

原著論文

# 致死条件の異なるシイラの貯蔵中における 魚肉の白色化と軟化

清川智之\*・井岡 久\*・岡本 満\*・石原成嗣\*

## Influence of slaughter conditions on the whitening and softening of dolphinfish meat during storage

Tomoyuki KIYOKAWA, Hisashi IOKA, Mitsuru OKAMOTO and Seiji ISHIHARA

We measured the effect of slaughter conditions and low-temperature storage processing on temporal changes in the rupture strength, color tone, pH, lactic acid content, and K-value of dolphinfish meat to investigate the degree and causes of whitening and softening. Although differences in the rate of pH decline and increase in lactic acid content were observed for several hours after the fish were killed by pithing, both pH and lactic acid content rapidly plateaued and remained constant thereafter. The final pH and lactic acid levels, as well as other parameters, did not differ substantially due to on-ship processing, and differences were observed among individuals harvested using the same technique or on the same day. Although pH and lactic acid contents have been reported to differ depending on processing technique and slaughter conditions immediately after slaughter, no clear relationship was observed between these initial values and the final values after the onset of full rigor mortis. Based on the above results, we conclude that improvements in fish meat quality based on on-ship processing would be difficult to achieve.

キーワード：シイラ, pH, 明度, 破断強度

2013年11月14日受付 2015年12月18日受理

シイラ *Coryphaena hippurus* は、シイラ科に属する亜熱帯性の回遊魚であり、わが国では日本列島沿岸を春から夏に北上し、秋から冬に南下する季節回遊を行う群を漁獲対象としている。本種は海面に浮遊する流木や流れ藻などの近くに集まる習性があることから、鳥根県沿岸では海面に漬け木を敷設し集まったシイラを旋網または釣り（曳縄釣り）で漁獲するシイラ漬け漁法が古くから行われている（児島 1966）。

本種は魚の水揚量が少なく魚価の高い夏場を中心に漁獲され、刺身等で生食されることが多い。しかしブリ類等、他の生食素材の魚種と比較して安価で取引されている。この原因の一つに、地元ではミズやミズシイラと呼

ばれる魚肉の白色化や軟化を呈する個体の存在があげられる（清川・井岡 2007）。シイラの魚肉を、漁獲直後に十分に冷却した後、冷蔵庫等で低温保蔵しても生食素材として利用できないほど白色化と軟化を呈する場合がある。肉質が良好な状態で消費者に提供するために魚肉の白色化や軟化の原因と防止法を明らかにすることが必要である。

そこで本研究では、シイラの致死条件や保蔵低温処理が魚肉の破断強度や色調、pH、乳酸量、K値の経時変化に及ぼす影響を測定し、白色化や軟化の進行状況やその原因について検討した。

\* 鳥根県水産技術センター漁業生産部

〒690-0322 鳥根県浜田市瀬戸ヶ島町25-1

Shimane Prefectural Fisheries Technology Center Fisheries Productivity Division,

25-1, Setogashima, Hamada, Shimane, 690-0322, JAPAN

kiyokawa-tomoyuk@pref.shimane.lg.jp

## 試料及び方法

**試料** 2004年と2006年に鳥根県沖において鳥根県水産技術センターの試験船明風（以下調査船とする）と漁船による一本釣り（曳縄釣り）及び「シイラ漬け」を利用した旋網で漁獲したシイラを実験に供した。表1に漁獲日、調査船、漁船（水揚港）、漁法、サンプル尾数と魚

体性状を示した。

表2に漁獲方法と致死方法及び保存方法を示した。致死方法と保存条件は調査船と漁船でやや異なるが、以下の4方法①即殺区、②即殺冷却区、③冷却区、④苦悶死区、で行った。各処理方法については表2に示した。

**魚肉の明度(L\*)の測定** 図1の○で示した部分の背側普通肉を厚さ1cmになるように2片切り出し、黒いゴ

表1. シイラの漁獲方法と魚体性状

漁獲年月日	漁獲方法 (漁獲船舶)	調査尾数 (尾)	平均尾叉長 (mm) (±標準偏差)	平均体重 (g) (±標準偏差)
2004. 10. 18	曳縄釣り (調査船)	8	610±37	2225±342
2004. 10. 25	曳縄釣り (漁船) (浜田市浜田漁港)	10	581±20	1869±149
2006. 8. 9	曳縄釣り (調査船)	5	489±37	1178±318
2006. 9. 26	曳縄釣り (調査船)	14	536±58	1540±735
2006. 7. 25	シイラ旋網 (漁船) (浜田市浜田漁港)	40	621±24	2430±280
2006. 9. 28	シイラ旋網 (漁船) (大田市五十猛漁港)	28	572±45	2030±460

表2. 漁獲方法、致死方法及び保存条件

漁獲日	漁獲方法 (漁獲船)	致死と保存条件 ( ( ) 内は尾数)
2004. 10. 18	曳縄釣り (調査船)	① (2), ② (2), ③ (2), ④ (2)
2004. 10. 25	曳縄釣り (漁船)	① (5), ④ (5)
2006. 8. 9	曳縄釣り (調査船)	① (2), ④ (3)
2006. 9. 26	曳縄釣り (調査船)	① (14)
2006. 7. 25	シイラ旋網 (漁船)	④* (40)
2006. 9. 28	シイラ旋網 (漁船)	④* (28)

①即殺区：延髄破壊処理後、船上で5分程度放血、保冷ボックスに保管、帰港後5℃保管

②即殺冷却区：即殺処理後、冷海水（1～2℃）で約30分冷却放血し、保冷ボックス保管、帰港後5℃保管

③冷却区：即殺せずに、冷海水（1～2℃）で約30分冷却し、保冷ボックス保管、帰港後5℃保管

④苦悶死区：船上に放置して苦悶死後、保冷ボックス保管、帰港後5℃保管

④\*旋網苦悶死区：旋網で漁獲後、即殺処理を行わず水槽内（下水と上水）で冷却保管、帰港後5℃保管

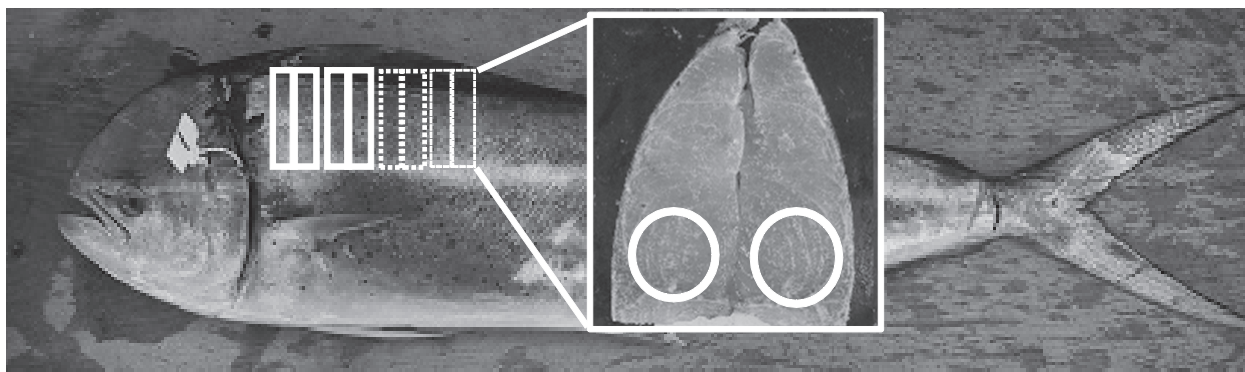


図1. 分析に用いた魚体左側前方背部魚肉の写真（前方から後方に移動しながら、左側からのみ1回の採肉で図2に示す2片ずつを切り出して実験に供した）

ム製マットに乗せて、簡易型分光色差計（日本電色工業(株)NF333）を用いて1片当たり1カ所を測定し平均値で示した。なお、本方法で得られる明度は、魚肉の透明度が高いほどゴム製マットの黒色の影響を受けて数値が小さくなり、魚肉が白くなり透明度が低くなると逆に明度の数値は大きくなる関係を示す（図2に示した魚肉Aの明度（L\*）は28.5，Bの明度（L\*）は34.9である）。

**魚肉の物性測定** サン科学(株)，R-UDJ-DM IIを用い、直径10mmの平面プランジャーを用いて測定した。破断強度は明度を測定した2片の魚肉を用い魚肉片の明度を測定した面に対して垂直に1mm/secの速度で荷重し魚肉を破断するのに必要な荷重（g）を測定して求めた。破断時のクリアランスは1mmに設定した。

**pHの測定** 明度および物性を測定した魚肉2gまたは4gに5倍量の蒸留水を加えてホモジナイザーで磨砕し、pHメーター（F-8AT，株式会社堀場製作所）で測定した。

**ATP関連化合物およびK値の分析** 分析は岡本・斎藤（2011）の方法に準じた。すなわち明度および物性を測定した魚肉2gを10mLの10%過塩素酸中で氷冷しながらホモジナイズした後、遠心分離により得られる上澄みをpH7前後に調整したものを試料とし、高速液体クロマトグラフ（島津LC10A-VP，トリエチルアミン20.9mlを含む100mmolのリン酸緩衝液にアセトニトリルを1%溶解させたものを移動相とし、流量は1.0ml/minに設定、

カラム：信和化工株式会社STR-ODS-II 150L×4.6mm ID）を用いてATP関連化合物を定量し、その組成比からK値を求めた。

**乳酸の定量** ATP関連化合物およびK値の分析に用いた試料液を適宜希釈し、ペーリンガー・マンハイム社製のF-キット（L-乳酸用，J.K.インターナショナルが輸入販売）で定量した。

## 結 果

**致死方法と保管条件が魚肉性状に及ぼす影響** 表3に2004年に実施した致死条件ごとの、保蔵1日後と2日後に分析した結果を示した。2004年10月18日及び10月25日の調査における条件ごとのpH，乳酸量，明度の平均値（2検体）は1日後と2日後の間に差はなく，図示していないが，1日後の調査において硬直指数100（岩本1989）に達していた。しかし，1日後または2日後の平均値でみると，10月18日では，苦悶死区はpHが低く，明度が高く，破断強度が最も低かった。また即殺冷却区は即殺区及び冷却区と比べてpHがやや低く，明度がやや高かった。即殺区及び冷却区についてはpH，乳酸量，明度及び破断強度に大きな差はみられなかった。10月25日では，即殺区と苦悶死区を比較すると，即殺区が苦悶死区よりもpHが低く，乳酸量が多く，明度が高くなった。破断強度は同程度であった。

**魚肉の明度と乳酸量及び破断強度の相関** 表3に示した各個体の，1日後と2日後の明度と乳酸量及び破断強度との関係を図3に示した。魚肉の明度と乳酸量には，1日後，2日後にかかわらず，明度が高いほど乳酸量が多いという関係が認められた。また明度と破断強度にも，明度が高いほど破断強度が低い関係が認められた。その相関係数は1日後が $r=-0.47$ （ $p=0.0481$ ），2日後が $r=-0.70$ （ $p=0.0001$ ）であった。

**各種魚肉性状指標とpHの関係** 表3に示した各個体の1日後と2日後のpHと乳酸量，明度及び破断強度の関係を図4に示した。pHが高い魚肉は乳酸量が少ない（ $r=-0.90$ ）という関係が認められた。破断強度は，pHが高いほど高い傾向が認められ，その相関係数は2日目

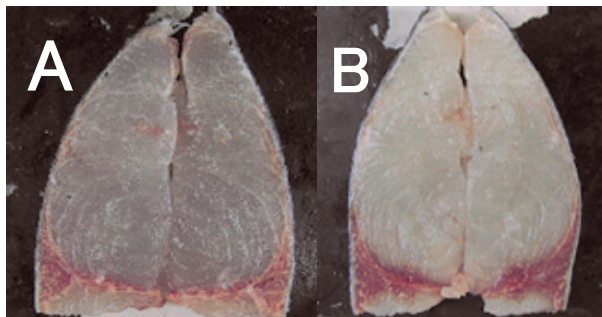


図2. pH及び乳酸量が異なる測定部位の写真（バックが黒いため，魚肉に透明感があるほど黒く，その結果，色差計で測定した明度は低くなる）

A：pH6.31，乳酸量75 $\mu$ mol/g B：pH5.58，乳酸量121 $\mu$ mol/g

表3. 魚体の処理方法とpH，乳酸量，L\*値及び破断強度

年月日	魚体の処理方法	個体数	経過日数	pH	乳酸量 ( $\mu$ mol/g)	明度 (L*)	破断強度 (g)
2004. 10.18	①即殺区	2	1	5.69 $\pm$ 0.05	134.6 $\pm$ 17.0	39.7 $\pm$ 1.2	535 $\pm$ 50
			2	5.68 $\pm$ 0.05	122.4 $\pm$ 4.7	39.8 $\pm$ 3.3	375 $\pm$ 64
	②即殺冷却区	2	1	5.52 $\pm$ 0.05	130.6 $\pm$ 3.9	42.3 $\pm$ 1.2	488 $\pm$ 32
			2	5.57 $\pm$ 0.01	128.5 $\pm$ 5.2	41.6 $\pm$ 0.3	420 $\pm$ 42
	③冷却区	2	1	5.68 $\pm$ 0.08	119.3 $\pm$ 3.1	40.2 $\pm$ 0.7	463 $\pm$ 53
			2	5.67 $\pm$ 0.06	124.4 $\pm$ 4.6	39.7 $\pm$ 0.4	393 $\pm$ 60
④苦悶死区	2	1	5.46 $\pm$ 0.10	128.0 $\pm$ 1.2	43.0 $\pm$ 3.9	330 $\pm$ 78	
		2	5.47 $\pm$ 0.06	125.2 $\pm$ 6.4	47.2 $\pm$ 3.7	225 $\pm$ 57	
2004. 10.25	①即殺区	5	1	5.72 $\pm$ 0.13	113.4 $\pm$ 9.8	38.1 $\pm$ 3.0	527 $\pm$ 84
			2	5.66 $\pm$ 0.15	111.4 $\pm$ 13.0	41.2 $\pm$ 3.7	430 $\pm$ 77
	④苦悶死区	5	1	5.98 $\pm$ 0.30	96.4 $\pm$ 18.9	31.6 $\pm$ 3.4	531 $\pm$ 127
			2	5.98 $\pm$ 0.30	101.8 $\pm$ 20.5	31.3 $\pm$ 3.6	476 $\pm$ 93

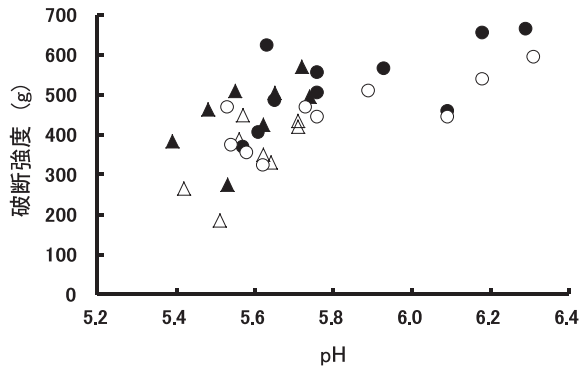
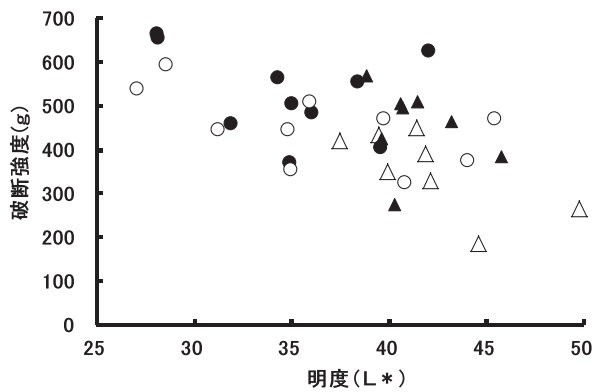
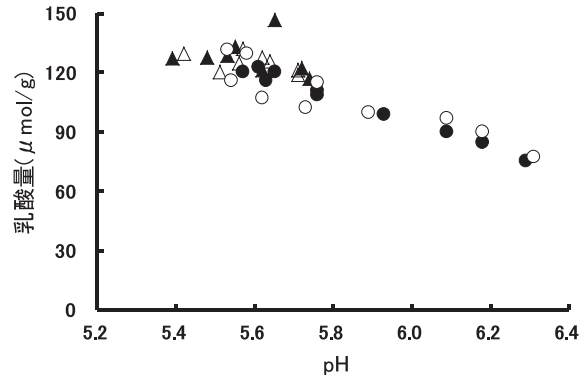
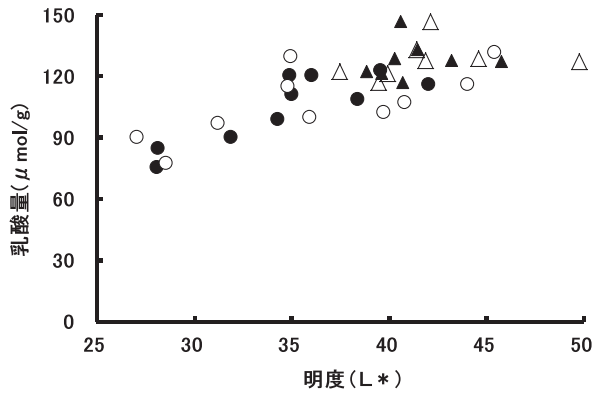


図3. 明度 (L\*) と乳酸量及び破断強度との関係

▲：漁獲から1日後，△：漁獲から2日後（調査船）  
●：漁獲から1日後，○：漁獲から2日後（漁船）

( $r = 0.76$ )の方が1日目 ( $r = 0.66$ )よりやや高かった。明度はpHが高いほど低いという関係(1日後  $r = 0.90$ , 2日後  $r = 0.91$ )が認められた。また図5に、保存1日目の破断強度を100とした場合の2日目の破断強度とpHとの関係を示した。1日後から2日後にかけての破断強度の減少割合はpHが高いほど小さい傾向が認められた。

**致死条件が各種魚肉性状指標に及ぼす経時的な影響**

2006年8月9日に実施した致死条件の異なる各個体(A～C：即殺区, D・E：苦悶死区)のpH, 乳酸量, 明度及びATP含有量とK値の変化を図6に示した。苦悶死区の個体では、pHについては、漁獲から30分が経過した値(以下30分後の値)が6.0前後と低いのにに対し、即殺区では1個体を除き6.5前後と高かった。しかし8時間後には両区ともほぼ同じレベルまで低下し、それ以降はあまり変化しなかった。乳酸量もpHとほぼ同様に变化し、苦悶死区では30分後の値が80μmol/gだったのに対し、即殺区では40μmol/gであった。しかし8時間後にはpHと同様一定のレベルに達し、それ以後はほとんど変化しなかった。明度については苦悶死区の個体は5時間後まで上昇し続け、それ以降は変化がみられなくなったが、即殺区の個体では一旦低下した後上昇に転

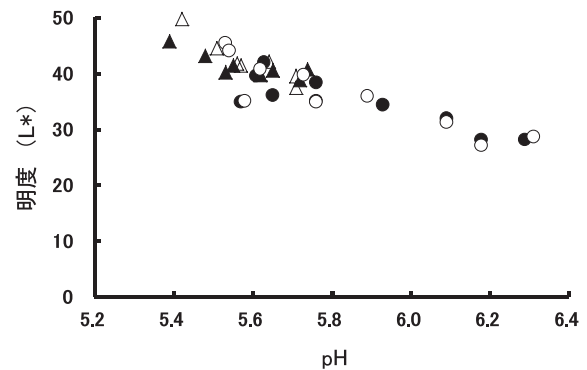


図4. pH と、乳酸量、破断強度、明度及びK値の関係

▲：漁獲から1日後，△：漁獲から2日後（調査船）  
●：漁獲から1日後，○：漁獲から2日後（漁船）

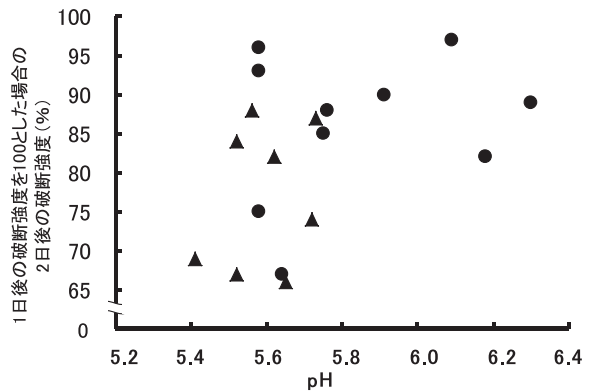


図5. 破断強度の低下におよぼすpHの影響 (▲：調査船, ●：漁船)

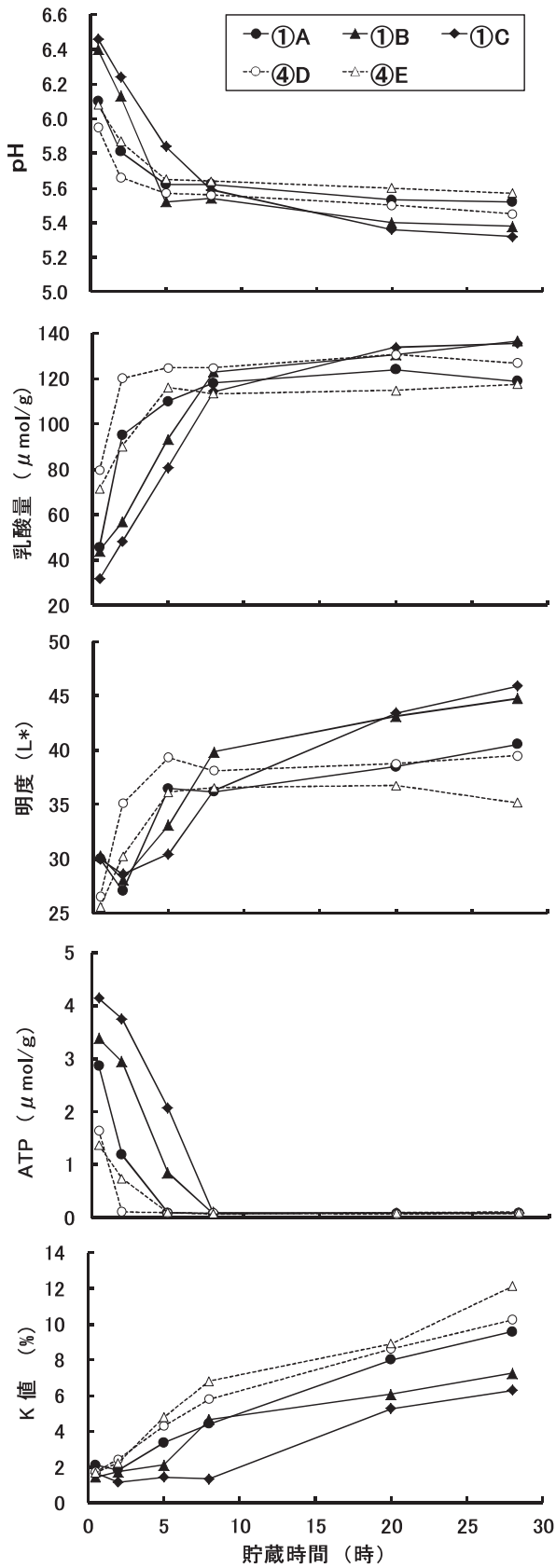


図 6. 致死条件の異なる各個体の pH, 乳酸量, 明度及び ATP 含有量と K 値の変化 (A ~ C: 即殺区, D・E: 苦悶死区)

じ, 8 時間後までは比較的早く, それ以後も上昇がみられた。ATP 含有量については苦悶死区の 30 分後の値が 1 ~ 2  $\mu\text{mol/g}$  であったのに対し, 即殺区では 3 ~ 4  $\mu\text{mol/g}$  と高かった。ATP の残存時間は即殺区の方が長かったが, 8 時間後には両者ともほぼ検出されなくなった。K 値については苦悶死区と即殺区の間で 30 分後の値はほぼ同じであるにもかかわらず, その後の上昇速度が苦悶死区の方が大きくなった。

すべての個体 (14 尾) で延髄切断 (①即殺区) を行った 2006 年 9 月 26 日調査における, 各個体の pH, 乳酸量, 明度の変化を図 7 に示した。なお, 1 時間後の乳酸量と pH が各個体で大きく異なっているが, これは一度に数尾が釣獲された際, 即殺処理が間に合わず一時的に船上に放置されたことが原因と考えられる。pH については, 漁獲から 1 時間経過後の値 (以下 1 時間後の値) と 28 時間の値には関係が認められず, 1 時間後の値からその

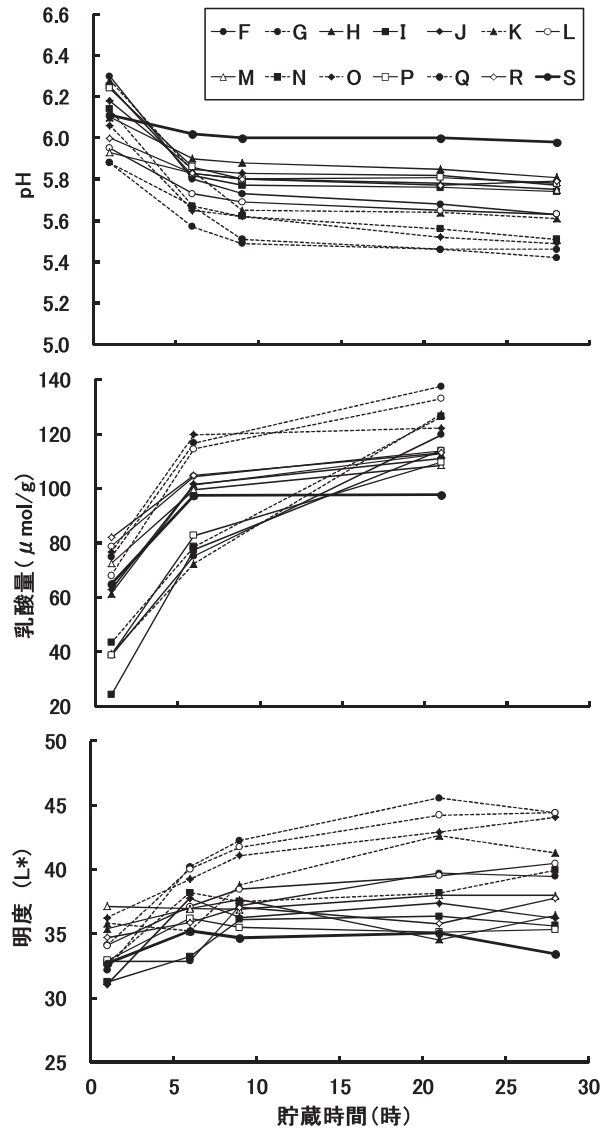


図 7. 延髄切断 (即殺区) の各個体の pH, 乳酸量及び明度の変化 (F ~ S は調査した 14 尾の各個体を示す)

後の観察値を予測することはできなかった。すなわち、pHでは1時間後の値からあまり変化がみられない個体と大きく低下する個体が認められた。乳酸量では1時間後の値が20～40 $\mu\text{mol/g}$ と低い場合でも60～80 $\mu\text{mol/g}$ と高い場合でも、pHと同様に最終的な乳酸量の観察値を予測できなかった。また6時間後の値ではすべての個体で乳酸量の増加がみられるが、それ以降はほとんど増加しない個体とそれ以降も増加する個体が認められた。明度については、1時間後の値からほとんど変化がみられない個体と、試験終了まで上昇し続ける個体が認められた。これらのことからpHが1時間後の値からあまり変化しない個体については、乳酸量の増加が早い時点で停止し、明度も1時間後の値からほとんど変化しないのに対し、pHが1時間後の値から大きく低下する個体については、乳酸量は漁獲から1日後程度まで上昇し続け、それに伴い明度も同様に上昇し続けていることが分かった。

**漁獲日の異なる魚肉のpHと乳酸量** 2006年7月25日と9月28日にシイラ漬けを利用した旋網で漁獲したシイラの保管1日後のpHと乳酸量の分布を図8に示した。7月25日のpHは $5.62 \pm 0.09$ 、乳酸量は $120.4 \pm 9.2$ 、9月28日のpHは $5.94 \pm 0.16$ 、乳酸量は $101.9 \pm 12.2$ と、両者は同じ漁法で漁獲されたシイラであるが、pH及び乳酸量の平均値は異なった。

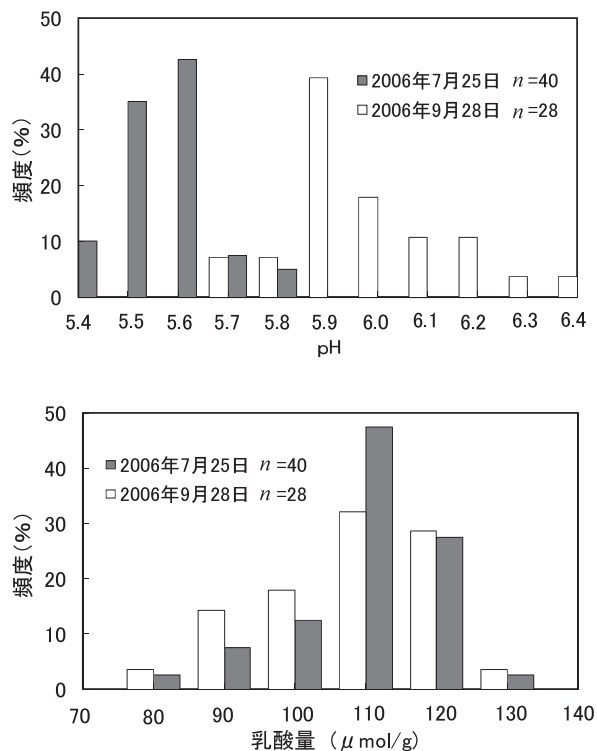


図8. 漁獲1日後のpHと乳酸量の分布 (シイラ漬けを利用したまき網で漁獲された個体)

## 考 察

今回の調査において、シイラ肉質に関する破断強度の大きさや明度 (図2に示したように、本調査法における魚肉の明度は魚肉に透明感があるほど低くなり、白っぽいほど高くなる) はpH及び乳酸量と関係があることが推測された。また2006年の試験から、即殺や冷海水への浸漬等の船上処理を行うことで死亡後短い時間であればpHや乳酸量に差が認められるものの、それ以後は違いがほとんどなくなることを示唆された。

また本種の場合、完全硬直に達するまでの時間が短く、完全硬直に達する前に一般の消費者が生食するのはほぼ不可能なため、生食用として良好な肉質であるための条件として、完全硬直に達した後のpHが高いこと、そのためにはpH低下の主因となる乳酸量が相対的に少ないことが必要と考えられた。今回得られた漁獲物のpH及び乳酸量は個体差及び船間差が大きく、結果的に各個体の肉質に大きな違いが認められた。

乳酸は一般的には、グリコーゲンが乳酸に分解されるグリコリシス (嫌氣的解糖) によって、死後魚肉中に蓄積され続けるが、増加速度は疲労や苦悶死した場合において、より速やかであることが知られている。しかしながら、養殖ハマチでは致死から1日経過後のpH及び乳酸量は、即殺や、冷海水の浸漬による致死、及び苦悶死したものと比較して大きな差を示さないことが報告されている (岡ら1990)。

時間の経過に伴う破断強度の低下とpHの関係に関して、福田 (1994) は、酸性pH下で魚肉タンパク質が非常に不安定になり変性が進むことを明らかにしている。また安藤 (1994) は、魚肉の軟化は筋細胞の間にある結合組織の強度が弱まったり、あるいは壊れたりすることが原因であり、魚肉中の結合組織を強化させることができれば、軟化の防止あるいは肉質の改善が可能であるとしている。さらに嶋澤・荒木 (1999) は、鶏肉では、と殺前の絶食により乳酸の元となる筋肉中のグリコーゲンが減少することで、嫌氣的乳酸解糖による乳酸の生成及びpH低下が少なくなるとしている。これらのことから、pHが相対的に高いこと、つまり筋肉中の乳酸量が少ないことは肉質の軟化防止の手段として有効であると考えられる。

またpHが低いシイラ個体で起きた破断強度の急激な低下は、魚肉中の乳酸量の増加に関連しているものと思われる。魚肉中のグリコーゲン含有量をマサバ (福田ら1984) や各魚種 (尾藤ら1983) で定量した報告では、魚肉中のグリコーゲン含有量は魚種や個体ごとに一定ではなく、生成・蓄積する乳酸量が異なるために、魚肉のpH最低値が個体によって異なることが報告されているが、シイラでは、福田ら (1984) がマサバで報告した値 (pH5.7) よりも漁獲された個体間の差が大きいことを示した。この点については、マサバが群れで行動するのに

対し、シイラは比較的単独で行動していることから、グリコーゲンの含有量に個体差を生じるためではないかと推察しているが、この点については今後グリコーゲン含有量を明らかにする必要がある。

畜産の分野では、食肉における色調の変化と pH に関するいくつかの知見がある。一般に食肉の色調、テクスチャー、保水性などには pH が影響するとされ、豚肉の異常肉である PSE (pale (淡白), soft (柔らかく締まりがない), exudative (ドリップが多い)) や牛肉を始めとした畜肉の DFD (dark (暗い), firm (硬い), dry (乾燥)) が知られている。

また鶏肉では pH が高い (6 以上) と肉色に悪影響があり、さらに、汚染微生物が繁殖しやすいこと、テクスチャーなどの食味への影響も指摘されており (嶋澤・荒木 1999)、異常な pH が原因で品質が低下する事例が多く報告されている (高坂 1991)。

これらのうち豚肉の PSE 筋では、筋肉の主要なタンパク質であるアクチンやミオシンの等電点である pH5 に近い pH となることで、これらのタンパク質の溶解性が低下し、ミクロな白濁化が起きるとされるが (入江 2002)、今回のシイラの魚肉色調が白色化した原因は、豚肉で PSE 筋が発生する pH よりもやや高いものの、同じ現象による可能性が示唆された。また鶏の腿肉では、絶食により明度 ( $L^*$  値) が低下し、赤色度 ( $a^*$  値) が高くなるとされる。これは腿肉中のグリコーゲンが少なく、と殺後の嫌氣的解糖により代謝される乳酸量が少ないために、腿肉の pH が低下しなかったとされるが (6 以上)、その場合肉色が暗くなると報告されている (嶋澤・荒木 1999)。シイラでは pH がおよそ 5.7 ~ 5.8 以上で、魚肉 (普通筋) の白濁は認められなかった。鶏の腿肉の場合、pH が低下しないことは品質面でマイナスと評価されるが、シイラの場合では pH が相対的に高い (およそ 5.6 ~ 5.7 以上) と魚肉は透明感を示し、鶏の腿肉とは異なり pH の高いことがプラスの評価となる。

さらに豚肉では、pH は異常肉質の簡易な測定指標とされ、PSE はと畜後の急速な pH の低下、DFD は熟成後の pH の高い値 (6 以上) を指標としており、異常肉は食品用のポータブルな pH メーターを用いて測定できるとされる (入江 2002)。ドイツでは豚をと殺してから 1 時間後と 24 時間後の pH 値 (1 時間後の pH が 5.8 以下は PSE, 6.2 以上は DFD, 24 時間後の pH が 5.3 以下は PSE, 6.0 以上は DFD) で異常肉を判定している (沖谷 1996)。

シイラ等の魚肉についても、終極 pH に達した後、すなわちシイラの場合では漁獲後数時間経過した後に、畜肉用の pH メーターを魚肉中に差し込み測定すれば、魚肉の軟化や魚肉色が以後どのように変化するかなど肉質の経時変化に関する情報を収集できると思われる。

シイラ等魚肉の場合も、豚肉の場合と同様に、pH が低いものは加工用、高いものは刺身用など、用途別に振

り分けることが可能になると思われる。

また清川ら (2008) はポータブル型近赤外分光分析装置により、シイラ魚肉の pH 及び乳酸量の非破壊測定のための検量線作成を試みた結果、近赤外分光分析値と pH および乳酸量についてそれぞれ、pH5.39-6.38 (平均 5.75) において相関係数 0.85 の検量線を、乳酸量 71.5-135.6 (平均 113.4) において相関係数 0.75 の検量線を報告しているので、近赤外分光法も応用できると考えられる。

pH や乳酸量の変動要因を明らかにすることができれば魚肉の軟化防止や肉質改善に大きく寄与すると考えられるが、これらについては前述の通り魚肉中のグリコーゲンの含有量が影響していると思われる。養殖クロマグロでは絶食により魚肉中のグリコーゲン含有量を減少させることで終極 pH が高まり、魚肉の明度及びメト化の進行が遅くなることで鮮魚としての価値が高まると報告されている (Nakamura *et al.* 2006)。シイラの場合も魚肉中のグリコーゲン量を調整し、死後魚肉中に生成される乳酸量を少なくすることができれば生食用シイラの肉質改善に有効と考えられる。活魚で持ち帰るのが難しい魚であるために絶食のための蓄養は難しいが、蓄養はより付加価値を高めるための有効な手段となる可能性がある。

今後はシイラ等 pH が大きく変化する魚肉の pH や生成乳酸量を変化させる要因について検討を行い、併せて畜肉用の pH メーターやポータブル型近赤外分光分析装置による肉質計測の可能性について検討していきたい。

## 謝 辞

本稿を取り纏めるに際し、終始ご指導、ご助言、ご鞭撻を賜った元東京海洋大学特任教授福田 裕博士 (故人) に心から厚くお礼申し上げます。

また査読いただいた審査員と担当編集委員の皆様にも厚くお礼申し上げます。

さらに本研究を進めるにあたり有益なご助言をいただいた元水産技術センター由木雄一漁業生産部長、ならびに調査に協力していただいた元水産技術センター藤川裕司主席研究員、及び旧調査船「明風」の濱上伸夫船長をはじめ、乗組員の皆様に深謝します。

## 文 献

- 児島俊平 (1966) シイラの漁業生物学的研究. 鳥根県水産試験場研究報告第 1 号, 1-115.
- 清川智之・井岡 久 (2007) シイラ魚肉の特性と付加価値向上のための 2, 3 の検討. 水産物の利用に関する共同研究, 47, 38-41.
- 岡本 満・斎藤寛之 (2011) 釣獲されたサワラの船上における致死方法の検討. 日水誌, 77, 1083-1088.
- 岩本宗昭 (1989) 魚類の“生き”の保持に関する研究. 鳥根県

- 水産試験場研究報告, **6**, 1-59.
- 岡 弘康・大野一仁・二宮順一郎 (1990) 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.
- 福田 裕 (1994) マサバ筋肉の死後の pH 変化と品質—ポストハーベストロス—. 水産海洋研究会報, **58**, 54-58.
- 安藤正史 (1994) 絶食飼育による養殖魚の肉質改善の試み, 養殖 31 卷 1 号, 69-71.
- 嶋澤光一・荒木 勉 (1999) 夏期における屠殺前の絶食が特産肉用鶏の肉質に及ぼす影響. 家禽会誌, **36**, 167-173.
- 福田 裕・柞木田善治・新井健一 (1984) マサバの鮮度が筋原繊維タンパク質の冷凍変性に及ぼす影響. 日水誌, **50**, 845-852.
- 尾藤方通・山田金次郎・三雲泰子・天野慶之 (1983) 魚の死後硬直に関する研究—II, 死後硬直の進行および消失と筋肉中の  $\Delta 7P$ , グリコーゲン量との関係. 東海区水産研究所研究報告, **110**, 27-37.
- 高坂和久 (1991) 「畜産物の鮮度保持」筑波書房, 東京.
- 入江正和 (2002) 豚肉質の評価法. 日豚会誌, **39**, 221-254.
- 沖谷明紘 (1996) 「肉の科学」. 朝倉書店, p.59-87, 東京.
- 清川智之・藤川裕司・岡本 満 (2008) 魚介類の肉質を現場で計測する技術の開発. 平成 18 年度鳥根県水産技術センター年報, 43.
- Nakamura Y., Ando M., Seoka M., Kawasaki K., Sawada Y., Miyashita S., Okada T., Kumai H., Tsukamasa Y. (2006) Effect of fasting on physical chemical properties of ordinary muscles in full-cycle cultured Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* during chilled storage. *Fish. Sci.*, **72**, 1079-1085.