乳酸、破断強度の測定のための試料魚の取り扱いには保存温度実験と同様であった。

2-2-4 ATP 関連化合物の測定

ATP 関連化合物は、Ehira らの方法⁸⁷⁾に従って背部普通筋 1g から過塩素酸により抽出した。これを pH6.4 に中和した。この試料を用いて、槌本らの HPLC 法²⁹⁾で分析した。

2-2-5 乳酸の測定

乳酸は、ATP 関連化合物と同様にして抽出した。その試料は pH3.5 に中和し、酵素法⁸⁸⁾で分析した。

2-2-6 破断強度の測定

破断強度は経時的に採取した背部普通筋をマイクロトームの刃で 1cm³ の立方体に整形し、この試料の筋繊維の走る方向に対して、垂直に円柱プランジャー (直径 5mm) を挿入後、レオメーター RE-3305 を用いて測定した。クリアランスと試料台の上昇速度はそれぞれ 3mm および 1 mm/s であった。

2-3 結果

2-3-1 保存温度実験における死後変化

Fig.1 に示すように即殺時点の ATP 含量は、いずれの保存温度も 6 μ mol/g 以上の高いレベルにあった。0°C, 5°C, 15°C 保存では6時間までは ATP 含量はほぼ一定であったが、6時間以後急速に減少した。その低下速度は0°Cが著しく速く12時間で1 μ mol/g 以下になり、次いで5°Cと15°Cは18時間後に1 μ mol/g 以下になった。他方、10°C保存の ATP 含量はゆっくりと減少し、24時間後に1 μ mol/g になった。

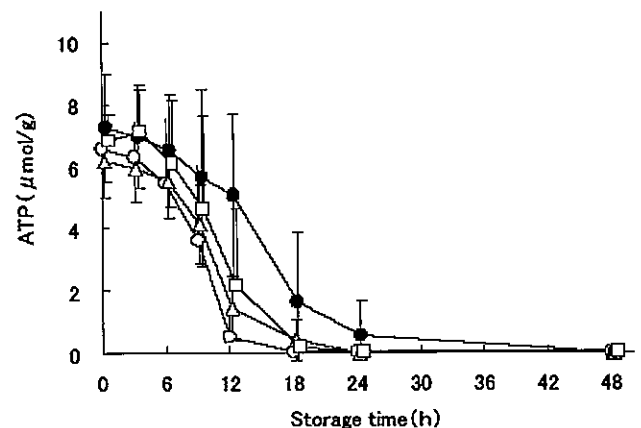


Fig. 1 The effect of storage temperatures on the ATP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: 0°C, △: 5°C, ●: 10°C, □: 15°C

Fig.2 に示したように即殺時点の IMP 含量は、いずれの保存温度も $1 \mu\text{mol/g}$ 以下の低いレベルにあった。IMP の経時的な上昇速度は 0°C が最も速く、次いで 5°C と 15°C で、 10°C 保存が最も遅かった。この順位は、先の ATP 含量の経時変化の速度によく対応していた。

魚肉保存中の K 値の経時変化を Fig.3 に示した。K 値は 0°C 、 5°C 、 10°C 保存ではいずれも著しくゆっくりと変化し 24 時間後でも約 3% であった。48 時間後では K 値は 10°C が 5°C と 0°C よりやや大きくなった。一方、 15°C 保存は他の保存温度に比べて急速に K 値が上昇し、48 時間後には 20% をこえて生食に適さない状態になった。上記の結果より 10°C 以下の保

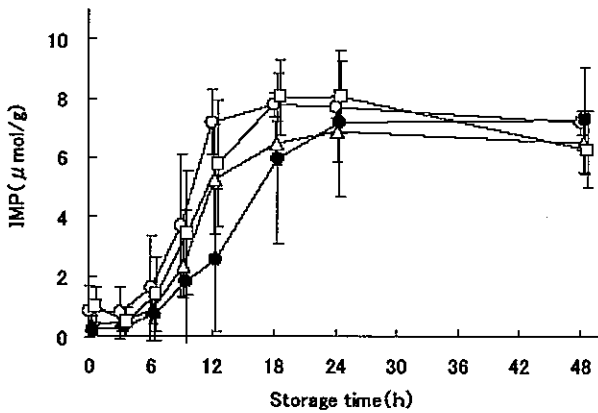


Fig. 2 The effect of storage temperatures on the IMP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C , Δ : 5°C , \bullet : 10°C , \square : 15°C

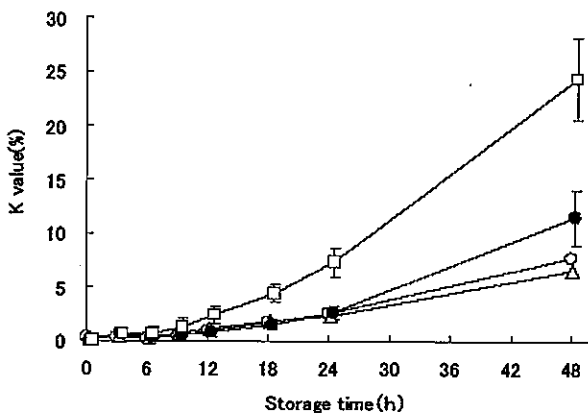


Fig. 3 The effect of storage temperatures on the K value of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C , Δ : 5°C , \bullet : 10°C , \square : 15°C \blacktriangle : 20°C

存温度であれば、24 時間までは著しく良好な鮮度を維持できると考えられた。

Fig.4 に示すように、即殺時点の乳酸量には保存温度による違いはほとんどなかった。乳酸量の増加速度は、 15°C と 0°C 保存が最も速く、次いで 5°C 保存で、 10°C 保存が最も遅かった。この結果から、グリコーゲンの減少は 10°C 保存において最も遅いことが推測された。

Fig.5 に示すように、破断強度はいずれの保存温度でも経時的に減少し、24 時間後には最小レベルに達した。破断強度はほとんどの保存時間で 0°C と 15°C より 5°C と 10°C が高い傾向にあった。特に、保存時間の 9~24 時間では、その差異が明らかであった。

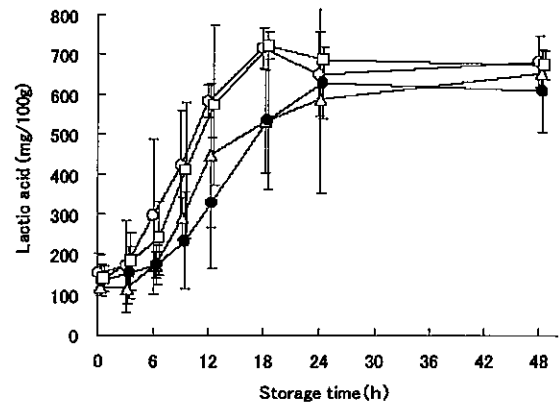


Fig. 4 The effect of storage temperatures on the lactic acid concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C , Δ : 5°C , \bullet : 10°C , \square : 15°C \blacktriangle : 20°C

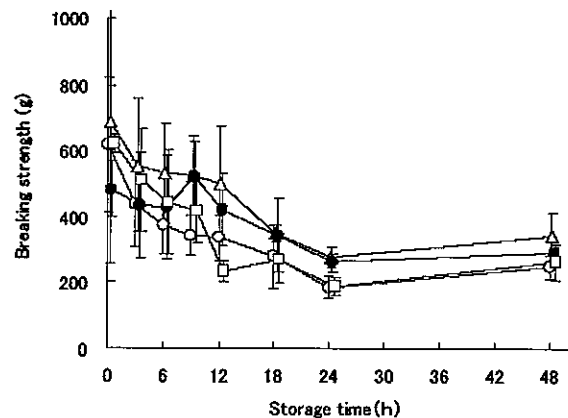


Fig. 5 The effect of storage temperatures on the breaking strength of muscle in the horse mackerel. (a): summer (b): winter Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ : 0°C , Δ : 5°C , \bullet : 10°C , \square : 15°C \blacktriangle : 20°C

保存温度実験の結果より、長崎近海の五島灘産のマアジでは、死後のエネルギー関連物質の低下と鮮度の低下を遅らせるには 10℃保存が最適であろうと考えられた。

2-3-2 致死条件実験における死後変化

Fig.6 に示すように ATP 含量は、即殺時においては苦悶群が $5 \mu\text{mol/g}$ 以下の低いレベルにあったが、他の致死条件はいずれも $6 \mu\text{mol/g}$ 以上の高いレベルにあった。ATP 含量の低下は、苦悶群が著しく速く、死後 3 時間で $1 \mu\text{mol/g}$ 以下になったが、即殺と温度ショック群はゆっくりと減少し、12 時間後に $2 \mu\text{mol/g}$ になった。脊髄破壊群は最も遅く、24 時間後に $1 \mu\text{mol/g}$ 以下になった。

Fig.7 に示すように即殺時の IMP は、苦悶群が $3 \mu\text{mol/g}$ 以上で高かったが、他の群は低かった。IMP の上昇速度は、苦悶群、温度ショック群と即殺群、脊髄破壊群の順で遅くなった。この順位は ATP 含量の分解速度の結果における順位ととてもよく対応していた。(Fig.6)

各致死条件の K 値の経時変化を Fig.8 に示した。K 値の上昇速度は苦悶群、温度ショック群と即殺群、

脊髄破壊群の順に遅くなり、IMP の増加速度の結果に呼応した。脊髄破壊群は、24 時間後においても K 値約 2%、48 時間後でさえも 10% と極めて低かった。

Fig.9 に示すように即殺時点の乳酸量は、苦悶群が他の群よりいくぶん高いレベルにあった。乳酸の生成速度は、脊髄破壊群が他の致死条件に比べて著しく遅かったが、その他の群間にはあまり明らかな差が見られなかった。この結果より、グリコーゲンの減少は脊髄破壊群が他の群よりとても遅いことが推測される。

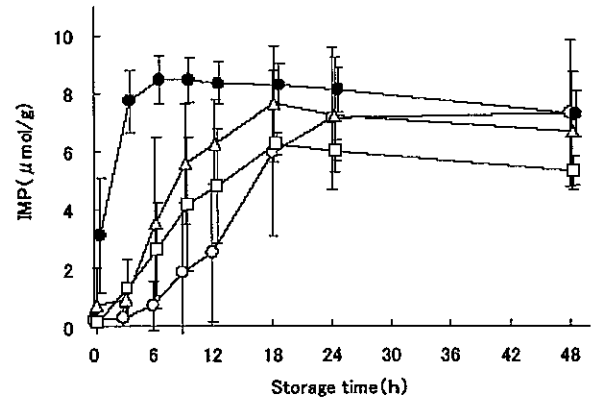


Fig. 7 The effect of killing procedures on the IMP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, Δ: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

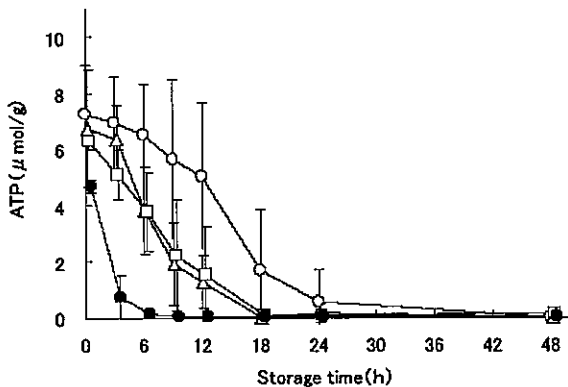


Fig. 6 The effect of killing procedures on the ATP concentration of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: destroying the spinal cord (spinal cord destruction killing), Δ: cutting the brain (instant killing), □: dipping in cold sea water (temperature shocked killing), ●: leaving in the air (struggled killing)

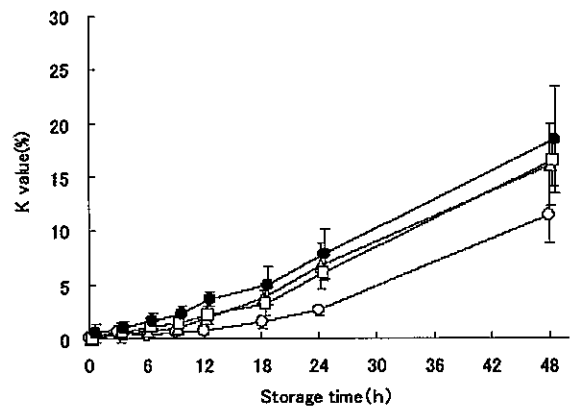


Fig. 8 The effect of killing procedures on the K value of the horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, Δ: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

Fig.10 に示すように破断強度は死後、徐々に低下し、いずれの致死条件でも約 24 時間でほぼ最低値になった。即殺直後を除いた死後の保存時間において、破断強度は即殺群と脊椎破壊群が苦悶群、温度ショック群より大きかった。しかし、脊椎破壊群と即殺群の間にはほとんど差はみられなかった。

以上の致死条件実験の結果より、エネルギー関連物質の低下などの死後変化や、鮮度低下を遅らせるには、脊椎破壊が最も有効な致死方法であると考えられた。

2-4 考察

長崎近海産マアジの死後変化を遅延させる保存温度を調べるために、保存温度実験を行った。これまでの研究によれば、岩本ら^{45,48,89)}が、マダイ、ブリ、ヒラメ、マゴチ、イシダイにおいては、0℃より10℃保存の方が死後硬直進行や ATP 分解が遅くなることを報告している。この現象を実際に利用する方法として、田中は⁹⁰⁾マダイやヒラメを市場に流通させる時に0℃よりも10℃で保存することを提案した。彼は死後硬直を遅らせて死後硬直前の魚を市場に供給できれば活魚と同等の市場での評価を得るであろうと述べている。本研究のマアジにおいても、0℃よ

り10℃保存の方が、ATP, ADP, AMP や乳酸のようなエネルギー関連物質の変化が遅く、死後硬直の進行が遅いことが推測され、岩本の報告とも一致している。一方、望月ら⁵²⁾はマアジの0℃と8℃保存において、エネルギー関連物質の変化が0℃より8℃が遅かったが、死後硬直による差が小さかったことを関連物質の変化速度の違いが、死後硬直の進行速度に影響する程度は魚種で異なり、マアジは比較的小さい魚種であることを推論している。本研究では死後硬直については魚体数の関係などから検討をしていない。従って、この点については明らかではないが、10℃保存は他の温度に比べて明らかにエネルギー関連物質の変化が遅いので、その程度の大小はあっても死後硬直も遅いと推測される。

保存温度と鮮度低下の関係についてみると、マアジのK値の変化は保存温度が高くなるほど大きくなる傾向にあり、マダイ⁴⁵⁾、ヒラメ⁵⁰⁾などの魚種にも同様に認められている。しかしながら、0℃、5℃、10℃の保存温度におけるK値の変化は極めて小さく、24時間後では約3%を呈し保存温度間ではほとんど変わらなかった。すなわち、10℃保存は0℃と同じように24時間までほとんど鮮度低下をおこさないと考えられた。一方、山中ら⁹¹⁾は、ヒラメにおいて

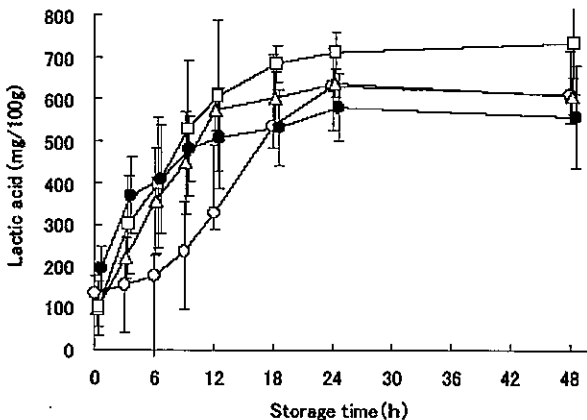


Fig. 9 The effect of killing procedures on lactic acid concentration of muscle in horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, △: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

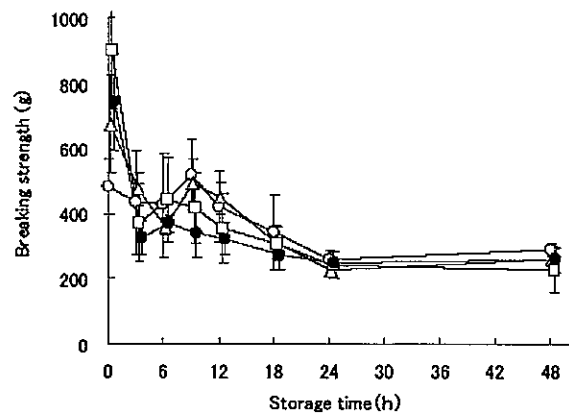


Fig. 10 The effect of killing procedures on the breaking strength of muscle in horse mackerel. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, △: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

2段階の保存温度のコントロールを提案した。それは、第一段階として硬直を遅延させるために完全硬直までは5℃もしくは10℃に保持し、その後の第二段階は鮮度低下を遅らせるために0℃に保存する方法である。本研究のマアジにおいても、24時間後にはATP量がほぼ消失しており、完全硬直に達していることが推測されることから、24時間以後は0℃保存に切り替えることが鮮度低下を遅らせるために最適であると考えられる。

死後変化における筋肉の硬さについて、マアジ筋肉の破断強度は0℃や15℃より5℃や10℃が高いレベルで維持された。望月ら⁵⁹⁾はマサバにおいて、5℃保存が0℃や10℃より明らかに破断強度が高いレベルに維持されると共に、K値の変化においても5℃保存は10℃よりゆっくりであることを報告した。マサバにおいて10℃保存が硬さの維持に効果的でないのは、マサバが著しく鮮度低下の早い魚種であることよると思われる。いずれにせよ、本研究のマアジでは5℃と10℃は歯ごたえの維持の点で共に望ましい温度と思われた。

以上の保存温度実験の結果から、長崎近海産のマアジの死後変化を遅らせるのに最も望ましい保存条件は、約24時間後までは10℃に保存し、その後は0℃に保存することであると考えられた。

魚の致死条件について、Andoらは⁶¹⁾ヒラメでは効果がなかったが、マダイやブリでは脊髄破壊が延髄刺殺に比べてATPの消費や硬直指数の変化を遅らせる有効な方法であることを報告している。マアジにおいても、脊髄破壊はATPの消費などの死後変化を遅らせる有効な方法であることがわれわれの研究で示された。望月ら⁵⁹⁾はマアジの致死方法として、首折れが延髄刺殺よりもATPなどのエネルギー関連物質や硬直指数の変化を遅らす上で有効であることを報告している。首折れは脊髄の部分的な破壊であることが考えられる。すなわち、本研究の脊髄破

壊が、死後変化の遅延に有効であったことは彼らの見解を支持していると思われる。ところで、彼らはK値の変化には延髄刺殺と首折れで差が無かったことを報告しているが、われわれの研究では、脊髄破壊はK値の低下を遅らせる上でも有効であった。この点において、マアジの首折れと脊髄破壊の結果の間に違いが認められた。いずれにせよ、簡便である点で首折れも優れたマアジの致死方法であるので、致死方法は魚の用途や状況に応じて選択すべきであろう。

他方、魚肉の軟化を遅らせる方法として、安藤ら⁹²⁾は、脱血が回遊性の魚種であるブリ、マアジ、シマアジについては軟化を遅延する効果があり、底生性の魚種であるマダイ、ヒラメ、メジナについては軟化の遅延効果が認められなかった事を報告している。望月ら⁵⁴⁾も脱血がマアジの死後変化を遅らせることを報告している。すなわち、彼らの研究からマアジにおいては脱血が死後変化を遅らせるのに有効であることは明らかである。

本研究で用いた長崎近海の五島灘の瀬付きのマアジは、その黄金色に近い体色の美しさや食味の良さが認められ、「ごんあじ」と称されブランド化された魚の一つになった。近年は、多くの魚種で新たなブランド魚の創出が盛んであり、低迷する魚価を回復する重要な方策にもなっている。しかし、新しいブランド魚が高級魚としての地位を築くには、より良い品質の魚を消費者に届けることが重要である。そこで、魚種やその利用方法に応じた最適な保存方法や致死条件を明らかにすることが重要であると考えられる。本研究の長崎近海産のマアジにおいては、死後変化を遅らせるために最も良い条件は、脊髄破壊と血抜きをした後に約24時間後まで10℃で保存し、その後は0℃で保存する方法であろうと考えられた。

第3章 養殖イサキの死後変化に及ぼす刺殺条件と保存温度の影響

3-1 緒言

近年、消費者の嗜好に応じて流通技術の向上によりいわゆる“活き”のいい魚が供給できるようになってきた。一般に鮮魚の流通において死後硬直前の状態であれば、活魚と同等の評価を受けることから、良好な生鮮度状態を維持することは魚の商品価値を高めることになる。

魚類の死後の生鮮度変化に影響する要因について、これまでに様々な研究が行われている。保存温度については岩本ら^{45,47,48,89)}が養殖マダイ、天然および養殖ヒラメ、ハマチ、マゴチ、イシダイで0℃より10℃で保存した方がATPの減少が緩慢で死後硬直を遅延させることができることを報告している。また、致死条件では、望月ら^{52,53,56)}がマサバ、マルアジ、マアジを用いて苦悶死させるよりも延髄刺殺や温度ショック死、また脱血処理を行う方が死後硬直を遅延すると報告している。近年、延髄刺殺のあとに脊髄破壊を行うことで遅延型痙攣を抑制し死後硬直の遅延を図る試み、いわゆる脊髄破壊が行われており、Nakayamaら^{62,63)}はマダイ、Andoら⁶¹⁾はマダイ、ブリ、筆者ら⁹³⁾はマアジを用いて脊髄破壊の有効性を報告した。また、Watabeら⁶⁵⁾、Abeら⁶⁴⁾は飼育温度をかえたコイを用いて、飼育温度が死後硬直時間を与える影響を報告している。

ところで、イサキは西日本では魚価の高い重要な魚種であり、一部の地域ではブランド化や養殖の試みが行われており、年間を通してイサキが消費者に提供できるようになった。しかしながら、イサキの生鮮度に関しては、これまで山本ら⁹⁴⁾によって報告されているにすぎず、その中でイサキは放置温度が低いほど硬直の進行、完了が遅いと述べられている。この結果は前述の岩本ら^{45,47,48,89)}や筆者ら⁹³⁾の結果

と異なっており、イサキの死後変化が前述の魚種とは異なっている可能性も考えられる。本研究では、前報⁹⁵⁾のマアジに引き続きイサキを対象として、死後変化を抑制するための適切な保存温度、刺殺条件を検討した。また、飼育水温と保存温度の関係については、Watabeら⁶⁵⁾、Abeら⁶⁴⁾がコイ等数種の魚種で行っているが、他魚種は報告例が少ないことから、養殖イサキを用いて飼育水温の異なる夏期と冬期について、保存温度ごとに生鮮度変化を把握するとともに飼育水温の影響を検討したので報告する。

3-2 試料および方法

3-2-1 材料

長崎市内で養殖されたイサキ *Parapristipoma trilineatum* (以下、養殖イサキ) を実験室に搬入し一昼夜安静にさせた後、実験に供した。実験は致死条件ごとの死後変化を検討した致死条件実験および保存温度ごとの死後変化を検討した保存温度実験との2つからなる。致死条件実験では平均体長23.2cm±1.6cm、平均体重287±49gの養殖イサキ32尾を用いた。保存温度実験では環境水温が約25℃の時期に採集した夏期養殖群(平均体長22.9cm±1.1cm、平均体重311±36g、魚体数40尾)と水温が約15℃の時期に採集した冬期養殖群(平均体長23.7cm±0.9cm、平均体重374±35g、魚体数40尾)を用いた。

3-2-2 致死条件実験

冬期養殖群のイサキは以下の4つの方法で各4尾ずつ致死させた。延髄を切断して、脱血させたもの(延髄切断区)、試料魚を空气中に10分間放置して苦悶させた後、延髄を切断して脱血させたもの(苦悶区)、水を入れて冷却した海水に試料魚を10分間入れた後、延髄を切断して脱血させたもの(温度ショック区)、延髄を切断し、脱血後、頭部から尾部

へ向け脊椎索にピアノ線を通して脊髄を破壊したものの（脊髄破壊区）であった。致死させた魚体はポリエチレン袋に入れて10℃の恒温水槽に浸漬した。この保存温度は、後述する保存温度実験の結果で最適であると考えられた10℃を用いた。致死後、経時的に背部普通筋を採肉し、ATP 関連化合物の測定に供した。また、死後硬直の測定は同じ条件で処理、保存した別の個体を用いた。

3-2-3 保存温度実験

供試魚を先の脊髄破壊によって致死した後、魚体をポリエチレン袋に入れて氷水中（氷蔵）および恒温水槽（5, 10, 15, 20℃）に各4尾を浸漬、保存した。経時的に背部普通筋を採肉し、ATP 関連化合物を測定した。死後硬直の測定は致死条件実験と同様、別の個体を用いた。

3-2-4 ATP 関連化合物の測定

ATP 関連化合物は Ehira ら⁸⁷⁾の方法に準じ過塩素酸で抽出を行い、槌本ら²⁹⁾の方法に準じて HPLC 法で分析した。

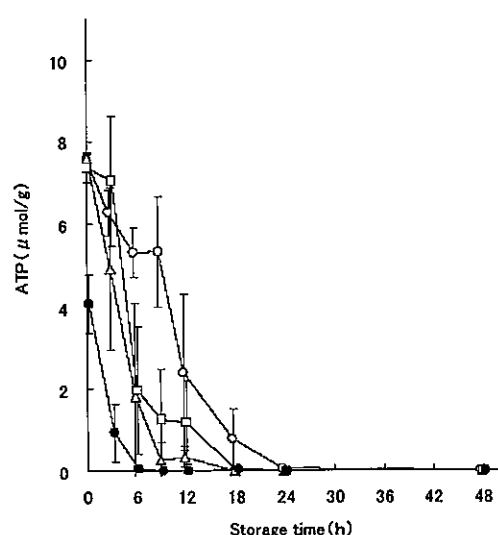


Fig. 11. The effect of killing procedures on the ATP concentration of the three line grunt. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: destroying the spinal cord (spinal cord destruction killing), △: cutting the brain (instant killing), □: dipping in cold sea water (temperature shocked killing), ●: leaving in the air (struggled killing)

3-2-5 死後硬直の測定

死後硬直は硬直指数を用い尾藤ら⁴³⁾の改良 Cutting 法で分析した。

3-3 結果

3-3-1 ATP 関連化合物の変化および死後硬直に及ぼす致死条件の影響

養殖イサキを用いた致死条件の影響について、ATP 含量の経時変化を Fig.11 に示す。苦悶区では致死直後の ATP 含量が約4 μ mol/gであったのに比較して、脊髄破壊区、延髄切断区、温度ショック区は約7.8 μ mol/g以上の高いレベルにあった。各試験区とも ATP 含量は経時的に減少し、ATP が0.5 μ mol/g以下を呈した保存時間は苦悶区では6時間、延髄刺殺は9~18時間、温度ショック区は18時間、脊髄破壊区は24時間で、脊髄破壊区が最も低下が遅かった。

IMP 含量の経時変化を Fig.12 に示す。IMP 含量は苦悶区で致死直後に約4 μ mol/gであったがその他の3試験区は0.5 μ mol/g以下で非常に少なかった。IMP が約7 μ mol/g以上を呈したのは苦悶区、温度ショック区と延髄切断区、脊髄破壊区の順で早かった。こ

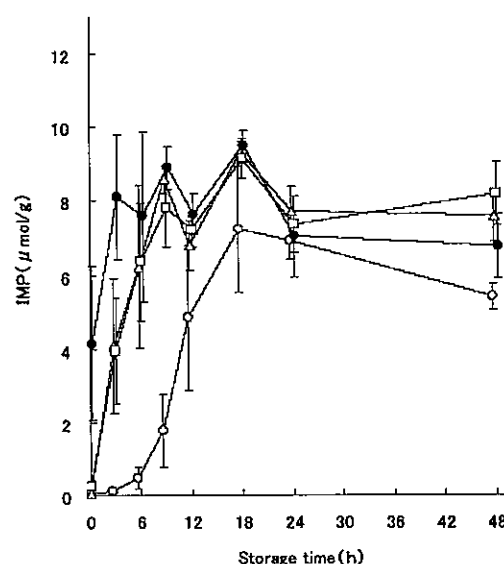


Fig.12 The effect of killing procedures on the IMP concentration of the three line grunt. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, △: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

の順位は先の ATP の減少の結果での順位とよく対応していた。

K 値の経時変化を Fig.13 に示す。K 値の上昇は、保存 24 時間で苦悶区が約 13%と最も高く、脊髓破壊区が 6%と最も低かった。温度ショック区と延髄切断区はその中間の値であった。10°C保存では 48 時間後の K 値はどの致死条件においても 20%以下であった。

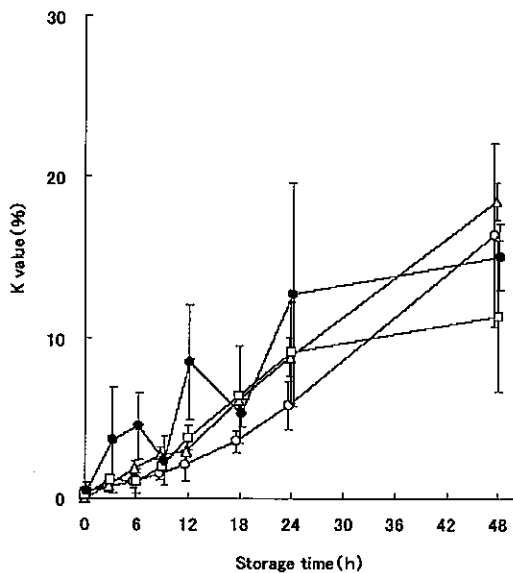


Fig. 13 The effect of killing procedures on the K value of the three line grunt. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, △: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

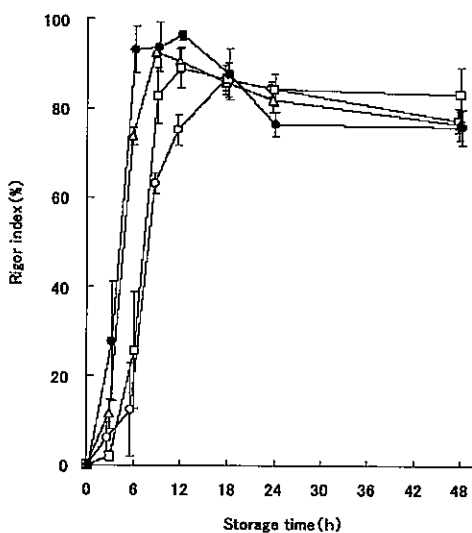


Fig.14 The effect of killing procedures on the riger index of muscle in three line grunt. Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: spinal cord destruction killing, △: instant killing, □: temperature shocked killing, ●: struggled killing

死後硬直の経時変化を Fig.14 に示す。硬直指数のピークは苦悶区が致死後6時間、延髄切断区9時間、温度ショック区12時間、脊髓破壊区18時間で、延髄破壊区の死後硬直進行は最も遅かった。この結果は ATP 含量の低下と一致した。

3-3-2 ATP 関連化合物の変化および死後硬直に及ぼす保存温度と飼育温度の影響

ATP 含量の経時変化を Fig.15 に示す。致死直後の ATP 含量は夏期養殖群で約 8 μ mol/g 以上、冬期養殖群で約 7 μ mol/g 以上と高いレベルを示した。夏期養殖群について ATP が 0.5 μ mol/g 以下を呈した保存時間は氷蔵が 9 時間と最も早く、次いで 5°C, 10°C, 15°C, 20°C 保存の順であった。一方、冬期養殖群は氷蔵, 5°C保存が 18 時間と早く、10°C, 15°C, 20°C 保存では保存 24 時間で 0.5 μ mol/g 以下となった。冬期養殖群の ATP の減少は夏期に比較して総じて緩やかな減少傾向を呈した。

IMP 含量の経時変化を Fig.16 に示す。IMP 含量は夏期養殖群について、氷蔵から 15°C保存では致死後 12 時間までは保存温度が低いほど増加が早かった。

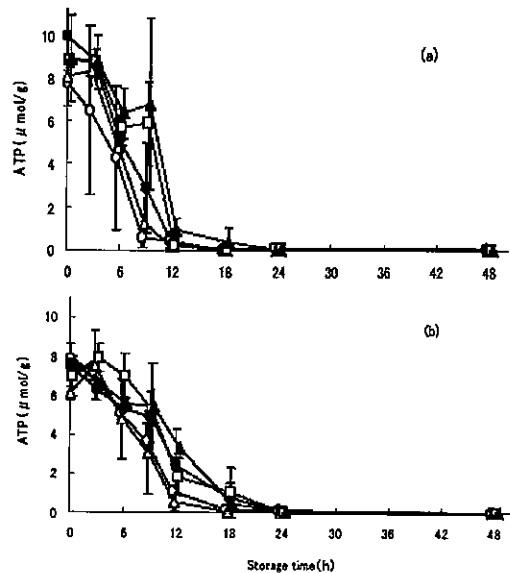


Fig. 15 The effect of storage temperatures on the ATP concentration of the three line grunt. (a):summer (b):winter Data are mean \pm S.D. (n=4). ○: 0°C, △: 5°C, ●: 10°C, □: 15°C ▲: 20°C

20°C保存では IMP 含量の増加は遅かったが、保存18時間以降では減少し、48時間後にはほぼ消失した。一方、冬期養殖群では5°C保存が最も増加が早く、次いで氷蔵、10°C、15°C、20°C保存であったが、10°Cと15°C保存はほぼ同様の挙動を示した。

K 値の経時変化を Fig.17 に示す。夏期養殖群において、氷蔵から15°C保存では48時間後でも約15%以下であったが、20°C保存では12時間後に20%を超え、48時間後には90%以上に達した。また、保存48時間目の K 値は保存温度が高いほど高値を呈した。冬期養殖群では保存時間24時間ではすべての保存温度で K 値は20%以下であったが、48時間後の15°C保存は約35%に、20°C保存は約80%まで上昇した。夏期養殖群と冬期養殖群を比較すると、夏期養殖群は10°C保存以上で24時間までは K 値の上昇が早かった。

死後硬直の経時変化を Fig.18 に示す。夏期養殖群は硬直のピークに至る保存時間は氷蔵及び5°Cが10°C、15°C保存より早く、20°C保存はその中間であった。また、15°C、20°C保存については保存18時間

をピークにそれ以降硬直を呈した。冬期養殖群は氷蔵が急速な硬直現象を呈し、5°C保存では6時間目までほとんど硬直は見られないものの9時間以降硬直は進行した。10°C保存では6時間目まではゆるやかに硬直が進行したが、9時間目までに急激に進行し12時間目にピークに達した。15°C保存は10°C、20°Cより硬直の進行は早かった。20°Cは24時間目以

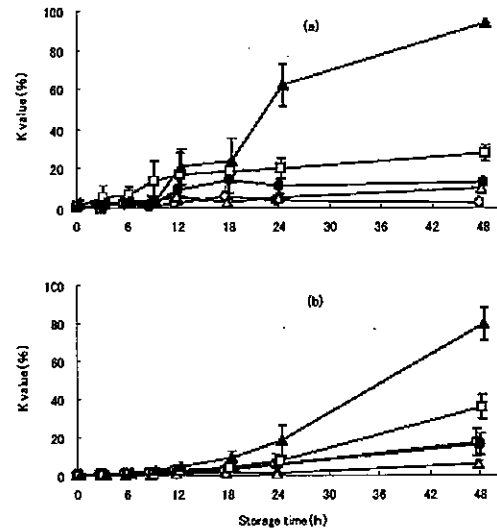


Fig. 17. The effect of storage temperatures on the K value of the three line grunt. (a):summer (b):winter Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ :0°C, Δ :5°C, \bullet :10°C, \square :15°C \blacktriangle :20°C

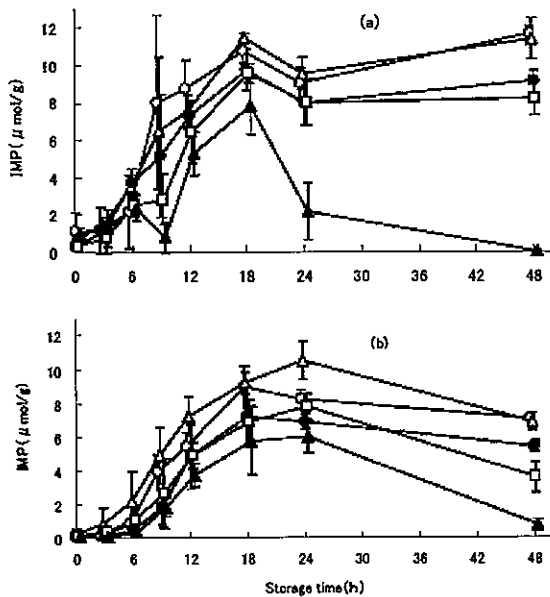


Fig. 16 The effect of storage temperatures on the IMP concentration of the three line grunt. (a):summer (b):winter Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ :0°C, Δ :5°C, \bullet :10°C, \square :15°C \blacktriangle :20°C

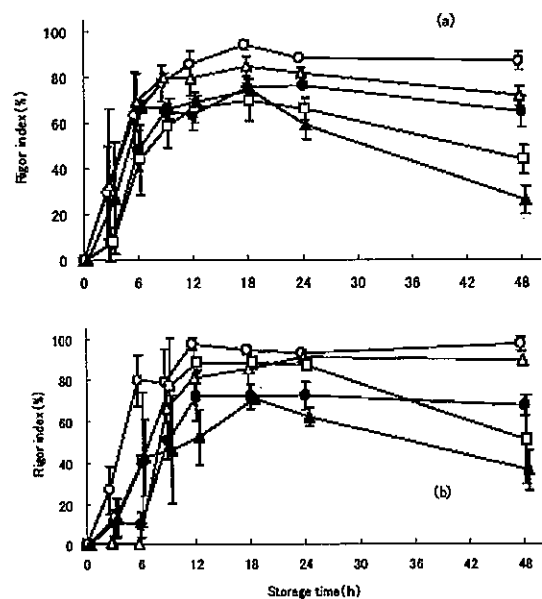


Fig.18 The effect of storage temperatures on the rigor index of muscle in the three line grunt. (a):summer (b):winter Data are mean \pm S.D. (n=4). \circ :0°C, Δ :5°C, \bullet :10°C, \square :15°C, \blacktriangle :20°C

降、解硬を呈した。夏期と冬期を比較すると、氷蔵での硬直は夏期養殖群と冬期養殖群に差はみられなかったものの、他の保存温度では夏期養殖群の硬直が早く進行し、解硬までの時間が短い傾向を示した。

3-4 考察

魚の死後変化について、魚種、^{45,47,48}致死方法、^{52,53,56,61,63,93}貯蔵温度^{45,52,93}など多くの要因が関わっており、これらが魚類の鮮度について大きな影響を及ぼしている。特に魚類の致死条件について、脊髓破壊が延髄刺殺に比べて ATP の消費や死後硬直の進行を遅らせる有効な方法であることは報告されている。^{56,61,63,93}今回、養殖イサキにおいても、脊髓破壊による処理は筋肉中の ATP の消費などを遅らせ、死後硬直を遅らせる有効な方法であることが示された。本研究では試料魚として養殖イサキを用いたが、天然イサキであっても脊髓破壊による致死方法が有効であると推察される。

養殖イサキの死後変化を遅延させる保存温度を調べるために、保存温度実験を行い、致死後の保存条件について検討した。これまでの研究によれば、マダイ、⁴⁵ブリ、⁴⁸マゴチ、⁴⁸イシダイ、⁴⁸ヒラメ、⁴⁷マアジ⁹³においては、0℃より 10℃保存の方が死後硬直の進行や ATP の分解が遅くなると報告されている。本研究で用いた養殖イサキにおいても、氷蔵の方が 10℃保存より普通筋肉中の ATP の分解が早く、死後硬直の進行が早いことが認められた。

これまでイサキの死後変化については報告が少なく、山本ら⁹⁴がトラフグ、キジハタ、ネコザメは 20℃または 10℃の場合には 0℃に放置した場合よりも硬直の進行が遅れたが、イサキの場合は放置温度の低いほど硬直の進行、完了が遅いと報告しているもののみである。しかし本実験において、氷蔵及び 5℃保存では、畜肉で認められている低温収縮と同様の低温硬直⁹⁵が原因と考えられる急速な硬直の進行が

認められ、10℃保存が硬直の進行を最も遅延させた。また、本実験で行った ATP 関連物質の変化からもイサキの生鮮度変化はマアジ⁹³やマダイ、⁴⁵ブリ、⁴⁸マゴチ、⁴⁸イシダイ、⁴⁸ヒラメ、⁴⁷等と同様の傾向を示す魚種と考えられた。本研究結果と山本らの結果の異なった点について、山本らの研究では供試個体が極めて少ないため個体差の影響が大きかったためと考えられた。山本らの研究では、供試個体が極めて少なく、死後硬直の指標を“洗い”による筋収縮率としていることから、個体や部位間での差が大きく、本研究とは異なる結果が得られた可能性がある。

今回、養殖イサキの夏期養殖群と冬期養殖群について致死後の生鮮度変化の比較を試みた。夏期養殖群は冬期養殖群と比較して ATP 含量が多く、消費も相対的に早かった。死後硬直指数も同様に夏期養殖群がピークへの到達が早かったが、死後硬直が最も遅れる保存温度は夏期養殖群では 10～15℃、冬期養殖群では 5～10℃であり、夏期養殖群の 15℃保存では 18 時間以降に解硬が始まった。これらのことから養殖イサキの場合では、夏期、冬期を問わず死後変化を遅らせるのに最適な致死及び保存条件は、脊髓破壊し、血抜きをした後、完全硬直にいたるまでは約 10℃で保存し、その後 0℃に保存することであると考えられた。

飼育温度の違いが魚筋肉中の ATP の消長に及ぼす影響について、著者の一人である三嶋⁶⁷は水温 10℃及び 30℃で飼育し、棲息水温に馴化させたコイを即殺後、氷蔵、10℃、20℃、32℃に保存して、経時的に ATP 含量を測定した時、32℃保存では 10℃飼育が 30℃飼育より ATP の消費が早く、氷蔵、10℃、20℃の各保存温度では逆に 10℃飼育が遅くなる現象がみられたと述べている。また、Hwang⁶⁶らは 10℃および 30℃に馴化したコイを 0～20℃に貯蔵して、死後硬直の進行や ATP 含量の経時変化を観察した結果、死後硬直の進行や ATP 含量の減少は 0℃、10℃

で低温馴化魚の方が遅く、20℃貯蔵では逆の傾向を示したことを報告している。

今回の実験において、養殖イサキの夏期養殖群と冬期養殖群の ATP 含量の消費や死後硬直の進行は、総体的には冬期飼育群が夏期飼育群に比較して緩やかであった。しかし、コイで見られたような飼育温度と保存温度が ATP 消費や死後硬直に及ぼす顕著な影響は見られなかった。これはコイは湖沼など閉鎖系水域に棲息し、温度適応能力が高い魚であるのに比べて、イサキは長崎県周辺の沿岸で主として夏期に漁獲の対象となり冬期はほとんど漁獲されないように、^{96,97)}棲息温度帯が比較的狭い魚であるためと考えられた。コイを用いた研究では馴化の温度差が20℃と大きかったのに対し、今回の実験におけるイサキの飼育水温は約15℃と25℃で10℃の温度差であり、今回の結果は馴化温度の差が小さかったことが影響したと思われる。

本研究で対象としたイサキは養殖されたものであるが、長崎近海で漁獲される天然イサキは食味の良さが珍重されており、ブランド魚として商標登録がなされている。近年は、多くの魚種で新たに商標登録することが盛んであり、低迷する魚価を回復する重要な方策にもなっている。新しいブランド魚が高級魚としての地位を築くには、より良い品質の魚を消費者に届けることが求められており、特に地産地消が求められている現在では、水揚げから短時間で消費者に届けられるケースも多く、今後、各魚種の利用方法に応じた最適な保存方法や致死条件を明らかにすることが重要である。

第4章 天然イサキの死後変化に及ぼす保存温度

4-1 緒言

水産資源の減少、魚価の低迷する現状にあつて、生産者はブランド化など水産物の付加価値向上への取り組みを積極的に行っている。一方、消費者は鮮度の良さ、品質の良い魚を求めており、良好な生鮮度状態を維持して消費者へ提供することは魚の商品価値を高めることになる。一般に鮮魚流通において魚が死後硬直前の状態であれば活魚と同等の評価を受けることから、魚の死後硬直前の状態を長く維持する条件を把握することは重要な課題である。

このため魚類の致死後の生鮮度変化に影響する保存温度や致死条件について様々な研究が行われており、岩本らはマダイ⁴⁵⁾、ハマチ⁴⁸⁾、マゴチ⁴⁸⁾、イシダイ⁴⁸⁾、ヒラメ⁴⁷⁾を、望月らはマアジ⁵²⁻⁵⁴⁾、マサバ^{55,56)}、マルアジ⁵⁶⁾を対象として報告している。

近年では魚類を脊髄破壊して致死させることで遅延型痙攣を抑制し死後硬直の遅延を図る試みが行われており、Nakayamaら^{62,63)}はマダイを、Andoら⁶¹⁾はマダイ、ブリ、ヒラメを用いて検討している。筆者らはマアジ⁹³⁾を用いて死後変化に対する致死条件や保存条件を検討し、脊髄破壊後10℃で保存することで死後変化を抑制することを報告した。また、海水温がほぼ25℃である夏期および15℃である冬期の養殖イサキを用いて、養殖時期にかかわらず死後変化の抑制には脊髄破壊して10℃で保存することが効果的であることを報告した。⁹⁸⁾そこで、今回は夏期に漁獲された天然のイサキを用いて前報告⁹⁸⁾と同様に死後変化にかかる保存温度条件を検討した。加えて、天然魚と養殖魚の死後変化の検討を行ったので報告する。

4-2 試料および方法

4-2-1 材料

試料には2004年夏期(7月)に長崎県近海で漁獲された天然イサキ *Parapristipoma trilineatum* を用いた。試料は実験室に搬入し一昼夜安静にさせた後実験に供した。実験に用いたイサキは平均体長26.8cm±1.2cm, 平均体重481±45g, 魚体数50尾であった。

4-2-2 保存温度実験

天然イサキは延髄を切断し、頭部から尾部へ向け脊椎索にピアノ線を通して脊髄破壊を行って致死した後、脱血し、魚体をポリエチレン袋に入れて氷水中(氷蔵)および恒温水槽(5, 10, 15, 20℃)に各4尾を浸漬、保存した。経時的に背部普通筋を採肉し、ATP関連化合物(ATP, ADP, AMP, IMP, H_xR, H_x), グリコーゲン, 乳酸を測定した。死後硬直の測定にはイサキを同じ条件で処理、保存した別の個体を試験区ごとに各6尾用いた。

4-2-3 ATP関連化合物, グリコーゲンおよび乳酸量の測定

ATP関連化合物はEhiraら⁸⁸⁾の方法に準じ過塩素酸で抽出を行い、筆者ら²⁹⁾の方法でHPLC法で分析した。

グリコーゲン量はアンスロン硫酸法⁹⁹⁾で、乳酸量は酵素法⁸⁸⁾で定量した。

4-2-4 死後硬直の測定

死後硬直は硬直指数(R)を用い尾藤ら⁴³⁾の改良Cutting法で分析した。この方法は水平な台の端に体長の1/2がくるように魚の体側を下にして置き、台の水平線から、垂れ下がった尾鰭の付け根までの鉛直距離を測定するものである。致死直後の測定値(L₀)と経時的な測定値(L₁)から下記の式で計算した。

$$R(\%) = (L_0 - L_1) / L_0 \times 100$$

4-2-5 統計処理

得られた分析値の2試料間でスチューデントのt-検定を行った。

4-3 結果

ATP, ADP, AMP含量割合の経時変化をTable 1に示す。今回の実験において、ATP, ADP及びAMPは各々定量したが、結果は測定したATP関連化合物におけるATP, ADP, AMPの合計含量の割合(以下、三合計値)で表した。Tsuchimotoら¹⁰⁰⁾ Yadaら⁷⁹⁾は、三合計値はATP含量と高い相関があり、消失時間や減少速度などの経時的な変化がATP含量のそれと同傾向を示したことを報告しており、本実験では、三合計値を用いた。

三合計値の経時変化は天然イサキの致死直後では

Table 1 The effect of storage temperatures on ATP+ADP+AMP concentration in ordinary muscle of the three-line grunt.

| Storage time (h) | ATP+ADP+AMP(%) | | | | |
|------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Iced | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 97.8 ± 1.1 ^a | 97.4 ± 1.4 ^b | 90.1 ± 14.5 | 92.2 ± 2.5 ^{ab} | 96.3 ± 4.8 |
| 3 | 92.6 ± 9.4 | 91.1 ± 7.4 | 95.0 ± 6.7 | 89.3 ± 7.4 | 96.0 ± 4.8 |
| 6 | 87.6 ± 6.2 ^a | 83.6 ± 13.1 ^b | 93.1 ± 5.5 | 77.9 ± 17.9 ^c | 94.7 ± 4.0 ^{abc} |
| 9 | 68.2 ± 16.7 ^a | 63.8 ± 25.4 | 85.9 ± 9.5 | 61.1 ± 26.3 | 86.2 ± 8.4 ^a |
| 12 | 32.4 ± 28.6 | 21.4 ± 11.0 ^{ab} | 58.5 ± 26.2 ^a | 48.2 ± 32.0 | 51.0 ± 31.9 ^b |
| 18 | 9.7 ± 4.6 ^a | 9.5 ± 5.8 ^b | 29.1 ± 6.4 ^{abcd} | 13.7 ± 10.1 ^c | 12.8 ± 5.7 ^d |
| 24 | 12.4 ± 11.7 | 7.0 ± 2.7 | 8.4 ± 1.0 ^a | 6.8 ± 0.8 ^a | 9.5 ± 3.2 |
| 48 | 13.0 ± 6.0 ^{ab} | 6.4 ± 3.3 ^a | 5.9 ± 0.1 ^c | 7.1 ± 0.7 ^c | 6.3 ± 0.7 ^b |

Mean ± S.D. of 4 samples.

Same superscript letters for the same storage time indicate significant differences between storage temperatures(P < 0.05)

90%以上と高いレベルを示した。氷蔵では三合計値が6時間以降、急激に低下し、9時間後は68%、12時間後は32%、18時間後は10%程度に減少した。5°C保存は氷蔵と同様な傾向を示し、6時間以降急激に低下し、9時間後は64%、12時間後は21%、18時間後は10%以下に減少した。一方、10°C保存では低下は遅れる傾向にあり、9時間以降で急激な低下が始まり、12時間後は59%、18時間後は29%で24時間後に10%以下となった。15°C保存では9時間後は61%、12時間後は48%と減少し、18時間後は14%になった。20°C保存は15°C保存と同様な傾向を示し、9時間以降急激に減少し12時間後は51%、18時間後は13%になった。三合計値の変化を平均値で比較すると、10、20、15°C、氷蔵、5°Cの順で減少が緩慢で、保存18時間後の3合計値は10°C保存が他の4

試験区に比較して有意 ($p < 0.05$) に高かった。

IMP 含量割合の経時変化を Table 2 に示す。氷蔵では6時間後19%、9時間後31%、12時間後73%と増加し18時間後は84%でピークを示した。その後やや減少し、48時間後で79%になった。5°C保存も氷蔵と同様な傾向を示し12時間後74%、18時間後は84%でピークになったが、48時間後は66%に低下した。10°C保存では9時間後11%、12時間後37%、18時間後は64%、24時間後82%でピークになった。15°C保存は18時間後73%でピークとなり、48時間後は40%に低下した。20°C保存は18時間後56%でピークとなり24時間後は44%に低下し48時間後はほぼ消失した。IMP 含量の増加は氷蔵、5°Cで早く、10°Cで遅かった。 ($P < 0.05$) この結果は先の三合計値の減少傾向とよく呼応していた。

Table 2 The effect of storage temperatures on IMP concentration in ordinary muscle of the three-line grunt.

| Storage time (h) | IMP(%) | | | | |
|------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | Iccd | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 0.9 ± 0.6 ^a | 1.5 ± 0.9 ^b | 2.2 ± 2.4 ^c | 6.3 ± 0.3 ^{abc} | 2.9 ± 4.4 |
| 3 | 6.3 ± 9.6 | 4.8 ± 4.0 | 1.8 ± 0.6 ^a | 8.0 ± 5.9 ^a | 1.6 ± 1.8 |
| 6 | 19.1 ± 29.2 | 10.8 ± 2.8 ^{ab} | 5.0 ± 5.9 ^a | 19.9 ± 18.6 ^c | 2.4 ± 1.7 ^{ac} |
| 9 | 30.5 ± 16.5 ^a | 31.7 ± 27.1 | 11.1 ± 5.4 ^a | 30.4 ± 28.5 | 22.1 ± 31.3 |
| 12 | 73.3 ± 12.2 ^{abc} | 73.8 ± 10.2 ^{def} | 36.8 ± 24.8 ^{ad} | 42.9 ± 27.6 ^{bc} | 39.2 ± 33.5 ^{cf} |
| 18 | 83.8 ± 12.3 ^{abc} | 83.6 ± 5.0 ^{cde} | 63.8 ± 7.0 ^{ac} | 72.6 ± 8.5 ^d | 56.4 ± 19.4 ^{be} |
| 24 | 81.9 ± 12.1 | 75.2 ± 28.0 ^a | 81.5 ± 5.7 ^{bc} | 71.6 ± 3.7 ^{bd} | 43.8 ± 22.0 ^{acd} |
| 48 | 78.7 ± 7.6 ^{abc} | 66.3 ± 28.8 ^c | 77.7 ± 3.4 ^{de} | 40.2 ± 9.5 ^{adf} | 0.6 ± 0.7 ^{bcef} |

Mean ± S.D. of 4 samples.

Same superscript letters for the same storage time indicate significant differences between storage temperatures ($P < 0.05$)

Table 3 The effect of storage temperatures on the K-value in ordinary muscle of the three-line grunt.

| Storage time (h) | K-value(%) | | | | |
|------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Iccd | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 1.2 ± 0.8 | 1.1 ± 1.0 | 0.0 ± 0.0 | 1.5 ± 2.5 ^a | 0.8 ± 0.5 ^a |
| 3 | 1.1 ± 0.7 ^a | 4.3 ± 4.5 | 3.1 ± 6.1 | 2.7 ± 1.7 ^a | 2.5 ± 3.3 |
| 6 | 3.9 ± 5.6 | 2.5 ± 1.1 | 1.8 ± 1.5 | 2.2 ± 2.5 | 2.8 ± 3.2 |
| 9 | 1.2 ± 0.2 ^{abc} | 5.3 ± 4.8 ^a | 2.9 ± 4.8 | 8.5 ± 8.7 ^b | 5.2 ± 3.8 ^c |
| 12 | 3.2 ± 1.7 ^{ab} | 4.6 ± 1.2 ^{cd} | 4.7 ± 1.4 | 8.9 ± 4.7 ^{ac} | 17.8 ± 14.2 ^{cd} |
| 18 | 3.2 ± 1.6 ^{abc} | 5.5 ± 2.4 ^{ade} | 7.1 ± 5.8 ^{fg} | 13.8 ± 2.7 ^{bdf} | 30.8 ± 21.6 ^{ceg} |
| 24 | 5.7 ± 8.3 ^{ab} | 7.0 ± 5.0 ^{cd} | 10.1 ± 6.1 ^{ef} | 21.7 ± 4.1 ^{aceg} | 46.8 ± 23.1 ^{bdfg} |
| 48 | 6.3 ± 2.8 ^{abcd} | 15.6 ± 10.0 ^{aef} | 16.4 ± 3.5 ^{bgh} | 52.7 ± 9.7 ^{cegi} | 93.1 ± 1.1 ^{dghi} |

Mean ± S.D. of 4 samples.

Same superscript letters for the same storage time indicate significant differences between storage temperatures ($P < 0.05$)

K 値の経時変化を Table 3 に示す。氷蔵, 5°C, 10°C 保存において48時間後のK値はそれぞれ6%, 16%, 16%で良好な鮮度状態にあることを示した。15°C保存では24時間後に22%, 48時間後53%まで上昇した。20°C保存では12時間後約20%で, 24時間後47%, 48時間後93%と急激なK値上昇を呈し, この時, 異臭も認められた。K 値については保存温度が高くなるほど, その上昇も早かった。

グリコーゲン含量の経時変化を Table 4 に示す。グリコーゲン含量は致死直後には約 300~400mg/100g を示した。氷蔵では9時間後に 80mg/100g 以下, 18時間後に 20mg/100g 以下に減少した。5°C保存では100mg/100g 以下に低下したのは12時間後で18時間後には 4mg/100g まで減少した。10°C保存では100mg/100g 以下に低下したのは18時間後で48時間

後は 26mg/100g に低下した。15°C保存では100mg/100g 以下に低下したのは12時間後で18時間後に 20mg/100g 以下に減少した。20°C保存では12時間後には100mg/100g 以下に低下した。保存6時間後をみるとグリコーゲン減少は氷蔵が最も早く, 次いで 5°C, 15°C, 20°Cが早く, 10°Cは最も緩慢な減少を呈した。(P<0.05) この結果は先の三合計値の経時変化の結果とよく一致した。

乳酸含量の経時変化を Table 5 に示す。氷蔵, 5°C保存では12時間後までにそれぞれ 296mg/100g, 254mg/100g まで上昇し以降48時間後までそのレベルを維持した。10°C保存では24時間後に375mg/100g まで上昇した。15°C保存は18時間後に342mg/100g, 24時間後に349mg/100g まで上昇し, 48時間後には301mg/100g となった。20°C保存18時間後に

Table 4 The effect of storage temperatures on the glycogen concentration in ordinary muscle of the three-line grunt.

| Storage time (h) | glycogen concentration(mg/100g) | | | | |
|------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------|
| | Iced | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 306.4 ± 45.6 abc | 377.6 ± 44.3 a | 382.2 ± 41.0 b | 399.6 ± 25.4 c | 386.3 ± 72.7 |
| 3 | 188.7 ± 62.6 ab | 221.0 ± 90.3 cd | 316.2 ± 34.5 ac | 346.4 ± 68.3 bd | 267.1 ± 90.9 |
| 6 | 135.6 ± 67.2 a | 201.2 ± 85.8 b | 310.8 ± 21.5 abc | 239.6 ± 88.7 | 182.1 ± 78.5 c |
| 9 | 79.3 ± 51.4 a | 123.5 ± 72.5 b | 253.5 ± 75.2 abcd | 109.1 ± 65.3 c | 142.7 ± 64.4 d |
| 12 | 41.6 ± 32.2 | 51.4 ± 36.9 | 103.4 ± 60.6 | 65.7 ± 19.4 | 87.7 ± 35.3 |
| 18 | 18.5 ± 10.3 abc | 4.4 ± 2.8 adc | 48.4 ± 18.0 bdf | 19.3 ± 17.5 f | 34.5 ± 10.1 cc |
| 24 | 12.7 ± 2.6 ab | 7.7 ± 8.8 cd | 25.6 ± 7.6 ace | 7.7 ± 4.5 e | 27.8 ± 6.3 bd |
| 48 | 14.5 ± 4.3 ab | 10.4 ± 10.2 c | 25.8 ± 21.6 d | 3.0 ± 2.3 adc | 27.7 ± 6.4 bcc |

Mean ± S.D. of 4 samples.

Same superscript letters for the same storage time indicate significant differences between storage temperatures(P<0.05)

Table 5 The effect of storage temperatures on the lactic acid concentration in ordinary muscle of the three-line grunt.

| Storage time (h) | Lactic acid concentration(mg/100g) | | | | |
|------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | Iced | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 73.8 ± 28.7 | 77.6 ± 44.8 | 65.4 ± 33.1 | 99.8 ± 52.5 | 102.8 ± 27.3 |
| 3 | 128.9 ± 79.3 | 93.6 ± 70.3 | 106.1 ± 68.8 | 138.8 ± 70.3 | 82.6 ± 14.8 |
| 6 | 185.0 ± 107.0 | 146.4 ± 55.1 a | 112.1 ± 34.4 bc | 191.8 ± 58.1 bd | 64.0 ± 27.8 acd |
| 9 | 175.5 ± 133.8 | 222.3 ± 63.0 a | 154.1 ± 22.8 ab | 239.4 ± 60.1 bc | 146.1 ± 37.3 c |
| 12 | 295.5 ± 51.4 a | 253.9 ± 52.6 b | 251.5 ± 60.5 c | 251.3 ± 74.5 | 167.5 ± 7.5 abc |
| 18 | 284.0 ± 32.9 | 244.4 ± 116.0 | 316.2 ± 57.7 | 342.0 ± 83.4 | 322.3 ± 34.2 |
| 24 | 315.6 ± 67.8 | 224.8 ± 128.6 a | 374.5 ± 67.1 ab | 349.0 ± 43.7 c | 254.3 ± 69.2 bc |
| 48 | 307.1 ± 33.1 a | 250.4 ± 64.4 | 352.1 ± 72.8 b | 300.5 ± 28.0 c | 216.0 ± 57.7 abc |

Mean ± S.D. of 4 samples.

Same superscript letters for the same storage time indicate significant differences between storage temperatures(P<0.05)

322mg/100gまで上昇したが、48時間後は216mg/100gに減少した。乳酸含量の増加が、氷蔵および5°C保存で早く、10°C保存で遅いという結果は、上述したグリコーゲン含量の減少とよく呼応しており、グリコーゲン含量の減少が早いほど乳酸量が増加も早かった。

硬直指数の経時変化を Table 6 に示す。氷蔵では6時間後に55%、9時間後に74%を示し18時間に88%でピークとなった。5°C保存では6時間後に75%、9時間後に86%を示し18時間後には95%でピークになった。10°C保存では9時間後57%、18時間後に79%を示し、24時間後には84%でピークになった。15°C保存は9時間後52%、24時間後に77%でピークを示した。20°C保存は6時間後61%、12時間後に79%を示し、24時間後に84%でピークとなった後、48時間後には34%と解硬した。

4-4 考 察

魚の死後変化について、魚種^{48,93,98)}、致死方法^{52-54,56,93,98)}、貯蔵温度^{45,52,55,93,98)}、飼育時期⁹⁸⁾など多くの要因が関わっており、これらが魚類の鮮度について大きな影響を及ぼしている。特に魚類の致死条件について、脊髄破壊が延髄刺殺に比べてATPの消費や死後硬直の進行を遅らせる有効な方法であり、著者らはマアジや養殖イサキについて脊髄破壊処理

が有効であることを報告した。^{93,98)} また養殖イサキでは、夏期、冬期の飼育を問わず死後変化を遅らせるための最適な致死及び保存条件として、脊髄破壊処理が有効で、その保存温度は、完全硬直に到るまでは約10°C保存が死後硬直を遅延し、その後0°Cの保存がK値上昇を遅延させることを報告した。⁹⁸⁾

今回、天然イサキの死後変化を遅延させる最適な保存温度条件について検討した結果、三合計値の低下は氷蔵、5°C保存が早く、10°C保存が緩慢であり、15°C、20°C保存はその中間を示す傾向が認められた。三合計値における減少速度の遅速や硬直指数の変化が保存温度の高低に依存せず、10°C保存が最も緩慢であった点は、既報で報告したマアジ⁹³⁾や養殖イサキ⁹⁸⁾のATP含量の減少および死後硬直進行と同様の傾向を示し、畜肉で認められる低温硬直(cold shortning)と同様のメカニズムが働いたものと推察された。^{59,71)} また、本現象は、岩本ら^{45,47)}の報告したマダイやヒラメを用いた結果と良く呼応した。

一方、商品価値の判断基準のひとつであり鮮度の指標とされるK値は15°C以上の保存の場合、致死後24時間で20%を超えるため良好な保存温度とはいえない。このため、天然イサキも養殖イサキと同様に、死後硬直の進行を抑制するには、脊髄破壊処理後、10°Cで保存するのが望ましいと考えられた。

今回、検討した天然イサキの死後変化と筆者らの

Table 6 The effect of storage temperatures on the rigor index of the three-line grunt.

| Storage time (h) | rigor index(%) | | | | |
|------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | Storage temperatures | | | | |
| | Iced | 5°C | 10°C | 15°C | 20°C |
| 0 | 0.0 ± 0.0 | 0.0 ± 0.0 | 0.0 ± 0.0 | 0.0 ± 0.0 | 0.0 ± 0.0 |
| 3 | 14.6 ± 16.6 ^a | 40.6 ± 19.0 ^{abcd} | 7.2 ± 7.8 ^b | 3.8 ± 3.5 ^{ce} | 17.9 ± 11.2 ^{de} |
| 6 | 54.9 ± 29.9 ^a | 74.9 ± 16.9 ^{bc} | 25.7 ± 21.3 ^{bd} | 18.3 ± 12.4 ^{ace} | 60.9 ± 22.6 ^{de} |
| 9 | 73.5 ± 19.0 | 85.8 ± 8.0 ^{ab} | 56.6 ± 5.6 ^a | 52.4 ± 20.3 ^b | 72.9 ± 16.0 |
| 12 | 78.2 ± 11.4 | 88.6 ± 6.5 ^{ab} | 62.9 ± 21.0 ^a | 59.0 ± 22.1 ^b | 78.9 ± 17.0 |
| 18 | 88.4 ± 2.0 ^{ab} | 94.6 ± 5.1 ^{acde} | 78.9 ± 10.9 ^c | 64.2 ± 19.0 ^{bd} | 79.6 ± 14.2 ^c |
| 24 | 84.2 ± 4.1 ^{ab} | 93.9 ± 5.7 ^{acde} | 84.1 ± 5.6 ^c | 76.9 ± 7.6 ^{bd} | 83.5 ± 5.9 ^c |
| 48 | 80.8 ± 5.2 ^{abc} | 91.1 ± 8.5 ^{adef} | 75.5 ± 6.5 ^{dg} | 69.2 ± 7.6 ^{bch} | 33.9 ± 26.2 ^{cfigh} |

Mean ± S.D. of 6 samples.

Same superscript letters for the same storage time indicate significant differences between storage temperatures ($P < 0.05$)

行った既報⁹⁸⁾の結果を用い、保存温度が氷蔵と10°Cの場合で天然魚と養殖魚の三合計値の含量、硬直指数、K値の変化について比較した。

Fig.19に三合計値の含量, Fig.20に硬直指数, Fig.21にK値の変化を示した。

三合計値の減少を平均値で比較すると、氷蔵、10°Cのどちらの保存温度であっても天然魚より養殖魚の低下が早い傾向を示した。硬直指数の変化では、天然イサキと養殖イサキの差は統計的に有意には至らなかったが、保存9時間目までは、氷蔵、10°C双方で養殖魚における硬直指数の上昇が天然魚に比較して速い傾向にあった。

K値は同じ保存温度では天然イサキと養殖イサキとの間に顕著な差は認められなかった。また保存温度が高いほどK値の上昇は早かったが、10°C以下の保存では48時間経過後もK値は20%以下であり良好な鮮度が保たれていると考えられた。

これまで天然魚と養殖魚の死後変化の差異は岩本ら⁴⁷⁾によってヒラメ、マダイで報告されている。両魚種とも0°Cと10°C貯蔵では10°C貯蔵が死後硬直の開始及び完全硬直到達時間も遅延するが、天然魚と養殖魚の死後硬直の進行速度を比較したとき、ヒラメの場合、天然と養殖に大きな差異が認められない一方、マダイの場合、養殖魚の死後硬直の進行速度は天然魚に比べて著しく速いことを報告している。

また、天然魚と養殖魚における死後硬直の差異の原因について、橘ら¹⁰¹⁾は天然および養殖マダイの氷蔵中における普通筋の微細構造と細胞化学的なMg²⁺-ATPase活性の変化を比較検討し、普通筋の微細構造の変化は養殖魚で崩壊が速く、Mg²⁺-ATPase活性低下も養殖魚が天然魚より速かったことを報告した。加えてアクトミオシンの超沈殿反応は、天然マダイと養殖マダイ両群ともCa²⁺濃度の上昇およびATP濃度の下降に伴って高くなり、そのレベルは養殖魚の方が低かったことに起因することを報告⁷⁴⁾

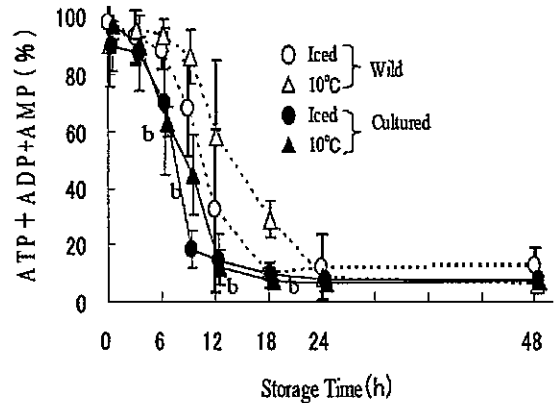


Fig.19 Changes on ATP+ADP+AMP % in ordinary muscle of wild and cultured three line grunt during storage in ice or 10°C. Data are mean ± S.D. of 4 samples. Letters for same storage time indicate significant differences between wild and cultured. a ; iced. b ; 10°C.

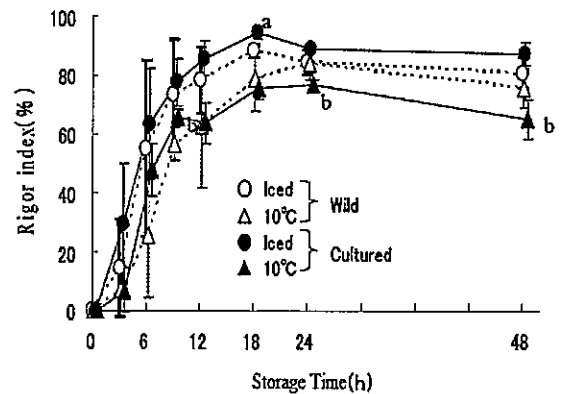


Fig.20 Changes on the rigor index of wild and cultured three-line grunt during storage in ice or 10°C. Data are mean ± S.D. of 6 samples (wild), 4 samples (cultured). Letters for same storage time indicate significant differences between wild and cultured. a ; iced. b ; 10°C

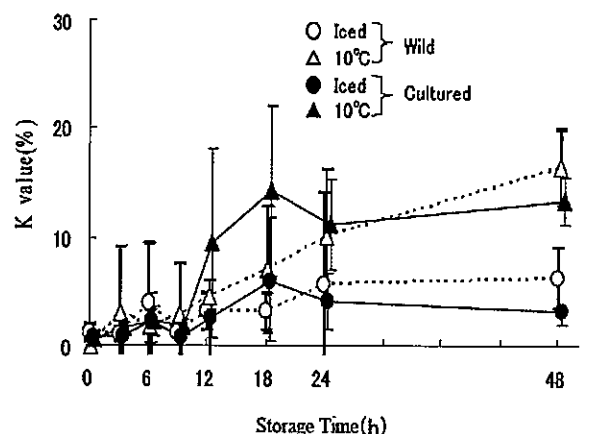


Fig.21 Changes on K value in ordinary muscle of wild and cultured three-line grunt during storage in ice or 10°C. Data are mean ± S.D. of 4 samples.

した。

イサキの死後変化はマダイほど顕著でないものの天然魚よりも養殖魚で早く進行するのは、マダイの場合と同様に Mg^{2+} -ATPase 活性低下やアクトミオシンの超沈殿反応のレベルが考えられる。今後、それらを検討することで天然と養殖イサキの死後変化のメカニズムの違いが明らかになることが推察される。

第5章 総合考察

魚類の商品価値を決定する大きな要因として鮮度の保持をすることがあげられるが、本論ではATPなどエネルギー関連物質の消長や破断強度、硬直指数を鮮度指標として検討した。

死後の筋肉の初期変化のうち、死後硬直は最も顕著に観察されるものの1つである。死後硬直は物理的には筋肉が伸展性、弾性を失って硬直性を示す現象であるが、魚類の死後硬直は畜肉に比較して極めて早くおこることや死後変化が品質の評価と密接につながっていることから死後変化を遅延させる技術が求められていた。

魚類の死後変化の差異が顕著に現れる条件について、魚種、^{48,73,76)}保存温度、^{45,48,49,52,55,93,98)}致死方法、^{52-54,56,61,62,93,98)}飼育温度、⁶⁴⁻⁶⁷⁾養殖と天然^{47,75)}があげられる。今回の研究は死後変化を遅延させる条件についてマアジとイサキを対象として検討した。

その結果、マアジ、イサキの適切な致死保存条件は、脊髄破壊方法を用いた致死を行い、保存24時間までは10°Cで保存することが最も死後硬直を遅延させる方法であり、ほぼ魚体が完全硬直となった後は氷蔵を行うことでK値の上昇を抑制する二段階の保存が最適であることが考えられた。本方法を漁業の生産、流通現場で実証することで、本県産マアジ

やイサキの死後変化を遅延させることができ、良好な鮮度を保持した魚類を生産者から消費者へ提供する手段になると思われる。

本研究により死後硬直の遅延する条件は把握できたが、各条件が死後硬直にどう関わっているのかはそれぞれの条件ごとにいくつかの研究がある。

植本らは下記に述べるようにこれら条件における死後硬直遅延のメカニズムについて、魚類普通筋の組織の観点から研究している。

Jabarsyah ら¹⁰²⁾はイサキを含む25種の魚類普通筋を構成する筋タイプを識別し、筋タイプが死後硬直(筋収縮率)の進行にどのように関与するか検討した。この結果からイサキの普通筋は酸処理でATPase活性が失活する白筋のサブタイプIIaと酸処理で活性を保持した白筋のサブタイプIIbおよびアルカリ処理で安定するピンク筋から構成されていた。この普通筋の構成パターンを有するイサキはピンク筋が介在しない養殖マダイやシロサバフグ、ピンク筋は介在するが白筋サブタイプの介在が異なるカワハギと比較して、筋収縮率の上昇が最も早かった。よって、イサキは天然魚の中でも死後変化の早い魚種の1つと考えられる。

さらにYada ら⁷⁶⁾はこの魚類普通筋に存在するピンク筋について、魚類の鮮度指標となるK値の上昇への影響を与えるものとして検討した。これは水温28°Cの海域に生息する12魚種(沖縄県, サキシマ島)と水温17°Cの海域に生息する15魚種(長崎県)、合計27種の試料魚について、普通筋中のピンク筋の介在割合を調査し、ピンク筋介在割合と保存温度32°CにおけるK値の上昇割合(ΔK_{32})との関係を示した。両者の関係には正の相関が認められ、背部普通筋のピンク筋の介在は魚類の死後のK値変化を早めると考えられた。その原因としてピンク筋の介在する5'-IMP分解酵素活性の違いを推察し、5'-IMP分解酵素活性はピンク筋の介在割合と ΔK_{32} は正の

相関を認めた。¹⁰³⁾

このことから 5'-IMP 分解酵素活性が同一生息水温における魚種のK値変化の差異に影響を及ぼすと考えた。

そこで今回の研究の第2章で対象とした天然マアジと第4章で対象とした天然イサキについて比較した。背随破壊し 10°C保存を行った両種において、ATPの消費、K値の上昇は明らかにイサキがマアジよりも早かった。Yadaら^{76,103)}の結果によるとイサキとマアジ普通筋におけるピンク筋の介在割合、5'-IMP分解活性を比較すると、両者ともイサキがマアジに比較して高く、同様に ΔK_{32} もイサキがマアジに比較して高く、死後変化の早いのはイサキである今回の結果と一致した。

天然魚と養殖魚の死後変化の差異については、岩本らがマダイ¹⁰⁴⁾やヒラメ⁴⁷⁾について報告している。養殖マダイは天然マダイに比較して死後変化が早くその差異は明瞭であったがヒラメについて差異は認められなかったとしているが未だに養殖と天然の死後変化の差異の原因については十分に考察されていない。

Leeらは⁷³⁾天然マダイと養殖マダイの筋収縮の進行は養殖魚が天然魚よりも早かったことを報告した。この差異の原因について、Jabarsyahら¹⁰⁵⁾は天然と養殖マダイの筋タイプを調査した。その結果、天然マダイの普通筋が白筋サブタイプIIaで構成されているのに対し、養殖マダイが普通筋の部位によって白筋で構成されている部位とピンク筋が存在する部位が混在していることを示した。養殖マダイ普通筋中のピンク筋の介在割合が大きいことから天然魚よりも養殖魚の死後変化が早いことが予想された。

橋ら^{101,106)}は養殖および天然マダイの筋原繊維のZ線の切れやすさを比較検討し、両種の違いを普通筋のZ線を中心とした微細構造の変化と組織細胞の化学的変化を顕微鏡観察により判定している。その

結果、養殖マダイの筋原繊維のZ線が即殺直後より切れやすくその変化の進行が速く、普通筋細胞内小器官の Mg^{2+} -ATPaseについて天然魚が養殖魚よりも安定であったことを報告した。

イサキの場合もマダイと同様、天然魚と養殖魚を比較した場合、死後変化は養殖魚の方が天然魚に比較して早かったが、マダイの場合^{73,104)}と比較して天然と養殖の死後変化が明瞭ではなかった。天然と養殖の死後変化の差異についてはピンク筋の介在およびアクトミオシンの性質が考えられるが、天然のマダイにピンク筋の介在が認められないのに比べ、イサキは天然魚にもピンク筋の介在が認められることから天然魚であっても比較的死後変化が早く、養殖魚とピンク筋の介在割合がマダイの場合ほど差がないと考えられる。

今後、養殖イサキ普通筋を構成するピンク筋の介在や5'-IMP分解酵素活性を分析することで天然と養殖イサキの死後変化の差異のメカニズムが明瞭になることが推察される。

飼育温度の違いについてはTsuchimotoら⁶⁴⁾は黄海から熱帯海域にかけて82魚種を採集し、即殺後、32度に保存し、この保存温度におけるK値の上昇割合(ΔK_{32})を比較し、低水温海域魚種ほど死後の生鮮度低下速度が速いことを報告した。また、10°Cと30°Cで飼育したコイについて、 ΔK_{32} は10°C飼育コイが30°C飼育コイに比べて高く、ATP+ADP+AMPの三合計値低下速度も速いという知見を得た。¹⁰⁰⁾この結果は先の生息水温の異なる各海域の魚種間に認められた結果とよく一致しており、生息水温の違いが死後変化の差異に強く影響していることが示唆された。

しかし、第3章の結果は環境水温15°Cの冬期群の養殖イサキが環境水温25°Cの夏期群よりもATP含量の減少、IMPの上昇、乳酸の上昇、グリコーゲンの現象は遅かった。この逆転現象はコイでも確認さ

れており、三嶋¹⁰⁷⁾は水温 10℃及び 30℃で飼育し、棲息水温に馴化させたコイを即殺後、氷蔵、10℃、20℃、32℃に保存して、経時的に ATP 含量を測定した時、32℃保存では 10℃飼育が 30℃飼育より ATP の消費が早く、氷蔵、10℃、20℃の各保存温度では逆に 10℃飼育が遅くなる現象がみられたと述べている。さらに黄海（海水温度 9℃）と東シナ海の先島諸島（海水温度 28℃）で漁獲した 6 種について、ATP 含量を検討した結果、30℃保存では先島諸島産の魚が、0～15℃保存では黄海産の魚が ATP の経時変化が遅延したことを観察している。また、20℃保存では両者の差異が一部の魚種を除き認められなかった。

養殖イサキの場合、夏期採集群が冬期採集群に比較して保存温度が 0～20℃における死後変化が早かったことは環境水温の影響と考えられる。ただし、夏期と冬期の温度差が約 10℃であることやイサキはコイとは異なり生息適応水温が狭いため明瞭な差異が出なかったものと推察された。

飼育温度については Abe ら、⁶⁵⁾ Watabe ら、⁶⁶⁾ Hwang ら⁶⁷⁾によって死後変化に生息温度が影響することが報告されている。Hwang ら⁶⁷⁾は同様に 10℃と 30℃に馴化したコイを 0、10℃に貯蔵したところ、死後硬直の進行は低温馴化魚が遅く、20℃貯蔵では高温馴化魚が遅かったことを観察し、この原因として、保存温度が 0、10℃のときは筋小胞体の Ca^{2+} 取り込み能、20℃では筋原線維 Mg^{2+} -ATPase の活性の差異によるものと推察している。

また、植本ら、⁶⁴⁾三嶋¹⁰⁷⁾は先の実験において、海産魚では南方の魚類が、コイでは 30℃飼育魚が、ATP 含量が多いことを観察している。今回、イサキについても夏期養殖群の ATP 含量が多かった。活魚の状態では背部普通筋中の ATP 含量は環境水温が

異なると変化し、高温期には高くなることが考えられる。イサキの生息範囲は漁場から判断して 25℃前後と推察される。^{16,96,97,108)} 今回の実験での設定である 15℃はイサキにとって低い温度帯であり活動は鈍くなっていることが考えられる。

致死条件は脊髄破壊が最も死後変化を遅延させる点から有効であった。この有効性についてはいくつかの研究がなされているが、今回、致死方法として脊髄破壊について ATP 含量の変化、乳酸の増大、K 値変化、破断強度を示し、その評価を具体的に示した。

脊髄破壊が死後変化をなぜ抑制するのかという問題については次のように考えられる。哺乳動物の骨格筋の収縮および弛緩は神経からの刺激によって筋細胞膜が脱分極し、その刺激が筋小胞体に伝わって Ca^{2+} が放出される。その結果、細胞内 Ca^{2+} 濃度が上昇し、ATP の化学エネルギーを利用して筋肉が収縮する。¹⁰⁹⁾ このため魚類における脊髄破壊は脊髄内の末梢神経を破壊することで破壊後の電気刺激を遮断することが考えられる。Ando ら⁶¹⁾は同様に脊髄破壊による末梢神経への電気的な刺激の消失が筋細胞の収縮を停止させたと推論し、山中ら*は脊髄破壊処理が遅延性けいれんを防止したことを報告したが具体的に魚類に及ぼす原因については今後検討しなければならない課題である。

今回の研究については、魚類の死後変化を最も遅延させる方法として、脊髄破壊の有効性を述べた。しかし、この方法は実行するにあたり技術の習得や手間がかかるため、ブランド化するために魚の取り扱いを厳密に定める場合は非常に有効である一方、全ての漁獲物に適用できるわけではない。従来、漁獲された魚は延髄破壊による致死法が一般的であったが、今回の結果では、温度ショックによる致死は、

*山中英明，潮秀樹，陳慧，大島敏明；マダイにおける遅延性けいれんの発生と脊髄破壊による防止．平成 14 年度日本水産学会講演要旨集 P.163

ATP 関連物質の経時変化, K 値, 死後硬直から見て延髄破壊とほぼ同等の効果があることがわかった。

この結果は, 一時的に多量に水揚げされる魚やまき網等多獲性魚類の致死法には有効であることが推察され, 漁獲時からの冷却のシステムを考える上で重要なことである。

さて, 序論で述べたように, 消費者の食に対する要求は近年, さらに多様化し, 高級志向の傾向にあり, 水産物についても漁獲から流通まで一貫して高品質であることが求められ, ブランド化の取り組みもなされている。

マアジは生鮮魚から加工原料まで広く利用されて, 消費者にもなじみの深いわが国漁業の中でも重要な魚種のひとつである。TAC 対象魚で資源管理されているが, 現在において資源的にはマイワシのように危機的状況にある種ではない。¹¹⁰⁾ 長崎県で水揚げされるマアジを漁業者は総体的に漁場と漁法でそれぞれ「シロアジ」「クロアジ」「キアジ」と称している。すなわち五島灘及び長崎沿岸海域で中小型旋網漁業によって漁獲されるものを「シロアジ」, 東シナ海で大中型旋網漁業によって漁獲されるものを「クロアジ」, 同海域で以西底曳網によって漁獲されるものは「シロアジ」と「クロアジ」, 対馬沿岸で中小型旋網漁業によって漁獲されるものを「キアジ」とされている。¹¹¹⁾ 大迫らは¹¹²⁾ このように分類したマアジを季節ごとに体成分と色調の変動について調査した。市場の評価は伝統的に「シロアジ」が「クロアジ」よりも高い旨さの指標として考えてよい粗脂肪含量は「キアジ」は3種の中で最も高かったが「シロアジ」「クロアジ」は大きな差はなかったとしている。これは種そのものもつ成分よりその後の取り扱いが市場の評価を決定づける要因になっていることを示唆している。品質保持のための技術はそれぞれの漁法にあわせた取り扱いと消費者の嗜好性を考慮する必要がある。

流通の立場からはコストと顧客に望まれる鮮度や「食べごろ」を考慮しながら, 活魚と冷蔵での輸送の二つの方法を組み合わせて活魚を流通させている。¹¹³⁾

第2章でマアジの死後変化について一般的には死後変化を遅らせるために最も良い条件は, 脊髄破壊と血抜きをした後に約24時間後まで10℃で保存し, その後は0℃で保存する方法であると述べた。しかしながら, 前述したようにマアジの漁法については各地区で大きく異なっている。たとえば長崎県の野母三和漁業協同組合の一本釣りの場合は漁場が遠くとも根拠地から20マイル程度で半日で帰港できる距離にあり, 漁獲物を生かして活魚センター等へ運搬することも容易である。活魚水槽で蓄養されたマアジは活魚車で長崎魚市場を中継して, もしくは直接, 九州一円に運搬される。

中小型まき網は日没前後に出航, もしくは漁場に到着し操業する。¹¹⁴⁾ 翌朝, 地元の魚市場や漁協へ水揚げされる。漁獲物は早いものでは2~3時間, 遅いものは7~8時間, 運搬船に積載されることになる。大中型まき網は漁場が遠いため漁獲して水揚げされるまでに1~2日かかる。以西底曳網は数時間の曳網後, 冷却, 水氷で箱立てして運搬船で出荷するため漁獲から水揚げまで2~4日経過している。漁法の違いによって水揚げ段階で品質が異なっていることが推察される。

次に消費者の嗜好を考慮する必要がある。関西と関東の味の嗜好は一般的には関西圏が歯ごたえ重視, 関東圏は旨み重視とされているように消費者の嗜好に合わせた供給を生産者側が考える必要がある。物性を長く維持できる技術が開発されれば, 「食べごろ」感の延長や輸送コストの低減化, 商品保持の期間の延長が図られる。原則的には消費市場へ到着したときに完全死後硬直の開始前が望ましい。

この2点を考慮して沿岸で漁獲されるマアジの取

り扱いについて考察する。野中¹¹⁵⁾は商標登録した魚である「野母んあじ」を延髄刺殺後、神経破壊処理し、航空便を利用して東京都内への輸送試験を行った。刺殺処理12時間後の東京における官能試験では高評価を得た。このように商標登録するような魚については個別に丁寧な取り扱いをすることが必要であり、その結果として単価の向上に結びついている。¹¹⁶⁾

筆者ら^{117,118)}はこの死後変化を遅延させる技術について、トレーサビリティシステムモデルの開発に応用した。現在、水産物のトレーサビリティについては平成13年にBSEが発生したことを契機として、原材料等の偽装表示問題や残留農薬問題など食品の安全性にかかる問題が多発しており、食品業界に対する消費者の信頼は大きく揺らいだ。このため食品の生産、流通に関する履歴情報を消費者が追跡できるトレーサビリティシステムの導入が日本産牛肉について開始されたが、水産物においてこのシステムの導入は、宮城県産カキ^{119,120)}や養殖魚^{121,122)}を対象として実施された例はあるもののモデルや生産履歴の開示にとどまっているのが現状である。

魚の鮮度、品質にかかる問題は単に新鮮で旨いという消費者の評価だけではなく、安全・安心や生産、流通まで含まれたなかで検討していく必要がある。養殖魚については生産過程の中で鮮度の観点から品質の良好な魚をつくることが可能であることも示唆された。

以上のことから、本研究結果は魚類の鮮度保持の観点から水産物の品質向上、流通上の取り扱い、ブランド化のための基礎データとして貢献できるものと考えられる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、当初より終始、御懇篤なる御指導および御校閲をいただいた長崎大学大学院生産科学研究科 橘勝康教授 に心より感謝し、厚く御礼申し上げます。また、本論文を取りまとめるにあたり、御助言、御校閲の労を賜った長崎大学大学院生産科学研究科 原研治教授、荒川修教授 に厚く御礼申し上げます。

本論文のとりまとめにあたり、常に適切な御助言と御指導を賜りました長崎大学水産学部濱田友貴助教授、新井博文助教授に心より感謝します。

本研究において労を惜しまず多大なご助力をいただいた三浦勝貴氏（現キューピー株式会社）、デイシー・アロヨ・モラ氏および長崎大学水産学部栄養学研究室の皆様は厚く御礼申し上げます。

また、本研究および学位取得の機会を与えて頂くとともにご理解とご便宜をいただいた小坂安廣氏（元長崎県総合水産試験場長）、濱口博彦氏（長崎県総合水産試験場長）、原修氏（元長崎県総合水産試験場次長）、野中健氏（元水産加工開発指導センター所長）および長崎県総合水産試験場水産加工開発指導センターの村田昌一所長、桑原浩一主任研究員、大迫一史主任研究員、後藤孝二主事に心より感謝します。

参考文献

- 1) 農林水産省. 平成16年度食糧需給表. 東京(2006)
- 2) 九州農政局長崎統計情報事務所. 第42次長崎農林水産統計年報(水産編). (1996)
- 3) 九州農政局長崎統計情報事務所. 第52次長崎農林水産統計年報(水産編). (2006)
- 4) 水産庁編. 水産白書平成18年版. (2006)
- 5) 総務省. 平成16年度家計調査年報. 東京(2006)

- 6) 社団法人大日本水産会. 水産物を中心とした消費に関する調査. 東京. (2005)
- 7) 農林水産省. 平成15年度第3回食料品調査モニター調査. 東京. (2005)
- 8) 長崎県総合水産試験場. ICタグを利用した養殖魚履歴表示システムの開発事業報告書. (2006)
- 9) 北海道. 道産水産物トレーサビリティ導入検討予備調査事業報告書. (2003)
- 10) 柴崎賀広. こだわりの水産加工品—平成「長崎俵物」の取り組み—. 地域漁業研究, **45**,(3),149-159(2004)
- 11) 長崎県水産部. 平成16年度長崎県水産白書. (2005)
- 12) 望月聡. 里海—西瀬戸からの発信—関アジ・関サバを科学する. 瀬戸内海, **35**,18-21(2003)
- 13) 九州農政局長崎統計情報事務所. 平成16年長崎県漁業の動き. (2006)
- 14) 落合明, 田中克. 新版魚類学(下). 788-797, 恒星社厚生閣. 東京(1986)
- 15) 山中英明. ブランド魚とトレーサビリティ. 海洋水産エンジニアリング, **44**,42-61(2005)
- 16) 落合明, 田中克. 新版魚類学(下). 672-674, 恒星社厚生閣, 東京(1986)
- 17) 波積真理. 水産物ブランド化の現状と展望. ていち, **107**,16-36(2005)
- 18) 田坂行男. ハマチ養殖産地にみるブランド確立条件の解明. 中央水研研報, **13**,37-70(1999)
- 19) 多屋勝雄. 水産物の流通と安全・安心. 漁業経済研究, **48**(2),1-11(2003)
- 20) 高鳥直樹. 水産物におけるHACCP. 漁業経済研究, **48**(2),33-49(2003)
- 21) 藤田純一. HACCPの現状と課題. HACCPと水産食品(藤井建夫, 山中英明編). 9-24, 恒星社厚生閣, 東京(2000)
- 22) 丹羽弘吉. ノルウエーが食品の安全・安心対策を目指した水産物の「トレーサビリティシステム」の構築と実施. 漁業経済研究. **48**(2),51-67(2003)
- 23) 田中瑞乃. 水産物から始まったEUの食品トレーサビリティ「TraceFish」. 養殖, **42**,22-25(2006)
- 24) 内山均, 江平重男. 核酸関連化合物からみた魚類鮮度化学研究の現状. 日水誌, **36**,977-992(1970)
- 25) 太田静行. 水産物の鮮度保持. 筑波書房, 東京(1990)
- 26) 橘裕. 魚類の流通改善と品質判定への展望. 魚の低温貯蔵と品質評価法(小泉千秋編). 13-23, 恒星社厚生閣, 東京(1986)
- 27) Saito T., Arai K. and Matsuyoshi M. A new method for estimating the freshness of fish. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **24**,749-750(1959)
- 28) 小林宏, 内山均. 魚類鮮度の簡易判定法. 東海区水研報, **61**,21-26, (1972)
- 29) 榎本六良, 三嶋敏雄, 宇津木照洋, 北島俊一, 矢田殖郎, 保田正人. 動揺の激しい船内でのATP関連化合物の分離定量法—逆送分配カラムによる高速液体カラムクロマトグラフィー法. 日水誌, **51**, 1363-1369(1985)
- 30) Karube L., Matsuoka H., Suzuki S., Watanabe E. and Toyama K.. Determination of fish freshness with an enzyme sensor system. *J. Agric. Food Chem.*, **32**, 314-319(1984)
- 31) 宇田文昭, 内山均. 簡易カラムクロマトグラフィーと比色法によるK値の測定. 魚の低温貯蔵と品質評価法(小泉千秋編). 24-35, 恒星社厚生閣, 東京(1986)
- 32) 大橋実, 宇津木義雄. 酵素センサーと酵素を用いたK値の迅速測定システム, 魚の低温貯蔵と品質評価法(小泉千秋編). 48-59, 恒星社厚生閣, 東京(1986)
- 33) 内山均, 江平重男, 小林宏, 清水亘. 揮発性塩基, トリメチルアミン, ATP関連化合物の魚類鮮度判定法としての測定意義. 日水誌, **36**,177-187(1970)

- 34) Ohashi, E., Okamoto M., Ozawa A., Fujita T.
Characterization of commonsquid using several freshness indicators. *J. Food sci.*, **56**,161-163(1991)
- 35) Yokoyama Y., Takahashi S., Sakaguchi M., Kawai F., Kawanomori. Postmortem changes of ATP and its related compounds and fish indices in spear squid *Doryteuthis bleekeri* muscles. *Fish. Sci.*, **60**, 583-587(1994)
- 36) 松本美鈴, 山中英明. クルマエビ筋肉の死後変化に及ぼす抗菌剤クロラムフェニコールの影響. 日水誌, **57**(12),2291-2297(1991)
- 37) 山中英明. 高速液体クロマトグラフ. 魚介類の鮮度判定と品質保持(渡邊悦生編). 9-19,恒星社厚生閣,東京(1995)
- 38) Kawashima K., Yamanaka H., Effect of storage temperatures on the post-mortem biochemical changes in scallop adductor muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **58**(II),2175-2180(1992)
- 39) Yokoyama Y., Sakaguchi M., Kawai F., Kanamori M. Effects of storage temperature on postmortem changes of ATP and its related compounds and freshness indices in Oyster tissues. *Fish.Sci.*, **60**,217-223(1994)
- 40) Watanabe H., Yamanaka H., Yamakawa H. Post-mortem biochemical changes in the muscle of disk abalone during storage. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **58**(II),2081-2088(1992)
- 41) 渡部終五. タンパク質. 水産利用化学(鴻巣章二, 橋本周久編). 40-74,(1992)
- 42) 野口栄三郎. 魚の鮮度に関する研究,特に魚肉の死後硬直現象とその判定法について. 日水研報,**5**,1-61(1957)
- 43) 尾藤方通, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之. 東海区水研報,**109**,89-96(1983)
- 44) Cutting C.L. Immediate postmortem changes in trawled fish. *Ann. Rep. Food Invest. Board*. **1938**, 39-40(1939)
- 45) 岩本宗昭, 井岡久, 斉藤素子, 山中英明. マダイの死後硬直と貯蔵温度との関係. 日水誌,**51**,443-446(1985).
- 46) 斉藤恒行, 新井健一. 水産動物筋肉中の有機リン酸化合物に関する研究—III コイ筋肉中のadenosine polyphosphateに及ぼす貯蔵温度の影響. 日水誌,**22**,569-573(1957)
- 47) 岩本宗昭, 山中英明, 渡部終五, 橋本周久. 天然及び養殖ヒラメの死後硬直の進行の比較. 日水誌, **56**, 101-104(1990)
- 48) 岩本宗昭, 山中英明, 阿部宏喜, 渡部終五, 橋本周久. 二,三海産魚における死後硬直の進行と貯蔵温度の影響. 日水誌,**56**,93-99(1990)
- 49) Iwamoto M., Yamanaka H., Watabe S., Hashimoto K. Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. *J. Food Sci.*, **52**,1514-1517(1987)
- 50) Watabe S., Ushio H., Iwamoto M., Kamal M., Ioka H., Hashimoto K. Rigor-mortis progress of sardine and mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. *Nippon Suisan Gakkaishi*,**55**,1833-1839(1989)
- 51) 岡弘康, 大野一仁, 二宮順一郎. 養殖ハマチの致死条件と冷蔵中における魚肉の硬さとの関係. 日水誌, **56**,1673-1678(1990)
- 52) 望月聡, 佐藤安岐子. マアジ筋肉の死後変化に及ぼす致死条件と貯蔵温度の影響. 日水誌,**60**,125-430(1994)
- 53) 望月聡, 乗田嘉子, 前野久美子. マアジ筋肉の死後変化に及ぼす脱血の影響. 日水誌,**64**,276-279(1998)
- 54) 望月聡, 前野久美子, 乗田嘉子. 首折りによって致死させたマアジ筋肉の死後変化. 日水誌,**63**,396-399(1997)

- 55) 望月聡, 上野洋子, 佐藤公一, 樋田宣英. マサバ筋肉の死後変化に及ぼす致死後の貯蔵温度の影響. 日水誌, **65**,495-500(1999)
- 56) 望月聡, 佐藤安岐子. マサバおよびマルアジ筋肉の死後変化に対する致死条件の影響. 日水誌, **62**, 453-457 (1996)
- 57) 門上洋一. 養魚の新しい鮮度保持技術とヒント—過的な低温ショック法で魚を安楽死させる(低温ショックによる魚の活め方法). 養殖. **37**,49-52(2000)
- 58) 寺山誠人, 山中英明. カツオの品質に及ぼす脱血の効果. 日水誌,**66**,852-858(2000)
- 59) 寺山誠人. 活けしめ脱血によるカツオなどの品質向上に関する研究. 日水誌,**70**,678-681(2004)
- 60) 寺山誠人. 脱血による養殖魚の高品質化. 養殖. **42**,22-25(2005)
- 61) Ando M., Banno A., Haitani M., Hirai H., Nakagawa T., Makinodan Y. Influence on post mortem rigor of fish body and muscular ATP consumption by the destruction of spinal cord in several fishes. *Fish. Sci.*, **62**,796-799(1996)
- 62) Nakayama T., Toyoda T., Ooi A. Delay in rigor mortis of red sea-bream observation by spinal cord destruction. *Fish. Sci.*, **62**,478-482(1996)
- 63) Nakayama T. Goto E., Ooi A. Observation of characteristic muscle structure related to delay in red sea-bream rigor mortis by spinal cord destruction. *Fish. Sci.*, **62**,977-984(1996)
- 64) Tsuchimoto M., Misima T., Utsugi T., Kitajima S., Yada S., Senta T., Yasuda M. The speed of lowering in freshness of fishes in several waters and the effect of the habitat temperature on the speed. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **52**, 1431-1441 (1986)
- 65) Abe H., Okuma E. Rigor-mortis progress of carp acclimated to different water temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **57**,2095-2100(1991)
- 66) Watabe S., Hwang G-C., Ushio H., Hashimoto K. Changes in rigor-mortis progress of carp induced by temperature acclimation. *Agric. Biol. Chem.* **54**, 219-221(1990)
- 67) Hwang G-C, Ushio H., Watabe S., Hashimoto K., Iwamoto M. The effect of thermal acclimation of rigor mortis progress of carp stored at different temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **57**, 541-548(1991)
- 68) 渡部終五. 硬直に伴う筋肉の生化学的変化. 魚類の死後硬直(山中英明編). 9-20,恒星社厚生閣,東京(1991)
- 69) Locker R.H., Hagyard C. J. A cold shortening effect in beef muscle. *J. Sci. Food Agr.*, **14**, 787-793(1963)
- 70) Cassens R. G., Newbold R. P. Effect of temperature on the time course of rigor mortis ox muscle, *J. Food Sci.*, **32**, 269-272(1967)
- 71) Honikel K. O., Roncales P., Hamm R. The influence of temperature on shortening and rigor onset in beef muscle. *Meat Sci.*, **8**, 221-241(1983)
- 72) 槌本六良. 運動飼育. 魚類の死後硬直(山中英明編). 50-61,恒星社厚生閣,東京(1991)
- 73) Lee K.H., Tsuchimoto M., Onishi T., Wu Z-H., Jabarsyaha A., Mishima T., Tachibana K. Differences in progress of rigor mortis between cultured red sea bream and cultured japanese flounder. *Fish. Sci.*, **64**, 309-313(1998)
- 74) Lee K.H., Tsuchimoto M., Yada O., Mishima T., Jabarsyaha A., Wang Q., Gomez Apablaza P.A., Tachibana K. The influence of characteristics of actomyosin on the difference of rigor mortis progress between cultured red sea bream and japanese flounder. *Fish.Sci.* **65**, 642-647(1999)
- 75) Wang Q, Tsuchimoto M, YADA O, Lee K.H., Jabarsyaha A., Gomez Apablaza P.A., Mishima T, Tachibana K. The influence of characteristics of

- actomyosin on the difference of rigor mortis progress between cultured and wild red sea bream. *Fish. Sci.*, **65**, 648-654(1999)
- 76) Yada O, Tsuchimoto M, Jabarsyaha A., Wang Q., Gomez Apablaza P.A., Tachibana K. Influence of interposition of pink muscle fiber into dorsal ordinary muscle on increase in rate of K-value in various fish species. *Fish. Sci.*, **67**, 675-681 (2001)
- 77) Yada O., Tsuchimoto M., Wang Q., Gomez Apablaza P.A., Jabarsyah A., Tachibana K. Differences of muscle fiber type and temporal change of K-value among parts toward depth of dorsal muscle in carp(cultured). *Fish. Sci.*, **66**, 147-152(2000)
- 78) Yada O, Tsuchimoto M, Tsuchimoto M, Wang Q., Gomez Apablaza P.A., Jabarsyah A., Tachibana K. Influence of interposition of Pink muscle fiber into dorsal ordinary muscle on increasing rate of K-value in carp (cultured). 長崎大学水産学部研究報告. **83**,5-12(2002)
- 79) Yada O, Tsuchimoto M, Tsuchimoto M, Wang Q., Gomez Apablaza P.A., Tachibana K. Influence of interposition of pink muscle fiber into dorsal ordinary muscle on temporal change of K-value in cultured carp. *Fish. Sci.*, **68**, 1129-1137 (2002)
- 80) Tsuchimoto M, Gomez Apablaza P.A., Tsuchimoto M, Wang Q., Tachibana K. Comparison of 5'-inosine monophosphate and p-nitrophenyl phosphate degrading activities among red, pink, and white muscle fibers of cultured carp. *Fish. Sci.*, **71**, 205-212(2005)
- 81) 渡部終五, 糸井史朗. 細胞小器官ミトコンドリアの生物活性. 水産物の品質・鮮度とその高度保持技術(中添純一・山中英明編). 11-22,恒星社厚生閣, 東京(2004)
- 82) Shimamoto J., Hiratuka S., Hasegawa K., Sato M. Rapid nondestructive determination of fat content in frozen skip jack using a portable near infrared spectrophotometer. *Fish. Sci.*, **69**, 856-860(2003)
- 83) 蔦本淳司, 長谷川薫, 井手圭, 河野澄夫. 生・凍結マアジの近赤外分光法による脂肪量の非破壊測定. 日水誌,**67**,717-722(2001)
- 84) 濱田(佐藤)奈保子, 大熊廣一, 渡邊悦生. K値を用いる魚肉の生可食限界の推定に関する理論的考察. 日食工誌,**51**,495-504(2004)
- 85) 安崎友季子, 滝口明秀, 小林正三. 底曳網漁獲ヒラメの鮮度と蓄養による高品質保持. 水産物の品質・鮮度とその高度保持技術(中添純一・山中英明編). 133-139,恒星社厚生閣,東京(2004)
- 86) 原田和弘. 日本海西部沖合底びき網漁獲物における急速冷却の鮮度保持効果. 日水誌,**72**(3),440-446(2006)
- 87) Ehira S, Uchiyama H, Uda F, Matsumiya H. A rapid method for determination of the acid-soluble nucleotides in fish muscle by concave gradient elution. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **36**, 491-496(1970)
- 88) Wahlefeld AW. UV-method with L-Lactate and NAD. In Bergmeyer HU(ed.) *Method of Enzymatic Analysis*. Academic Press, New York, 126-133, 266-270(1963)
- 89) Iwamoto M. Yamanaka H, Abe H, Ushio H, Watabe S, Hashimoto K. ATP and creatine phosphate breakdown in spiked plaice muscle during storage and activities of some enzymes involved. *J. Food. Sci.*, **53**, 1662-1665(1988)
- 90) 田中武夫. 流通上県と市場価格. 魚類の死後硬直(中添純一・山中英明編). 103-116,恒星社厚生閣, 東京(1991)
- 91) 山中英明. 魚介類の死後変化と品質. 日水誌,**68**,5-14(2002)
- 92) 安藤正史. 魚類筋肉の死後における軟化機構に関する研究. 日水誌,**62**,555-558(1996)
- 93) Mishima T., Nonaka T., Okamoto A., Tsuchimoto M.,

- Ishiya T., Tachibana K., Tsuchimoto M. Influence of storage temperatures and killing procedures on post-mortem changes in the muscle of horse mackerel caught near Nagasaki Prefecture, Japan. *Fish. Sci.*, **71**,187-194(2005)
- 94) 山本常治, 野口栄三郎. 漁獲物の鮮度保持に関する研究XW魚の死後硬直に及ぼす放置温度の影響. 日本海区水産研究所報告,**13**, 119-125(1964)
- 95) 岩本宗昭. 致死条件と貯蔵温度. 魚類の死後硬直(山中英明編). 74-82,恒星社厚生閣,東京(1991)
- 96) 川口和宏, 久納洋一, 田北徹. 五島灘北部海域におけるイサキの卵と仔魚の分布. 日水誌,**61**,832-837(1995)
- 97) 森川晃, 関山博史, 岡本昭. 五島列島北部海域におけるイサキの漁獲量と年齢組成. 長崎県水産試験場研究報告,**20**,41-46(1994)
- 98) 岡本昭, 濱田友貴, 三浦勝貴, 野中健, 桑原浩一, 大迫一史, 三嶋敏雄, 橘勝康. 養殖イサキの死後変化に及ぼす刺殺条件と保存温度の影響. 日水誌,**72**, 918-923(2006)
- 99) 藤井暢三. 生化学実験法. 南江堂. 東京(1949)
- 100) Tsuchimoto M, Tanaka N, Uesugi Y, Misima T, Tachibana K, Yada S, Senta T, Yasuda M. The influence of rearing water temperature on the relative thermostability of myofibrillar Ca^{2+} -ATPase and on the lowering speed of freshness in carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*. **54**, 117-122(1988)
- 101) 橘勝康, 植本六良, 三嶋敏雄. 養殖マダイと天然マダイの氷蔵中における普通筋の微細構造と細胞化学的 Mg^{2+} -ATPase活性の変化. 日水誌,**59**,721-727(1993)
- 102) Jabarsyah A., Tsuchimoto M., Kozuru Y., Misima T., Yada O., Tachibana K. The influence of pink muscle fiber in ordinary muscle of fishes on the rigor mortis progress. *Fish. Sci.*, **65**,472-477(1999)
- 103) Yada O., Tsuchimoto M., Wang Q., Apablaza P.A.G., Jabarsyah A., Tachibana K. Influence of interposition of pink muscle fiber into dorsal ordinary muscle on 5'-IMP degrading activity in various fish species. *Fish. Sci.*, **67**,948-955(2001)
- 104) 岩本宗昭, 山中英明. 天然ならびに養殖マダイにおける死後硬直の顕著な差異. 日水誌,**52**,275-279(1986)
- 105) Jabarsyah A., Tsuchimoto M., Kozuru Y., Misima T., Yada O., Tachibana K. Discrimination of muscle fiber types in ordinary muscle by actomyosin ATPase activity and its comparison among various fishes and muscle parts. *Fish. Sci.*, **65**,291-299(1999)
- 106) 橘勝康, 土居達也, 植本六良, 三嶋敏雄, 小倉理一, 松清恵一, 保田正人. 養殖マダイの肉質に対する遊泳運動の効果. 日水誌,**54**, 677-681(1988)
- 107) 三嶋敏雄. 低水温環境下に生息する魚類における筋原繊維ATPaseの適応機構に関する研究. 博士論文,長崎大学,長崎(1990)
- 108) 渡辺健一, 岡崎孝博. 徳島県牟岐大島周辺におけるイサキの成熟及び産卵期. 日水誌,**66**,631-638(2000)
- 109) Ebashi S., Endo M. Calcium and muscle contraction. *Prog. Biophys.Mol.Biol.* **18**, 123-183(1968)
- 110) 水産庁増殖推進部, 独立行政法人水産総合研究センター. 平成17年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価ダイジェスト(要約)版). 東京(2005)
- 111) 大迫一史. マアジの水産加工原料適性に関する研究. 博士論文,長崎大学,長崎(2001)
- 112) Osako K., Yamaguchi A., Kurokawa T., Kuwahara K., Saito H. Nozaki Y. Chemical components and color of horse mackerel caught in different areas. *Fish. Sci.* **68**,587-594(2002)
- 113) 井上広滋. 活魚ビジネスにおける魚肉軟化問題.

- 日水誌,66,912-913(2000)
- 114) 長崎県総合水産試験場. 長崎県の漁具・漁法. 143-151,長崎(2002)
- 115) 野中健. マアジ鮮度保持試験. 平成12年度長崎県総合水産試験場事業報告. 106-109(2001)
- 116) 長崎県水産部. 平成14年度長崎県水産白書. 64-66. 長崎県(2005)
- 117) 堀江貴雄, 田口喜祥, 高田純司, 岡本昭. ICタグを利用した養殖魚履歴表示システムの開発—ICタグ装着機の開発—. 長崎県工業技術センター研究報告,34, 9-11(2004)
- 118) 社団法人食品需給研究センター. 宮城県産カキのトレーサビリティシステム開発・実証検討事業報告書(2003)
- 119) 酒井純. 宮城県産カキのトレーサビリティシステム. 漁業経済研究. 48, 69-81(2003)
- 120) 出村雅晴. 水産物トレーサビリティの現状と課題. 調査と情報. 農林中金総合研究所,9, 4-8(2004)
- 121) 出村雅晴. 魚類養殖の現状からトレーサビリティを考える. 農林金融,700-711(2005)

要 約

長崎県は水産業に依存する割合が大きいものの、近年、漁獲物の水揚げが減少し、漁業経営が悪化する傾向にある。このため当県の生産者側は漁獲された水産物の付加価値を向上させ、他地域との差別化を図る試みを行っている。一方、消費者側は「食の安心・安全」の観点から食品の履歴の公表を求めるとともに、高品質の食材としての水産物の供給を求めている。このような状況において、水産物の品質価値の決め手となる鮮度を保持し、高品質の水産物を消費者に提供するために、漁獲物である様々な水産物の鮮度保持条件を把握するとともに、得られた

知見を水産物流通上の新しい技術として利用することは重要な課題である。これらの課題を解決することは、水産業界にあって漁家および流通業者の経営改善に資することになると考えられる。

第1章では、先の状況を総括するとともにこれまでの水産物の鮮度に関する研究及び本研究の目的について述べた。死後硬直前の魚は活魚として活魚と同等の取扱いを受けており、死後硬直を遅延させることは漁獲された魚の価値を与える上で大きな意味を持っている。

第2章では、長崎県の代表的な魚種としてマアジを対象とし、死後変化を遅延させるための致死条件および保存条件を検討した。その結果、マアジの死後変化に及ぼす保存温度（氷蔵, 5, 10, 15℃）では、ATP 含量の経時変化から見た死後硬直の進行は10℃が最も遅かった。また、K 値の上昇は10℃以下で48時間以内の保存であれば20%以下と低く、破断強度の低下も10℃は遅かった。致死条件（脊髄破壊、延髄刺殺、温度ショック、苦悶）の違いによる検討を行ったところ、ATP 含量の経時変化は脊髄破壊が最も遅く、死後硬直の進行も遅かった。またK 値の上昇及び破断強度の低下も脊髄破壊が最も遅かった。これらのことからマアジにおける死後変化遅延のための適切条件は、保存24時間後までは脊髄破壊して10℃保存することが良好であろうと判断された。

第3章では、夏期と冬期の養殖イサキを用いて、第2章と同様に死後硬直遅延のための温度条件と致死条件を検討した。その結果、養殖イサキの氷蔵, 5, 10, 15, 20℃の各保存温度におけるATP 関連物質と死後硬直（硬直指数）からみた死後変化は、夏冬の両期とも10℃保存が最も遅く、硬直指数の上昇も遅延した。また、K 値についても10℃保存が最も遅い上昇を示した。夏期（環境水温25℃）と冬期（環境水温15℃）の養殖イサキの死後変化を比較すると、

各保存温度で冬期が夏期に比較して遅かった。種々の致死方法による ATP 量, IMP 量, K 値, 硬直指数からみた経時変化は, 脊髓破壊が最も遅かった。これらのことから養殖イサキにおける死後変化遅延のための適切条件は, 飼育水温で若干の差異はあるものの, 保存 24 時間後までは脊髓破壊し, 10℃で保存することが良好であろうと判断された。

第 4 章では, 長崎県近海で漁獲された天然イサキの死後変化に及ぼす保存温度の影響を先の養殖イサキの結果と比較検討した。その結果, 天然イサキの氷蔵, 5, 10, 15, 20℃の各保存温度における ATP 関連物質と死後硬直 (硬直指数) からみた死後変化は, 10℃保存が氷蔵, 5℃保存より緩慢であった。また, 第 3 章で述べた養殖イサキの結果と比較すると,

保存温度が同じ条件では, 天然イサキの死後変化が養殖イサキのそれに比較して遅延していた。

第 5 章では, これまでの結果を総括するとともに総合的な考察を行った。本研究対象としたマアジ, イサキにおける 10℃保存による死後硬直遅延は, 低温硬直減少を抑制に起因すると考えられた。また, 脊髓破壊による死後硬直遅延は, 遅延型痙攣抑制に起因すると考えられた。

以上のことから, マアジ, イサキの適切な致死保存条件は, 脊髓破壊方法を用いた致死を行い, 10℃で保存することが最も死後硬直を遅延させ, 魚体が完全硬直となった後は氷蔵を行う二段階の保存が最適であり, 本方法を推奨することで, 本県産マアジやイサキの死後変化を遅延させ, 良好な鮮度を保持した魚類を生産者から消費者へ提供する手段になると考えられた。