

原著論文

メダイ筋肉の死後変化に及ぼす貯蔵温度と致死方法の影響

岡本 満*・井岡 久*

Effects of various storage temperatures and killing procedures on post-mortem changes in muscle of Japanese butterfish *Hyperoglyphe japonica*

Mitsuru OKAMOTO and Hisashi IOKA

The effect of storage temperature and killing procedures on post-mortem changes in the muscle of the wild Japanese butterfish *Hyperoglyphe japonica* were evaluated. The fish were stored at 0, 5 and 10°C following spinal cord destruction, stabbing spinal bulb, killing by ice-seawater or exposure to air at 0°C. Study of storage temperatures showed that 5–10°C was suitable to preserve freshness compared to 0°C before 24 h post-mortem, since adenosine triphosphate (ATP) concentrations slowly decreased in order of 5°C and 10°C storage. However, storage at 10°C was not suitable to preserve freshness compared to other temperatures subsequent to 24 h post-mortem, since the inosine monophosphate (IMP) concentrations were lower and K-values increased faster than in the other groups. The study of killing procedures showed that spinal cord destruction was best for early storage, since the decrease in pH and ATP concentrations were slowest before 24 h post-mortem and increases in K-values and rigor index were slower than the other groups before 48 h post-mortem. If the caught Japanese butterfish can be brought back while alive, appropriate temperature control after spinal cord destruction is considered the most effective procedure.

キーワード：脊髄破壊, 延髄刺殺, 貯蔵温度, メダイ
2020年7月6日受付 2021年8月30日受理

メダイ *Hyperoglyphe japonica* は、静岡県伊豆半島沖合、紀伊半島～高知沖合、薩南海域および長崎県西沖から南部および東シナ海大陸棚斜面域、甌近海、種子島海域にかけての水深 100～300m のところに多いとされるが(山田ら 2007)、島根県沖の日本海においても 1990 年代後半から漁獲量が増加し、2003 年には 500 トンを超えるまでになった(森脇ら 2013)。また、島根県においてはメダイ漁獲量の約 90% を釣漁業が占めるが(森脇ら 2013)、釣漁業はその漁労作業の特性上、漁獲物を一尾

ごと、船上で処理しやすいことから、島根県内の一部地域ではメダイの付加価値向上を目指し、延髄刺殺と脱血による“活けしめ”が行われるようになった。メダイの品質向上のためには、これらの活けしめ処理に加えて適正な温度管理が重要と考えられる。

海産魚の鮮度指標に及ぼす貯蔵温度の影響については、ハマチ(岩本 1989)、メダイ(岩本 1989)、ヒラメ(岩本 1989, 栗石ら 2008)、マゴチ(岩本 1989)、イシダイ(岩本 1989)、マアジ(望月・佐藤 1994)、マサバ(望月ら

* 島根県水産技術センター
〒697-0051 島根県浜田市瀬戸ヶ島町 25-1
Shimane Prefectural Fisheries Technology Center, 25-1 Setogashimacho, Hamada, Shimane 697-0051, Japan
E-mail: okamoto-mitsuru@pref.shimane.lg.jp

1999), サクラマス (油野・廣田 2005) などで, 致死方法の影響については, ヒラメ (岩本 1989, 雫石ら 2008), サクラマス (油野・廣田 2005), 養殖ハマチ (岡ら 1990), マアジ (望月・佐藤 1994, 望月ら 1997, 望月ら 1998, Mishima *et al.* 2005), マサバ (望月・佐藤 1996), マルアジ (望月・佐藤 1996), マダイ (Nakayama *et al.* 1996), カツオ (寺山・山中 2000, 寺山 2004), 養殖カンパチ (寺山 2004), イサキ (岡本ら 2006), シイラ (清川ら 2016) などで報告されている。しかしながら, メダイに関しては死後変化に及ぼす貯蔵温度の影響は検討されていない。また致死方法については, 岡本ら (2011) は船上における釣獲直後の延髄刺殺の効果について検討し脱血により身色を白く保つ効果等を確認したが, 致死から 10 時間が経過してからの測定だったこともあり, 致死方法が他の鮮度指標に及ぼす影響は依然として不明のままである。魚類に対する脊髓破壊の効果は, マアジ (Mishima *et al.* 2005), マダイ (Nakayama *et al.* 1996), イサキ (岡本ら 2006) などで明らかにされているが,

メダイについては検討されていない。このため, メダイの鮮度変化に対する貯蔵温度の影響と脊髓破壊を含む致死方法の影響について検討した。

材料と方法

材料 2011 年 1 月下旬～5 月下旬に島根県浜田市沖で一本釣により漁獲されたメダイ活魚 (平均尾又長 457 ± 43 mm, 平均体重 1.626 ± 463 g) を島根県水産技術センターの陸上水槽 (円形, 1 トン) に収容し, 1 日以上蓄養して衰弱や異常遊泳が認められない個体を, 1 月下旬～6 月上旬にかけて順次試験に供した。試験は貯蔵温度による死後変化を検討した貯蔵温度試験と, 致死方法による死後変化を検討した致死方法試験の 2 種類を行った。貯蔵温度試験では 16 尾を, 致死方法試験では 20 尾 (うち延髄刺殺区 6 尾は貯蔵温度試験 0°C 区と共通) のメダイを供試した。供試魚の詳細は表 1 のとおりだった。

表 1. 供試魚の試験区別一覧

| 処理方法 | 処理年月日 | 尾又長 (mm) | 体長 (mm) | 体重 (g) | 蓄養水温 ($^{\circ}\text{C}$) | | |
|------------|-----------------------|------------------------|----------------------------------|-----------|--------------------------------|------|------|
| 貯蔵温度 | 0°C 区 | 2011/01/31 | 448 | 410 | 1491 | 10.3 | |
| | | | 402 | 362 | 1033 | | |
| | | 2011/02/02 | 415 | 380 | 1179 | 9.5 | |
| | | 2011/02/15 | 405 | 365 | 1020 | 11.4 | |
| | 5°C 区 | 2011/04/04 | 442 | 401 | 1559 | 11.1 | |
| | | 2011/03/22 | 372 | 331 | 988 | 11.2 | |
| | | 2011/04/16 | 488 | 433 | 1976 | 13.9 | |
| | | | 528 | 476 | 2478 | | |
| | | 2011/05/24 | 493 | 440 | 1967 | 17.4 | |
| | | | 483 | 431 | 1814 | | |
| | | 10°C 区 | 2011/01/31 | 421 | 377 | 1166 | 10.3 |
| | | | | 393 | 353 | 981 | |
| 2011/02/02 | 400 | | 355 | 1018 | 9.5 | | |
| 2011/02/15 | 423 | | 385 | 1223 | 11.4 | | |
| 脊髓破壊区 | 2011/02/18 | 382 | 343 | 839 | 11.0 | | |
| | 2011/04/04 | 487 | 435 | 1997 | 11.1 | | |
| | 2011/04/06 | 447 | 401 | 1340 | 12.2 | | |
| | | 477 | 432 | 1612 | | | |
| | 2011/04/16 | 470 | 433 | 1981 | 13.9 | | |
| | 2011/06/03 | 472 | 431 | 1837 | 18.5 | | |
| | 致死方法 | 延髄刺殺区 | (貯蔵温度の 0°C 区と共通) | | | | |
| | | 2011/04/09 | 488 | 433 | 2028 | 13.4 | |
| 温度ショック区 | | 2011/04/15 | 471 | 430 | 1734 | 14.0 | |
| | | | 490 | 448 | 1912 | | |
| 2011/06/03 | | 507 | 455 | 2237 | 18.5 | | |
| 苦悶死区 | | 2011/04/09 | 468 | 426 | 1827 | 13.4 | |
| | | | 499 | 452 | 1871 | | |
| | | 2011/04/15 | 514 | 459 | 2278 | 14.0 | |
| | | 490 | 442 | 1976 | | | |
| 2011/06/03 | 509 | 473 | 2156 | 18.5 | | | |

貯蔵温度試験 水槽内のメダいを可能な限り刺激しないようタモ網で取り上げ、暴れないよう速やかに海水で濡らせたウレタンスポンジで挟みながら出刃包丁により延髄刺殺したのち、海水中で15分間放血させて致死させた。致死させた供試魚は、0°C貯蔵区(0°C区)、5°C貯蔵区(5°C区)、10°C貯蔵区(10°C区)ごとにポリエチレン袋に入れ、恒温水槽(池田式電子低温水槽、池田理化)に腹腔内が各試験区の設定温度になるまで浸漬したのち、所定の温度に調整した恒温器(IN600, IN81, ヤマト科学, MIR-554, 三洋電機)内で貯蔵した。致死直後から経時的に背部普通筋を採肉し、pH、破断強度、ATP関連化合物の測定に供した。

致死方法試験 メダい釣漁船での冷却はもっぱら水氷貯蔵が行われており、水揚げ後も氷詰めで流通していることから、0°Cにおける致死方法を検討した。メダいを取り上げ速やかに脊椎破壊(脊椎破壊区)、延髄刺殺(延髄刺殺区、貯蔵温度試験の0°C区と共通)、温度ショック(温度ショック区)、苦悶死(苦悶死区)の各処理により致死させた。脊椎破壊区は、延髄刺殺したメダいの神経弓門(中坊・木村2010)にピアノ線を通し脊椎を破壊したのち、海水中で15分間放血させて致死させた。温度ショック区は、氷を入れ0°Cに調製した海水に取り上げたメダいを浸漬し致死させた。苦悶死区は、取り上げたメダいを空中に放置し致死させた。致死させた供試魚は、恒温水槽で腹腔内温度を0°Cまで下げたのち、0°Cに調整した恒温器(MIR-554, 三洋電機)で貯蔵した。致死から0時間、3時間、6時間、12時間、24時間、48時間、72時間後において経時的に背部普通筋を採肉し、pH、破断強度、ATP関連化合物、硬直指数の測定に供した。pH、破断強度、ATP関連化合物の測定には各試験区4~6尾の供試魚を、それらのうちから硬直指数の測定のみ各試験区1尾の供試魚を用いた。なお、延髄刺殺した供試魚については測定後に頭部を裁割して刃が延髄に到達していることを確認した。

破断強度 Ando *et al.* (1991) の手法に準じ、背部筋肉を厚さ1cmに2片切り出し、レオメーター(COMPAC100-II, サン科学, 測定条件 プランジャー:直径10mm円形, 試料台速度:1mm/sec, クリアランス:1mm)で筋繊維に対して平行に肉を破断するのに必要な荷重(g)とした。1片あたり2ヶ所の計4ヶ所を測定し一尾当たりの平均値を求めた。

pH 尾藤(1980)の方法に準じ、背部の普通筋肉4gに5倍量の0.02Mモノヨード酢酸ナトリウムを加えホモジナイズし、速やかにガラス電極式pHメーター(F-52, 堀場製作所)で測定した。

ATP関連化合物およびK値 血合筋を除去した背部筋肉

2gを氷冷10%過塩素酸中でホモジナイズし、遠心分離を2回繰り返して集めた上澄みをpH7前後に中和したものを試料とし、高速液体クロマトグラフ(島津製作所製検出器, SPD-10Avp; 移動相, 100mMりん酸-トリメチルアンモニウム緩衝液/アセトニトリル=100/1; カラム, 信和化工STR-ODSII(150L×4.6mmID); 移動相流速, 1ml/min; カラム温度, 40°C; 検出波長, 254nm)で定量分析した。また、定量したHxR(イノシン), Hx(ヒポキサンチン)の、ATP関連化合物総量に対する百分率をK値とした。

硬直指数 尾藤ら(1983)の改良Cutting法により測定した。

統計処理 貯蔵時間ごとに試験区相互間について、統計解析ソフトウェア(IBM SPSS Statistics 23, 日本アイ・ビー・エム)により、一元配置分散分析ならびにTukey HSD検定による多重比較を行い、有意水準5%未満($p<0.05$)で有意差ありとした。

結果

供試魚の状況 魚体は試験期間である2011年1月下旬~6月上旬にかけて大型化する傾向が認められた。また、蓄養水温は2月の9.5°Cから6月の18.5°Cまで9°Cの幅があった(表1)。延髄刺殺区では個体によって遅延性痙攣が認められるものもあったが、処理から20分後には完全に動かなくなった。脊椎破壊区は処理後直ちに動かなくなり、背鰭や腹鰭が小刻みに痙攣する程度であったが、延髄刺殺区に比べ鰓蓋の動きがほとんど認められず、放血量が少ないように見受けられた。温度ショック区は30~40分間、苦悶死区は30~60分間、それぞれ断続的な苦悶が認められた。

貯蔵温度試験 破断強度の経時変化を示す(図1)。致死直後の約620~660gから72時間後の約350~410gま

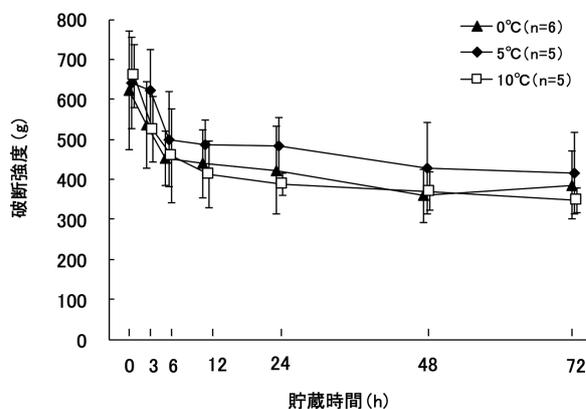


図1. 延髄刺殺したメダいの貯蔵温度別の破断強度経時変化
▲: 0°C区(n=6) ◆: 5°C区(n=5) □: 10°C区(n=5)

で経時的に低下し、3時間後から72時間後まで一貫して5°C区が0°C区、10°C区よりも高めに变化したが、貯蔵期間を通じて各試験区間に有意差は認められなかった。

pHの経時変化を示す(図2)。致死直後の6.96~7.08から72時間後の6.46~6.62に経時的に低下した。12時間後までは0°C区の減少が速かったものの、72時間後までの傾向をみると、貯蔵期間を通じて試験区間の有意差は認められなかった。また、48時間後から72時間後は各試験区とも横這いで推移した。

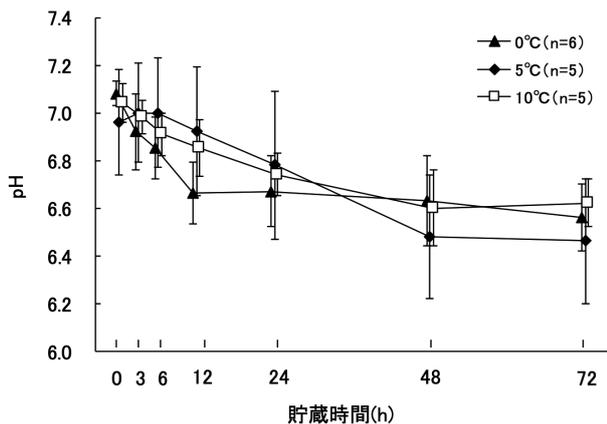


図2. 延髄刺殺したメダイの貯蔵温度別のpH経時変化
▲: 0°C区(n=6) ◆: 5°C区(n=5) □: 10°C区(n=5)

アデノシン三リン酸(ATP)含量とイノシン酸(IMP)含量の経時変化を示す(図3)。ATP含量は、5°C区の致死直後で4.43 $\mu\text{mol/g}$ であり、0°C区の2.84 $\mu\text{mol/g}$ より有意に高く、10°C区の3.04 $\mu\text{mol/g}$ よりも高かったが、有意差は認められなかった。6時間後では5°C区が4.40 $\mu\text{mol/g}$ であり、0°C区の2.36 $\mu\text{mol/g}$ より有意に高かった。12時間後においても5°C区が3.93 $\mu\text{mol/g}$ で、0°C区の1.35 $\mu\text{mol/g}$ より有意に高かった。24時間後までの減少傾向は10°C区が最もゆるやかで、次いで5°C区、0°C区の順であり、24時間後では0°C区が0.88 $\mu\text{mol/g}$ で、5°C区の3.09 $\mu\text{mol/g}$ に対して有意に低かった。0°C区では3時間後から12時間後の減少が他試験区に対して著しい傾向が認められた。72時間後には、0°C区が0.08 $\mu\text{mol/g}$ 、5°C区が0.12 $\mu\text{mol/g}$ 、10°C区が0.08 $\mu\text{mol/g}$ までそれぞれ減少し、5°C区が0°C区および10°C区に対してそれぞれ有意に高くなったものの、いずれもわずかになった。IMP含量は、致死直後はいずれの試験区の平均値とも0.08~0.44 $\mu\text{mol/g}$ だったが、12時間後には0°C区が3.70 $\mu\text{mol/g}$ まで急増する傾向が認められたのに対して、10°C区は0.12 $\mu\text{mol/g}$ という低い値を示し、両試験区の間には12時間後に有意差が認められた。5°C区は0°C区と10°C区の中間の傾向を示した。これらの増加における挙動はATPの減少とよく対応していた。48時間後以降は5°C区が0°C区よりも高くなり全体として横這いからやや減少傾向になり、72時間後では各試験区

が4.11~7.23 $\mu\text{mol/g}$ となり、5°C区は10°C区より有意に高くなった。

K値の経時変化を示す(図4)。致死24時間後までは各試験区とも平均2.4%以下と低く推移した。48時間後になると10°C区が9.1%と0°C区の5.4%と5°C区の4.6%それぞれに対して有意差はないものの高くなった。さらに72時間後においては10°C区が25.7%に達し、0°C区の8.1%、5°C区の11.2%それぞれに対して有意に高くなった。

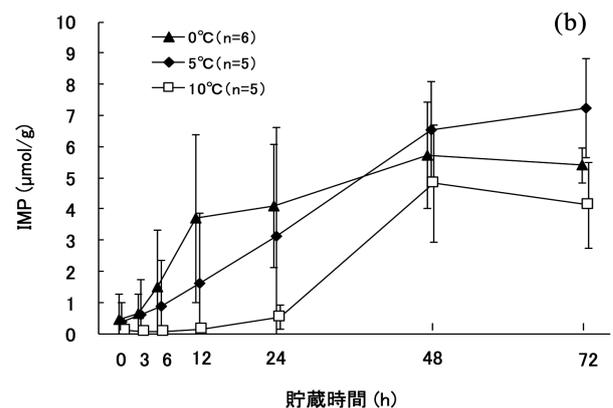
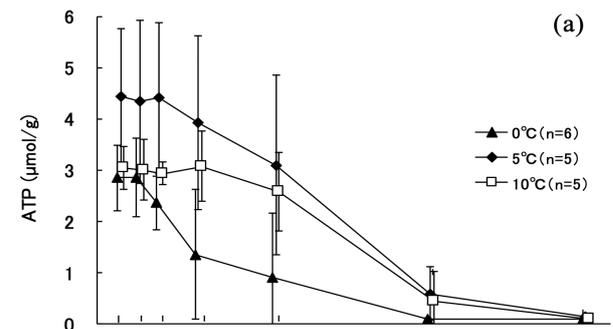


図3. 延髄刺殺したメダイの貯蔵温度別のATP (a), IMP (b)経時変化
▲: 0°C区(n=6) ◆: 5°C区(n=5)
□: 10°C区(n=5)

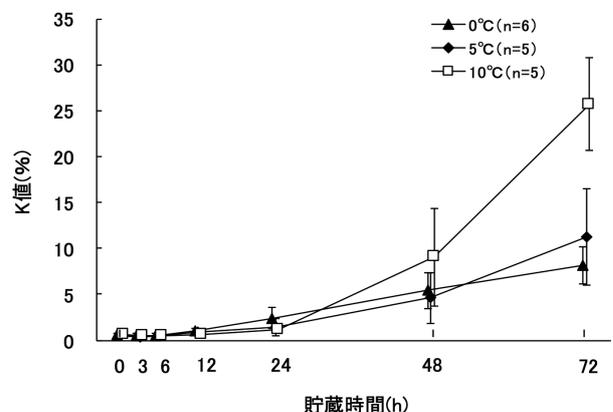


図4. 延髄刺殺したメダイの貯蔵温度別のK値経時変化
▲: 0°C区(n=6) ◆: 5°C区(n=5) □: 10°C区(n=5)

致死方法試験 破断強度の経時変化を示す (図5)。致死直後における各試験区の平均値は623~713gだったが、3時間後に他の3試験区は増加したのに対して延髄刺殺区のみ536gに低下し、脊髄破壊区687g、温度ショック区777g、苦悶死区734gそれぞれに対して有意ではないものの低くなった。12時間後には延髄刺殺区が439gまで低下し、脊髄破壊区589g、温度ショック区599g、苦悶死区597gそれぞれに対して有意ではないものの低くなった。以降は各試験区ともほぼ同じ順位で微減傾向を示し、48時間後では延髄刺殺区が359gで温度ショック区531g、苦悶死区538gそれぞれに対して有意に低かった。72時間後では385~482gと各試験区間の有意差はなくなった。

pHの経時変化を示す (図6)。致死直後から脊髄破壊区が7.07で苦悶死区の6.76より有意に高く、延髄刺殺区が7.08で温度ショック区の6.88、苦悶死区の6.76それぞれに対して有意に高かった。3時間後以降は各試験区間の有意差はなくなったが、6時間後までは脊髄破壊区のみ微増傾向を示し、温度ショック区と苦悶死区は微減傾向だった。延髄刺殺区のみ0時間後から速やかな低下傾向を示し、12時間後では6.66と温度ショック区の6.73と苦悶死区の6.71とほぼ同等になった。24時間後以降は各試験区ともに横ばいあるいは微減傾向を呈した。

ATP含量とIMP含量の経時変化を示す (図7)。ATP含量は、致死直後から6時間後にかけては各試験区間の有意差はなかったが、脊髄破壊区が3.31 $\mu\text{mol/g}$ と最も高かったのに対して、温度ショック区が2.96 $\mu\text{mol/g}$ 、延髄刺殺区が2.84 $\mu\text{mol/g}$ であり、苦悶死区が2.40 $\mu\text{mol/g}$ と最も低い値を示し、6時間後では脊髄破壊区3.68 $\mu\text{mol/g}$ で延髄刺殺区の2.36 $\mu\text{mol/g}$ よりも高かった。12時間後では脊髄破壊区が3.10 $\mu\text{mol/g}$ で延髄刺殺区が1.35 $\mu\text{mol/g}$ 、温度ショック区0.33 $\mu\text{mol/g}$ 、苦悶死区1.32 $\mu\text{mol/g}$ それぞれに対して有意に高かった。12時間後以降は速やかな減少傾向を示し、24時間後以降は試験区間の有意

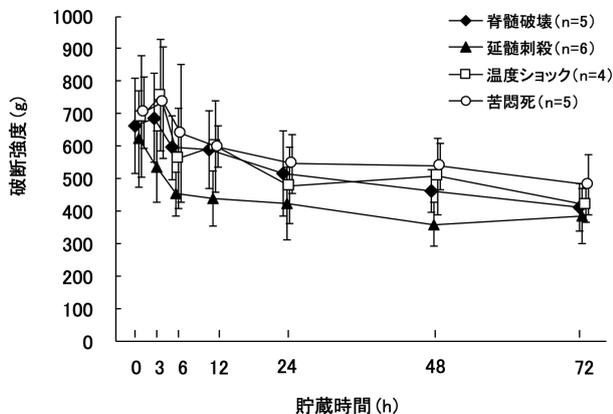


図5. メダいの致死方法別の破断強度経時変化 (貯蔵温度0℃)

◆: 脊髄破壊区(n=5) ▲: 延髄刺殺区(n=6)
□: 温度ショック区(n=4) ○: 苦悶死区(n=5)

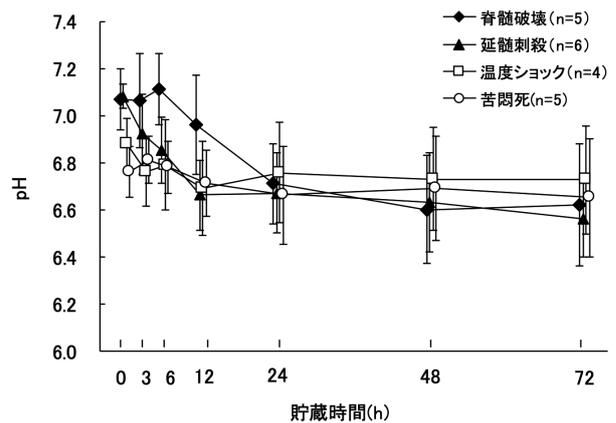


図6. メダいの致死方法別のpH経時変化 (貯蔵温度0℃)

◆: 脊髄破壊区(n=5) ▲: 延髄刺殺区(n=6)
□: 温度ショック区(n=4) ○: 苦悶死区(n=5)

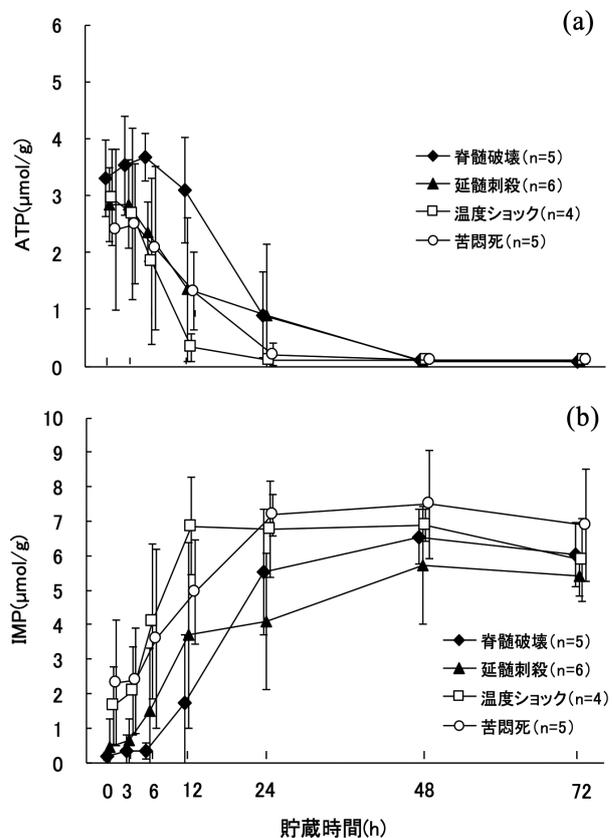


図7. メダいの致死方法別のATP (a), IMP (b)経時変化 (貯蔵温度0℃)

◆: 脊髄破壊区(n=5) ▲: 延髄刺殺区(n=6)
□: 温度ショック区(n=4) ○: 苦悶死区(n=5)

差は認められなくなった。また、脊髄破壊区以外の3試験区における比較では、温度ショック区の減少が速やかで12時間後には0.33 $\mu\text{mol/g}$ まで低下した。48時間後以降は各試験区とも0.10 $\mu\text{mol/g}$ 以下となった。IMP含量は、致死直後においては脊髄破壊区が0.16 $\mu\text{mol/g}$ 、延髄刺殺区が0.44 $\mu\text{mol/g}$ と低かったが、温度ショック区は1.66 $\mu\text{mol/g}$ 、苦悶死区は2.30 $\mu\text{mol/g}$ と、すでにかんりの

蓄積が認められ、脊髄破壊区は苦悶死区より有意に低かった。各試験区とも致死から12時間後、または24時間後にかけて増加傾向を示したが、12時間後では温度ショック区が $6.86\mu\text{mol/g}$ まで、苦悶死区が $4.93\mu\text{mol/g}$ まで、それぞれ速やかに増加したのに対して、脊髄破壊区は、3時間後に $0.34\mu\text{mol/g}$ で苦悶死区の $2.38\mu\text{mol/g}$ に対して、6時間後に $0.33\mu\text{mol/g}$ で温度ショック区の $4.09\mu\text{mol/g}$ に対して、12時間後に $1.73\mu\text{mol/g}$ で温度ショック区の $6.86\mu\text{mol/g}$ に対して、それぞれ有意に低く、緩やかな増加傾向だった。延髄刺殺区および苦悶死区は12時間後までは脊髄破壊区と温度ショック区の間傾向を呈した。これらは貯蔵温度試験と同じくATP含量の減少とよく対応していた。24時間後では延髄刺殺区が $4.09\mu\text{mol/g}$ となり、苦悶死区 $7.17\mu\text{mol/g}$ に対して有意に低くなった。48時間後には各試験区とも $5.72\sim 7.49\mu\text{mol/g}$ に達し、72時間後にかけて試験区間の有意差は認められなくなった。

K値の経時変化を示す(図8)。各試験区とも経時的な増加傾向を示した。脊髄破壊区が最も低く推移し、6時間後で0.4%と苦悶死区1.1%に対して有意に低くなり、12時間後においても0.6%と温度ショック区1.4%、苦悶死区1.7%それぞれに対して有意に低くなった。24時間後では脊髄破壊区が1.1%となり、温度ショック区3.8%、苦悶死区2.9%それぞれに対して有意に低くなった。48時間後では脊髄破壊区が3.8%で、温度ショック区7.3%に対して有意に低くなった。また、延髄刺殺区は、6時間後で0.5%となり苦悶死区の1.1%に対して、12時間後に1.0%となり苦悶死区の1.7%に対して、それぞれ有意に低くなった。72時間後では各試験区間の有意差はなくなった。

硬直指数の経時変化を示す(図9)。致死から24時間後までは脊髄破壊区が最も低く、他の3試験区に関しては順位の変動が認められたもののほぼ同等だった。48時間後に全ての試験区が完全硬直に達した。

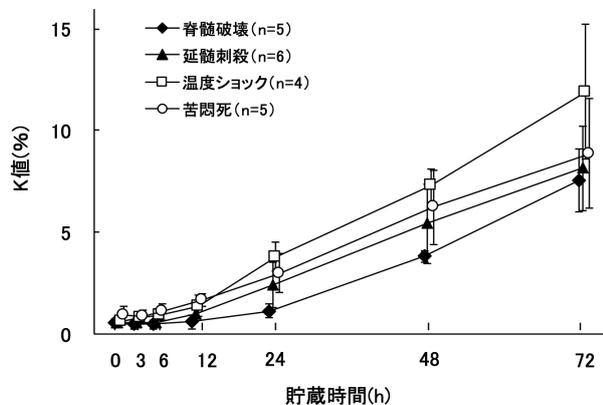


図8. メダイの致死方法別のK値経時変化(貯蔵温度0℃)

◆: 脊髄破壊区(n=5) ▲: 延髄刺殺区(n=6)
□: 温度ショック区(n=4) ○: 苦悶死区(n=5)

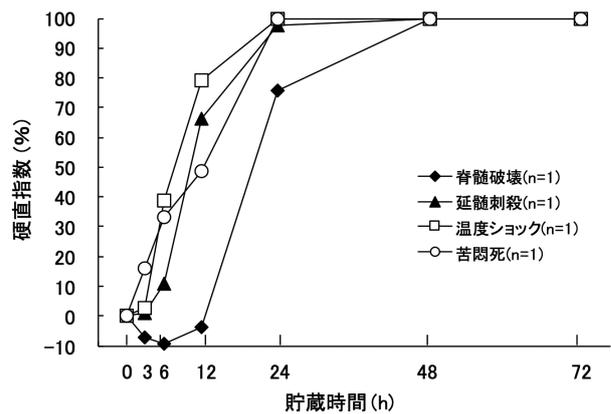


図9. メダイの致死方法別の硬直指数経時変化(貯蔵温度0℃)

◆: 脊髄破壊区(n=1) ▲: 延髄刺殺区(n=1)
□: 温度ショック区(n=1) ○: 苦悶死区(n=1)

考察

メダイ筋肉の貯蔵温度による死後変化を検討した。ATP含量の減少は10℃区が最もゆるやかで、5℃区がそれに次ぎ、0℃区が最も速かった。一方でIMP含量はATP含量の減少にともない増加したが、10℃区が最も少なく推移した。岩本(1989)によるヒラメを用いた試験、望月ら(1999)によるマサバを用いた試験ならびに岡本ら(2006)によるイサキを用いた試験では、貯蔵温度が高いほどIMPの蓄積が遅く含量が低く留まる傾向にあり、今回の結果と符合していた。しかしながら、0℃区と5℃区のIMP含量の比較では48時間後から5℃区が上回る結果となった。いずれにせよ、旨味成分として重要なIMP含量が少なくなることおよびK値の上昇から致死24時間以降の長期間における10℃貯蔵は望ましくないと考えられた。

貯蔵温度と破断強度の関係について比較検討した研究は少ないが、望月ら(1999)によるマサバを用いた試験では、破断強度が冬期、夏期ともに5℃貯蔵が-3℃、0℃、10℃貯蔵よりも高く推移したことを、Mishima *et al.* (2005)によるマアジを用いた試験では、破断強度が貯蔵期間のほとんどにおいて5℃貯蔵と10℃貯蔵が0℃貯蔵と15℃貯蔵より高かったことを報告している。今回のメダイについても、5℃区が0℃区と10℃区に比べて高めに推移する類似した傾向を示した。しかし、今回の試験においては5℃区のサイズが0℃区と10℃区に比べて大きかったことから、破断強度と貯蔵温度の関係については引き続き詳細な検討が必要と考えられる。

貯蔵温度とpHとの関係について検討した報告は見当たらないが、福田ら(1984)はマサバ筋肉で乳酸量とpHに強い相関があったことを報告している。また、岩本ら(1989)は、メダイ筋肉の乳酸量が10℃貯蔵より0℃貯蔵のほうが速やかに増加したと報告しており、養殖ハマチ筋肉、マゴチ筋肉、イシダイ筋肉における乳酸

量についても同様の結果を報告している。すなわち、貯蔵温度が低いほどpHの低下が速いのであれば、今回の試験において0°C貯蔵のpHが5°C貯蔵および10°C貯蔵のpHより速く低下した一因として、乳酸量の増加が速かったことが推察される。今回の試験では乳酸量を測定していないため、今後の検討課題である。

メダイ筋肉の致死方法による死後変化の検討では、破断強度は延髄刺殺区が他の3試験区に比べて速やかに低下する傾向にあった。魚肉の硬さについて、岡ら(1990)は養殖ハマチを用いた試験で、即殺(延髄刺殺)区の魚肉が最も硬く、次いで温度ショック区、苦悶死区の順に硬かったことを報告している。望月・佐藤(1994)は、致死後0°Cで貯蔵したマアジ筋肉の破断強度について、即殺(延髄刺殺)区、温度ショック区、苦悶死区の順に高かったことを報告している。Nakayama *et al.*(1996)は、致死後3°Cで貯蔵したメダイ筋肉の破断強度について、脊髄破壊区が延髄刺殺区と苦悶死区よりも高めであったことを報告している。今回の結果では延髄刺殺区の破断強度が他試験区に比べて最も低く変化しており、これらに符合しなかった。pHはその低下が魚肉のタンパク変性を引き起こし保水性などに影響を与えるとされている(橋本・新井1978, 福田ら1984)。致死方法と破断強度およびpHの関係について、Nakayama *et al.*(1996)は、脊髄破壊したメダイ筋肉の破断強度の高さはpHが高く保たれることによる筋肉の細胞周囲結合組織のタンパク質分解が抑制されるためと指摘している。清川ら(2016)は、シラ筋肉の破断強度はpHが高いほど高い傾向を認めたと報告している。今回の試験におけるpHについても、致死12時間後までは脊髄破壊区のほうが延髄刺殺区より高い値を示した。脊髄破壊区と延髄刺殺区間に破断強度の差が現れた理由として、前者では処理後に速やかに魚体の動きが収まったのに対して、後者では遅延性痙攣による動きが著しかったことから、筋肉の物性に差が出た可能性がある。しかしながら、致死3時間後から12時間後までについて、温度ショック区と苦悶死区の破断強度は脊髄破壊区と近い高めの値を示しているにもかかわらず、温度ショック区と苦悶死区のpHについては延髄刺殺区に近い傾向を示し脊髄破壊区よりも低下が速かった。このことから、脊髄破壊によって筋肉pHの低下を防ぐ効果が示唆されたものの、その破断強度への反映は確認できなかった。岡本ら(2011)は釣獲されたメダイを船上で速やかに延髄切断(延髄刺殺)・脱血、脊髄切断・脱血、脱血、温度ショック、鰓切断後15分間放置、苦悶死で処理した場合の破断強度の経時変化について検討したが、全体として明らかな差は認められなかった。今回は蓄養し安静にした個体を用いたことから単純比較は難しいが、他魚種において延髄刺殺区の破断強度が温度ショック区や苦悶死区より低かったという報告は見当たらない。メダイについては、船上における漁獲直後の即殺と陸上における蓄養後の即殺の差異

も含めて、さらなる検討が必要と考えられる。

ATP含量に関しては、致死12時間後までは脊髄破壊区が他の試験区に比べて明らかに高く推移した。これらは致死12時間後までの硬直指数の上昇との対応関係が認められた。魚類の死後におけるATPの減少と死後硬直の進行は多くの魚種で対応が認められており、メダイ、ハマチ、マゴチ、イシダイではATP含量が1 μ mol/g以下になったときに硬直指数がほぼ最大値に達したことが報告されているが(岩本1989)、メダイについても類似した傾向だった。

また、IMPは致死12時間後までは脊髄破壊区、延髄刺殺区の順に蓄積がゆるやかであったが、その含量はメダイのような白身魚においては食味を大きく左右する要因の一つと推察される。このため、脊髄破壊処理をより効果的に活用するためには、その高ATP含量や高pHがもたらす食感面とIMPの蓄積による旨味面のバランスの経時変化について、メダイの食味において重要視される脂質含量等とあわせ、官能評価等を加えたより詳細な検討が必要である。

K値に関しては、脊髄破壊区が貯蔵期間を通じて他の3試験区に対して一貫して低く推移した。Mishima *et al.*(2005)によるマアジを用いた試験でも同様の結果であり、脊髄破壊にK値の上昇を遅らせる効果があることが示唆された。他の3試験区におけるATP含量の比較では、温度ショック区が最も減少が速やかだったが、メダイは浸漬した水水中でも最長40分間断続的に苦悶したことから、即殺状態に至っていない可能性がある。望月・佐藤(1996)はマサバを用いた試験で温度ショックによって致死させた場合と苦悶によって致死させた場合のATP含量がほとんど同じだったことを報告しており、漁業現場で広く用いられている水氷冷却による即殺効果については、魚種ごとにさらなる検討が必要と考えられた。また、延髄刺殺区はpHあるいはATPの致死12時間までの経時変化において脊髄破壊区よりも温度ショック区と苦悶死区に近い挙動を示したが、これは延髄刺殺後に観察された遅延性痙攣が関係していると推察される。岡本ら(2011)による船上における試験結果とあわせると、メダイに対する延髄刺殺の効果は、脱血により肉色を白く保つこと以外に顕著なものは確認できなかった。

メダイの致死方法による硬直指数については、致死24時間後までは脊髄破壊区が延髄刺殺区、温度ショック区、苦悶死区に比較して最も低い値を示した。Nakayama *et al.*(1996)によるメダイを用いた試験では、脊髄破壊区の硬直指数の上昇が延髄刺殺区や苦悶死区の硬直指数よりも遅かったことが報告されている。メダイについても、死後硬直を遅延させるためには、脊髄破壊が効果的であることが示された。

以上から、メダイを脊髄破壊で即殺することによって、従来法の延髄刺殺や温度ショックよりも鮮度を高く保てることが明らかとなった。なお、致死48時間後までは

脊髄破壊区が他の致死方法よりもK値を有意に低く保てたことから、脊髄破壊は貯蔵初期の鮮度保持に有効な致死方法であると考えられた。貯蔵温度に関しては24時間後までは5～10°C貯蔵が望ましいが、24時間後以降は0～5°C貯蔵が望ましいと考えられた。

なお、メダイは天然魚を漁獲して供試せざるを得ないこと、漁期内でも好不漁の波が大きかったこと、施設的にも技術的にも長期蓄養が困難であったことから、今回の試験では冬期から初夏にかけての長期にわたり漁獲された個体を供試せざるを得ず、飼育水温帯に最大で9°Cの幅があった。Tsuchimoto *et al.* (1988) は、10°Cと30°Cに馴化させ即殺したコイを32°Cで貯蔵した場合、K値上昇率とpH低下速度は10°C群のほうが大きいことを報告している。また、望月ら(1999)はマサバを用いた試験で、岡本ら(2006)はイサキを用いた試験で夏期飼育群のほうが冬期飼育群に比べて即殺直後のATP含量が多く、マサバ、イサキともに5°C貯蔵におけるATP含量の減少は冬期飼育群が夏期飼育群よりも緩慢であることを報告している。今回のメダイの貯蔵温度試験における即殺直後のATP含量でも、0°C区と10°C区に比べ最大で7.9°C蓄養水温が高かった5°C区が多かったものの、前述のコイは20°C、マサバは11.6～12.1°C、イサキは10°Cとより温度差が大きかったことから、これらよりも水温の影響は小さいと推察された。しかしながら、今後はより精度の高い比較をするために飼育水温条件を統一した上での検討が必要である。

メダイの養殖はいまだ実用化されておらず、鳥根県では漁港等における蓄養施設の整備も遅れていることから、船上で釣獲後すみやかに延髄破壊あるいは温度ショックで即殺して水揚げせざるを得ない場合が多いが、今回の試験で脊髄破壊の有効性が確かめられた。鳥根県内では、釣獲したメダイを生かしたまま魚槽に収容し、帰港後に延髄刺殺や脱血により即殺して水揚げする漁業者も現れている。メダイは飼育水温が24°Cを超えた状態では斃死魚が急増するといわれているが(上野・山口1998)、鳥根県西部における漁獲量が多い秋季から初夏(森脇ら2013)にかけては漁場の表層水温あるいは漁港内水温が24°Cを超えることがないため、活魚としての扱いが可能と考えられる。陸上におけるメダイ活魚の蓄養が実現すれば、船上では困難である脊髄破壊などさらに進んだ処理方法を導入することで、より高品質なメダイ鮮魚を供給できる可能性が示唆された。

謝 辞

漁業協同組合JFしまね(浜田支所)所属の江川賢一氏には、供試魚となる活メダイを提供していただいた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

文 献

- 油野 晃・廣田将仁(2005) サクラマス (*Oncorhynchus masou*) 筋肉の死後変化に及ぼす致死条件と貯蔵温度の影響(II)。下北ブランド研究開発センター試験研究報告, 4, 53-58.
- Ando M, Toyohara H, Shimizu Y, Sakaguchi M (1991) Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1165-1169.
- 尾藤方通(1980) イワシ肉の凍結貯蔵中におけるNAD, ATP分解と解凍肉のpHおよびドリップ量. 東海水研報, 103, 65-72.
- 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—I 改良CUTTING法による魚体の死後硬直の観察. 東海水研報, 109, 89-96.
- 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.
- 橋本昭彦・新井健一(1978) 数種の魚類の筋原繊維Ca-ATPaseの安定性に及ぼすpHと温度の影響. 日水誌, 44, 1389-1393.
- 岩本宗昭(1989) 魚類の“生き”の保持に関する研究. 鳥水試研報, 6, 1-59.
- 清川智之・井岡 久・岡本 満・石原成嗣(2016) 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. 水産技術, 8, 53-60.
- Mishima T, Nonaka T, Okamoto A, Tsuchimoto M, Ishiya T, Tachibana K, Tsuchimoto M (2005) 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.
- 望月 聡・佐藤安岐子(1994) 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, 125-130.
- 望月 聡・佐藤安岐子(1996) マサバ及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.
- 望月 聡・前野久美子・乗田嘉子(1997) 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.
- 望月 聡・乗田嘉子・前野久美子(1998) 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.
- 望月 聡・上野洋子・佐藤公一・樋田宣英(1999) 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.
- 森脇晋平・寺門弘悦・安木 茂・佐々木正(2013) 沿岸漁業の複合経営に関する研究-V -鳥根県沿岸海域におけるメダイ釣漁業の実態と漁況. 鳥根水技セ研報, 5, 13-18.
- 中坊徹次・木村清志(2010) 硬骨魚類の骨格系. 「新魚類解剖図鑑」(木村清志監修). 緑書房, 東京, pp.34-43.
- Nakayama T, Toyoda T, Ooi A (1996) Delay in Rigor Mortis of Red Sea-bream by Spinal Cord Destruction. *Fish. Sci.*, 62, 478-482.
- 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.
- 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(2006) 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.

- 岡本 満・森脇和也・清川智之・藤川裕司 (2011) 釣獲されたメダいの鮮度実態と船上における致死方法の検討. 鳥根水技セ研報, **3**, 47-53.
- 平石志乃舞・白板孝朗・松原 久・石川 哲 (2008) ヒラメ (*Paralichthys olivaceus*) の取り扱いと鮮度変化の関係. 青森県ふるさと食品研究センター研究報告, **5**, 18-24.
- 寺山誠人 (2004) 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.
- 寺山誠人・山中英明 (2000) カツオの品質に及ぼす脱血の効果. 日水誌, **66**, 852-858.
- Tsuchimoto M, Tanaka N, Uesugi Y, Mishima T, Tachibana K, Yada S, Senta T, Yasuda M (1988) The influence of rearing water temperature on the relative thermostability of Myofibrillar Ca²⁺-ATPase and on the lowering speed of freshness in Carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 117-122.
- 上野幸徳・山口光明 (1998) 海洋深層水によるメダいの飼育について. 高知県海洋深層水研究所報, **3**, 11-17.
- 山田梅芳・時村宗春・堀川博史・中坊徹次 (2007) 「東シナ海・黄海の魚類誌」. 東海大学出版会, 秦野, pp.858-860.