

(13)「若狭ぐじ“極”」一人乗り操業で実施可能な鮮度管理手法の確立
(農林水産漁業者等提案型共同研究)

奈須 亮耶・家接 直人

鮎川 航太（嶺南振興局二州農林部林業水産課）

1 目的

令和2年12月から福井県のアカアマダイ（アマダイ）トップブランドとして「若狭ぐじ“極”」（以下“極”）が登場した¹⁾。“極”の認定には漁法やサイズ、姿形の要件を満たす他に漁獲後の魚を船上で活け締めすることが定められている。活け締めとは、活着している魚介類の死後の品質変化を抑制するために、魚を即殺する処理の総称であり、“極”では血抜きと脊髄を破壊する神経締めが行われている。しかしながら、船上での活け締めは作業負担が大きいために、現状では“極”の出荷は二人乗り操業をしている大島と小浜地区に限られ、一人乗りでの操業形態が多い地域ではほとんど行われておらず、“極”の出荷量が伸びない原因の一つとなっている。

そこで本研究では、一人乗り操業で実施可能な鮮度管理手法を確立することを目的として、まず、市場で入手したアマダイの鮮度調査から、活け締めによる鮮度保持効果の実態把握を行った。次に、一人操業では魚の水揚げの都度に活け締めすることが難しい事実から、漁獲の直後には比較的手間のかからない血抜きだけにとどめ、操業の合間や帰港時といった任意のタイミングで神経締めすることを想定して、漁獲した魚の保管方法と、漁獲して一定時間保管した魚への活け締めの鮮度保持効果を検討した。

2 方法

1) 鮮度調査

令和3年6月から10月にかけて、福井県の若狭湾で漁獲されたアマダイ32尾（表1）を産地市場への水揚げ直後もしくは、セリの日に入手して魚肉中のATP関連化合物を測定した。なお、サンプルの入手からATP関連化合物の抽出は30分以内に行った。続いて、入手したアマダイを砕氷とウレタンマットをひいた発砲スチロール箱（蓋つき）の中で、1日おきに砕氷を補充しながら約4日間貯蔵して、ATP関連化合物の変化を経時的に測定した。また、令和3年10月25日と令和4年1月6日に福井県漁連小浜支所（小浜市場）へ水揚げされた延縄漁のアマダイ（300g以上）およそ150尾のうち、およそ半数にあたる68尾（野締め47尾、活け締め21尾）の硬直指数を測定した。

2) 乗船試験

令和3年11月28日に幸成丸（敦賀市）へ乗船し、延縄漁で漁獲されたアマダイ（700g以上）を試験に用いた。船上に揚げられたアマダイを直ちにエラロから入れたナイフで背骨に沿う動脈を切断し、海水を張った容器に10分間泳がせることで血抜きした。血抜き後のアマダイをポリエチレン製の袋に入れ、砕氷を入れた海水（砕氷海水）と、砕氷入りのスチロール箱（蓋つき）にウレタンマットを引いて、魚体と氷とが直接触れないようにしたもの（下水）に分けて保管し、硬直指数の変化を測定した。次に、血抜きしたアマダイを下水で一定時間保管した後、アマダイの頭部に金属製のピックで穴をあけ、そこから金属製のワイヤーを脊髄に通して抜き差しすることで神経締めを行った。神経締めしたアマダイは再び下水で保管して、硬直指数の変化を測定した。令和4年2月26日に久弘丸（おおい町）に乗船して、延縄漁で獲れたアマダイのATP関連化合物の変化を漁獲

直後から追跡した。

表1 調査したアマダイの概要

漁法と処理	漁獲日	入手日・場所	尾数	銘柄
延縄-野締め	6月2日	6月2日・小浜市場	3	若狭ぐじ(800g)
延縄-野締め	7月2日	7月2日・小浜市場	2	若狭ぐじ(800g)
延縄-活け締め			2	“極”(800g)
延縄-野締め	9月10日	9月10日・小浜市場	3	若狭ぐじ(500g)
延縄-活け締め			1	“極”(900g)
延縄-活け締め			2	若狭ぐじ(800g)※
延縄-野締め	10月19日	10月19日・小浜市場	9	若狭ぐじ(500g)
延縄-活け締め	10月25日	10月25日・小浜市場	2	若狭ぐじ(500g)
			2	“極”(800g)
こぎ刺し網	8月24日	8月24日・小浜市場	3	500g
底びき網	10月5日	10月6日・越前市場	3	20入り

野締め：漁獲後、特に致死処理などされず、氷や保冷剤を入れた保冷ボックスに帰港まで保管されたもの

活け締め：血抜きと脊髄破壊による神経締めが施されたもの

越前市場：越前町漁協協同組合の開設市場

※：活け締めが施されているが、“極”の基準に満たなかったもの

3) ATP 関連化合物の測定

アマダイの背側から肉を約 1g 切り出して、10ml の 5%トリクロロ酢酸中でホモジナイズした。ホモジネートを遠心分離し、得られた上清をろ紙 (No. 5C, ADVANTEC) とシリンジフィルター (0.45 μm HPLC 用, Millex) でろ過した後、酢酸ナトリウムを加えて pH を中性に戻したものを ATP 関連化合物抽出液とした。乗船試験では、魚体から切り出した背肉をドライアイスでサンドイッチ状に押し挟むことで瞬間的に凍結して実験室に持ちかえり、ATP 関連化合物を抽出した。ATP 関連化合物の定量は高速液体クロマトグラフィーで行い²⁾、ATP 関連化合物総量に対するイノシン (HxR) とヒポキサンチン (Hx) の割合を K 値³⁾として算出した。なお、分析は福井県立大学海洋生物資源学部の食品工学研究室で行った。

4) 硬直指数の測定

尾藤らの方法⁴⁾に従って、致死直後の魚の体前部 (頭部から体長 1/2 まで) を台にのせ、尾部の垂れ下がる程度 (垂下長) を L、貯蔵後の垂下長を L' として次式により求めた。

$$\text{硬直指数 (\%)} = 100 \times (L - L') / L$$

鮮度調査では致死直後の垂下長を計測できないため、L を魚体長の 1/2 の値とみなした仮の硬直指数⁵⁾として表した。なお、本研究で入手した個体はいずれも解硬するまでには、24 時間以上要したことから、漁獲日に測定した垂下長は、硬直の進行過程か硬直中の値であると判断した。また、乗船試験で漁獲されたアマダイ垂下長 (致死直後) は、魚体長の 0.478 ± 0.08 倍 (500-900g のアマダイ 8 尾の平均値) であった。

5) 統計検定

有意差検定には、R (ver. 4.2.1) を使用し、K 値上昇速度については、Welch の t 検定を行った。仮の硬直指数については、Shapiro-Wilk の方法で正規性が認められず、Kruskal-Wallis の方法で有意差が認められたため、Steel-Dwass の方法で多重比較を行った。有意水準は 5%とした

3 結果

1) 鮮度調査

市場で入手したアマダイの ATP 関連化合物組成を図 1 に示した。ATP 関連化合物の総量は $9.07 \mu\text{M/g}$ (32 尾の平均値) であった。ATP 関連化合物の組成を見ると、延縄漁の野締め個体では、ATP が含まれない個体が多く (12/19 尾)、ATP の分解生成物であるイノシン酸 (IMP) が主体となっていたが、野締め個体であっても ATP の残存している個体もいた。延縄漁の活け締め個体では、いずれも $2\text{--}5 \mu\text{M/g}$ の ATP を保持していた。延縄漁以外の漁法では、こぎ刺し網漁の個体でもわずかに ATP の残存が見られたが、底びき網漁の個体では ATP は検出されず、さらに IMP の分解が進行していた。

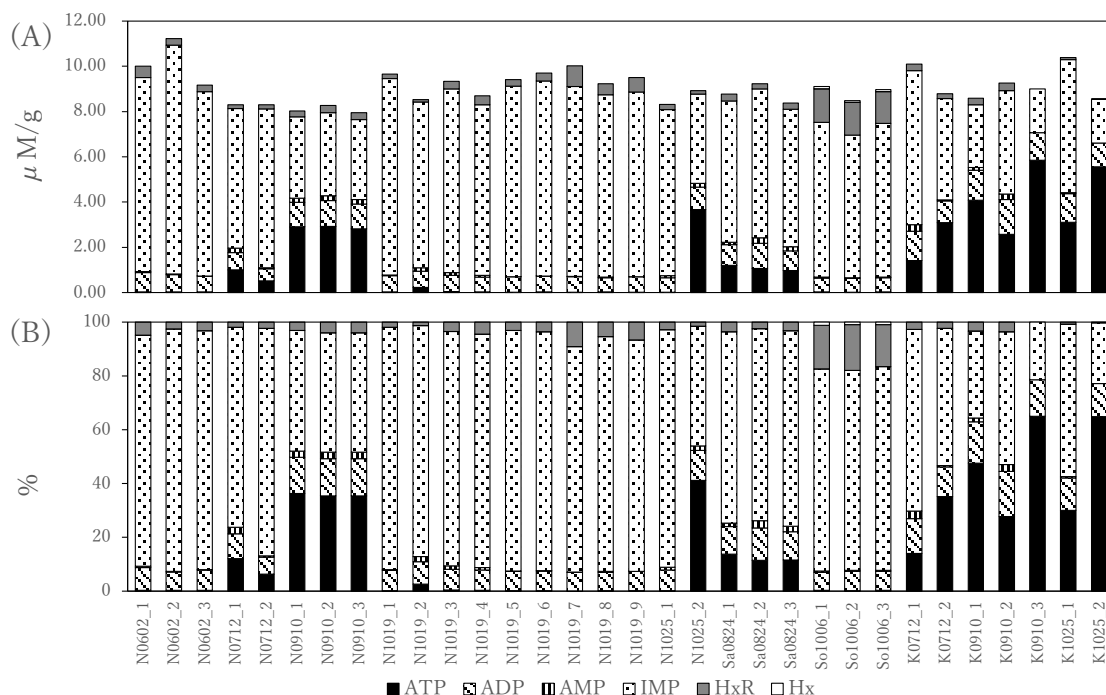


図 1 入手直後のアマダイの ATP 関連化合物組成

(A) 魚肉中の濃度 (B) ATP 関連化合物総量に占める百分率

4 桁の数字は漁獲日を表し、1 桁の数字は個体番号を表す N、Sa、So、K は

それぞれ延縄漁 (野締め) こぎ刺し網漁、底びき網漁、延縄漁 (活け締め) を表す

アマダイ貯蔵中の K 値の変化を図 2 に示した。図には、7 月 12 日に入手した延縄漁の野締めと活け締め個体の結果を示した。いずれの個体も K 値は直線的に上昇し、貯蔵 4 日目には野締めと活け締め個体の K 値はそれぞれ $30.0 \pm 4.4(\%)$ と $23.2 \pm 2.8(\%)$ だった。活け締め個体の K 値は野締め個体と比べて貯蔵 48 時間目までの K 値上昇がわずかに遅くなる傾向が見られた。そこで、貯蔵 48 時間目までを貯蔵初期、それ以降を貯蔵後期とし、K 値上昇速度を分けて算出して、野締め(19 尾)と活け締め (7 尾) の違いを検討した。貯蔵初期の K 値上昇速度は、活け締めが $0.12 \pm 0.03(\%/h)$ であり、野締めの $0.22 \pm 0.10(\%/h)$ と比べて有意に低い値だった ($p < 0.05$, Welch の t 検定)。しかし、貯蔵後期の K 値上昇速度は、野締めと活け締めでそれぞれ $0.23 \pm 0.13(\%/h)$ 、 $0.24 \pm 0.06(\%/h)$ であり、有意差は見られなかった ($p > 0.05$, Welch の t 検定)。

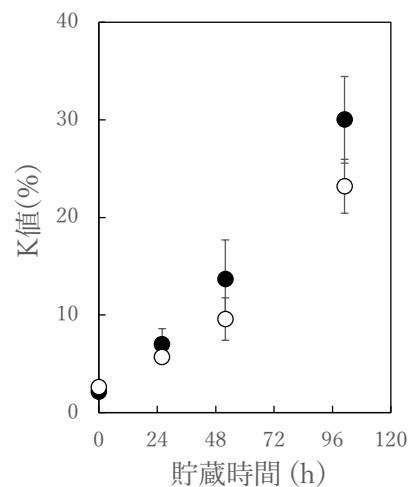


図2 アマダイ貯蔵中の K 値の変化
○：活け締め n=2 ●：野締め n=2
シンボルの線分は標準偏差を示す

活け締めによって貯蔵初期の K 値上昇は遅くなっていたが、そのような変化は一部の野締め個体にも見られた (図示しない)。その理由を知るため、入手時のアマダイの ATP 含量と貯蔵初期の K 値上昇速度との関係を検討した (図 3)。図 1 にも示したように延縄漁の野締め個体の多くは ATP を保持しておらず、それらの K 値上昇速度は $0.2-0.38(\%/h)$ であったが、野締めであっても ATP を $2.5 \mu M/g$ 以上保持していた個体では、K 値上昇速度は $0.1-0.19(\%/h)$ であり、活け締め個体と同程度だった。

最後に、魚体硬直の度合から活け締めの効果を検討した。漁獲日に水揚市場において箱詰めされる過程のアマダイを抜き取り、仮の硬直指数を測定した (図 4)。まず、本研究とは別の調査で得られた体長-体重変換式を用いて調査個体の重量は推定したところ、活け締めの個体はすべて 500g 以上であった。野締めのアマダイは、300-1,000g までさまざまであり、その重量組成は 300-500g と 700-900g の 2 つの山が見られた。そこで、活け締め個体と 500g 以下の野締め個体、500g 以上の野締めの個体の 3 グループに分けて硬直指数を比較した結果、野締めのグループ間で差は認められなかったが、活け締めと野締めの間ではサイズにかかわらず活け締めのほうが有意に低かった。

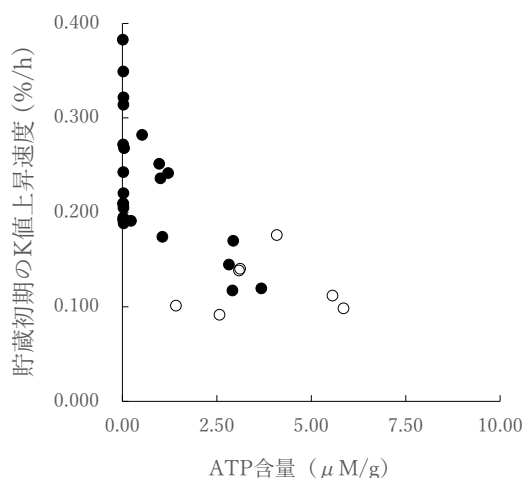


図3 入手時の ATP 含量と貯蔵初期の K 値上昇速度
●：野締め n=19 ○：活け締め n=7

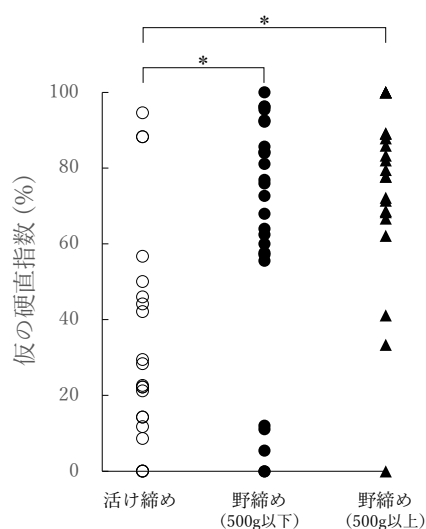


図4 市場選別時の仮の硬直度合
○：活け締め n=21
●：野締め (500g以下) n=25
▲：野締め (500g以上) n=22
*：2 群間での有意差を示す ($p < 0.05$, Steel-Dwass 検定)

2) 乗船調査

延縄漁で漁獲されたアマダイを血抜きし、砕氷海水と下水で保管して、魚体温と硬直指数の変化を調べた(図5)。魚体温は砕氷海水に保管すると急激に低下して、15分ほどで砕氷海水とほぼ同じ温度に達した。下水では魚体温の低下は緩やかになり、保管から150分後で約5℃に達した。下水でさらに保管すると魚体温は3-5℃の間で推移した。硬直指数は漁獲後の時間経過とともに増加し、硬直に至るまでの時間は、砕氷海水と下水でそれぞれ約120分と約180分であった。

血抜きしたアマダイを下水で0分(直ちに神経締め)、45分、140分間保管した後、神経締めしたアマダイの硬直指数の変化を図6に示した。その結果、保管時間に関係なく、いずれも180分後には硬直に至ってしまい、神経締めによる硬直の

遅延効果はほとんど見られなかった。本試験において神経締めの硬直遅延効果が表れなかった原因を推察するため、アマダイのATP含量の推移を漁獲直後から追跡した(図7)。漁獲したアマダイは活け締め(血抜き・神経締め)と、砕氷海水に10分間漬け込む(氷締め)ことで致死させ、その後は下水で保管した。船上に揚げられた直後のATP含量は $4.46\mu\text{M/g}$ (6尾の平均)であった。氷締めでは、締めた直後にATPは急激に低下し、漁獲からおおよそ4時間後には3個体とも20%以下になっていた。神経締めでは、漁獲直後にATPの急激な低下が見られた点は氷締めと同じであったが、その後の時間経過にともなうATPの減少は緩やかとなった。

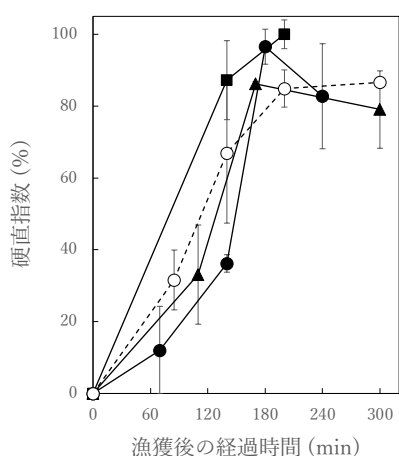


図6 保管したアマダイへの活け締めによる硬直指数の変化

- ：神経締め-なし n=2
- ：血抜き後、直ちに神経締め n=2
- ▲：45分後に神経締め n=2
- ：140分後に神経締め n=2

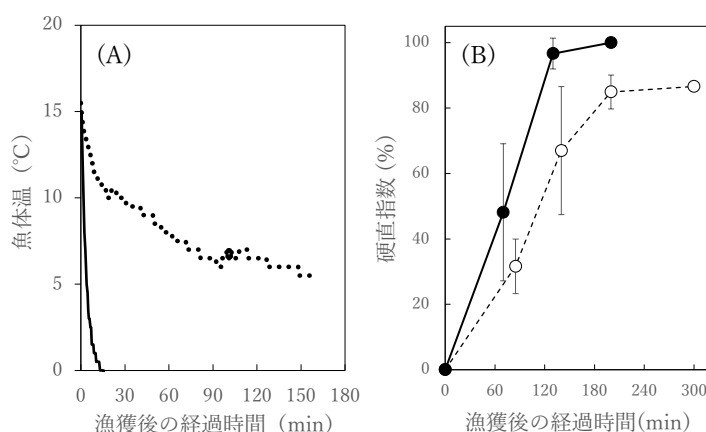


図5 保管中のアマダイの魚体温と硬直指数の変化

- (A)魚体温の変化 —：砕氷海水 n=1 ……：下水 n=1
アマダイ背部部位に温度ロガー(サーモクロン G、KN ラボラトリーズ)を埋め込み測定した
(B)硬直指数の変化 ●：砕氷海水 n=2 ○：下水 n=2

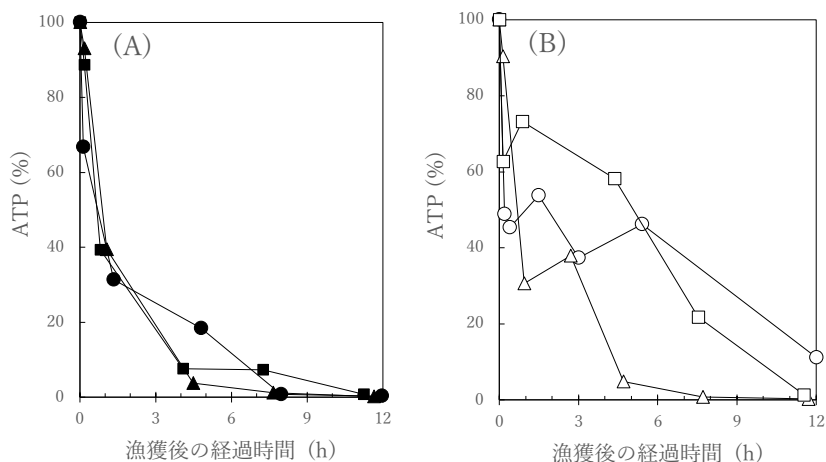


図7 漁獲直後からのアマダイのATP 含量の推移

(A)氷締め (B)活け締め

ATP(%)は、漁獲直後のATP含量を100%として表した
各個体の漁獲直後のATP含量は以下の通り

- ： $4.45\mu\text{M/g}$ ▲： $6.53\mu\text{M/g}$ ■： $3.97\mu\text{M/g}$
- ： $3.40\mu\text{M/g}$ △： $3.98\mu\text{M/g}$ □： $4.45\mu\text{M/g}$

4 考察

1) 鮮度調査

“極”には活け締めとして血抜きと神経締めが施されている。ここでの神経締めとは、魚の脊椎骨上部にある神経を破壊することで、魚の死後に起こる痙攣を防止し、生体エネルギー源である ATP の消費を抑える処理のことである。^{6,7)}そこでまずは、アマダイに対する活け締めの効果を把握するために、水揚市場で入手した魚の ATP 関連化合物を測定したところ、野締めの個体の多くは ATP が消失していたのに対して、活け締めされた個体では、20-50% (ATP 関連化合物総量に占める割合) の ATP が残存していた。次に、ATP の消失と魚体硬直のタイミングがほぼ一致する^{7,8)}ことを利用し、水揚市場でアマダイの硬直度合を調査した。その結果、活け締めの個体では野締めの個体と比べて硬直の度合は明確に低かったことから、活け締めによる ATP 消費抑制効果は多くの個体に表れていることが推察された。

活け締めの鮮度保持効果を化学的な鮮度指標である K 値 (魚類の鮮度と高い負の相関を示す) で測ると、活け締めの個体は野締めの個体と比べ、漁獲から四日間後には野締めと比べて 2 割ほど K 値は低くなっていた。このことは、K 値上昇が貯蔵初期において抑えられていたためであった。また、貯蔵初期の K 値上昇速度はサンプル入手時の ATP 含量との間に負の相関 ($r=0.687$) があったこと、貯蔵後期では K 値上昇速度に違いが見られなかったことから、アマダイの K 値は保管条件が一定ならば、ATP の消費 (分解) 速度に依存することが示唆された。したがって、アマダイに対する活け締めの効果とは、致死後の ATP の消費抑制によって、貯蔵初期の K 値上昇を抑えることで鮮度保持に効果を発揮していると考えられた。

2) 乗船試験

まず、漁獲後のアマダイの保管方法を検討したところ、砕氷海水で魚体を急激に冷やすと硬直までの時間が早まったことから、以降の試験では下水とウレタンマットで間接的に冷やしながら保管することとした。次に、下水で一定時間保管したアマダイに対する神経締めの ATP 消費抑制効果を、硬直指数の変化から確かめたが、保管時間に関係なく、また血抜き直後に神経締めした個体であっても硬直の遅延はほとんど起こらなかった。この原因を探るため、先の調査とは別個体を用いて、血抜き直後のアマダイの ATP 含量を調べた結果、10%程度 (5 尾の平均値、ATP 関連化合物総量に占める割合) までに低下していた (図示しない)。また、別日の調査でアマダイの ATP 含量の変化を漁獲直後から追跡したところ (図 7)、ATP 含量は漁獲直後で約 50% (総量に占める割合) あったが、その後は数十分の間で急激に低下した。安静な状態の魚を暴れさせないように即殺すると、致死直後の筋肉中の ATP 濃度は生存時に近い濃度⁹⁾を示す。しかし、海底付近に生息するアマダイは海中から巻き揚げられるさなかに激しく抵抗することで ATP を使い、船に揚げられた後は苦悶状態になることで好氣的な ATP の補給¹⁰⁾が滞ること ATP 濃度は著しく低下すると考えられる。これらのことが、本調査で神経締めによる ATP の消失抑制効果が表れなかったと原因であると推察された。ただし、野締めのアマダイであっても ATP を保持した個体や (図 1)、水揚市場での選別中でも硬直していない個体も確認している (図 4)。この理由は定かではないが、船に揚げられたアマダイはいずれも浮袋が膨れて転覆しているものの、よく泳ぎ回る個体もいれば、エラのかすかな動きだけで生きていることがわかるような衰弱した個体もあり、個体ごとに消耗度合は異なっていると思われる。また、漁獲のタイミングも違えば、当然死後の経過時間も異なることや、漁獲物の冷却具合も

個々に異なると思われることなど、様々な要因が合わさって起こった現象であると思われる。

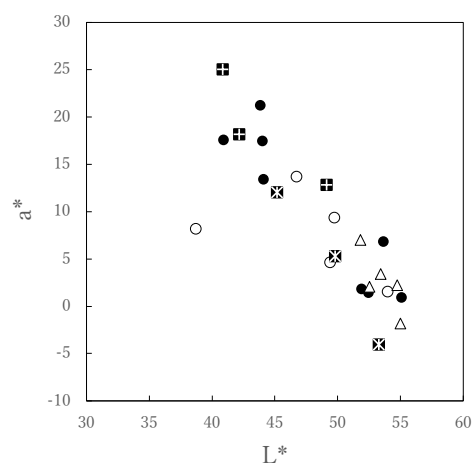
以上の結果から、アマダイに対して活け締め効果を十分に発揮させる方法を考えると、漁獲直後からできるだけ活きのよいアマダイを選び、血抜きした後は直ちに神経締めをすることが重要である。そして、締められて魚は魚体を急冷させないように保管しながら市場に運び、その後はできるだけ低温を保つようにして、流通させることが重要である。また、魚の死後に ATP 消費の引き金を引くのは筋肉細胞内の環境変化であるとされている¹¹⁾。そのために、締めた後は急激な魚体温変化や筋肉への物理的刺激をできるだけ与えないように魚体を丁寧に扱うことは、魚体の損傷を防ぐだけではなく、硬直の遅延にも有効であると考えられる。

本研究では、一人操業における活け締めの方法として、漁獲直後の処理を比較的手間のかからない血抜きだけした状態で保管して、操業の合間や帰港時といった任意のタイミングで神経締めすることでも鮮度保持効果が表れることを期待した検討を行った。しかし、アマダイは上記のように漁獲後の消耗が速くアマダイは漁獲から時間を置くほどに、神経締めの効果が表れないことがわかった。そのことは、神経締めに先立って行われる血抜きについても十分に配慮すべきことを示しているが、本検討では血抜きについて、十分な検討を行っていない。血抜きの主な効果は、死後に筋肉へ回る血液を減らすことで肉色を良好にすることであり、アマダイについてもおおむねそのような効果が見られたが（補遺に示す）、血抜きの時間を長くすると神経締めが効かなくなることから、適切な血抜き方法の検討が今後の課題であると考えられた。

5 補遺

1) 魚肉色調の測定方法

鮮度調査で入手したアマダイを約4日間貯蔵して、測定に用いた。アマダイの背部部位を採取し細切・混合して均等にした後、プラスチック製の容器（直径27mm、厚さ10mm）に充填して、撮影サンプルとした。撮影はデジタルカメラ（NIKON, D5000）を用いて、暗室内でLED光源を設置して行った。画像解析はImageJ（NIH, ver. 1.48）を用いた。撮影したRGBカラー画像をL*a*b*表色系の3成分へ分解し、それぞれをグレースケールのスタック画像にした。撮影サンプルの18mm×18mm範囲の強度を測定し、その平均値をL*、a*、b*各成分の値とした。



2) 魚肉色調の測定結果

漁法と締め処理の異なるアマダイの魚肉色調を測定し、各個体のL*とa*の関係を補遺-図1に示した。なおb*の値は、いずれのアマダイでもほぼ同じであった。魚肉色調のL*とa*の値は負の相関関係にあり、L*値が下がるほどa*値が増す傾向が見られた。

漁法別に測定結果をみると、刺し網漁の個体はa*値が高い傾向にあった。底曳き網漁と延縄漁（野締め）では個体ごとに測定値は大きく異なっていた。その他の個体と比べて、a*値は比較的低い傾向にあり、特に、乗船試験で活け締めであった。したがって、活け締めされたアマダイの本結果のアマダイの血抜きに、色合いを

明るくすることで色調改善に有効であることが示唆された。

補遺-図1 漁法・締め処理の異なるアマダイの魚肉色調
●：延縄-野締め
■：こぎ刺し網
⊠：底曳き網
○：延縄漁-活け締め
△：延縄漁-活け締め（乗船試験）

6 謝辞

本研究にあたり、乗船試験にご協力いただいた刀根和守様、並びに上左近久治様に感謝申し上げます。また市場調査にご協力いただいた福井県漁連小浜支所の加藤祐二様に感謝申し上げます。

7 文献

- 1) 若狭ぐじ版「極」は800g以上 福井県の最高級ブランド規格条件. 福井新聞, 2020-11-24, 福井新聞ONLINE, <https://www.fukuishimbun.co.jp/articles/-/1211427> (参照 2022-3-24)
- 2) Matsumoto M, Yamanaka H (1990): Post-mortem Biochemical Changes in the Muscle of Kuruma Prawn during Storage and Evaluation of the Freshness. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**:1145-1149.
- 3) Saito T, Arai K, Matsuyoshi M (1959): A new method for estimating the freshness of fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **24**:749-750.
- 4) 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.
- 5) 石原 成嗣, 竹谷 万理, 井岡 久, 清川 智之 (2018): インピーダンスによるムシガレイ鮮度の非破壊測定. *島根県水産技術センター研究報告*, **11**:1-9.
- 6) 望月 聡, 佐藤 安岐子 (1996): 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. *日本水産学会誌*, **62**:453-457.
- 7) Nakayama T, Toyoda T, Ooi A (1996): Delay in Rigor Mortis of Red Sea-bream by Spinal Cord Destruction. *Fisheries science*, **62**: 478-482.
- 8) 岩本 宗昭, 井岡 久, 斎藤 素子, 山中 英明 (1985). マダイの死後硬直と貯蔵温度との関係. *日本水産学会誌*, **51**:443-446.
- 9) 渡部 終五 (1991): 硬直に伴う筋肉の生化学的変化. 魚の死後硬直. 山中 英明 編. 恒星社厚生閣, 東京. pp9-20.
- 10) 安房田 司郎 (1996): 生体エネルギー生産のしくみ. 現代栄養科学シリーズ第17巻 生化学. 奥 恒行, 藤田 美明 編. 朝倉書店, 東京. p85-87.
- 11) Watabe S, Ushio H, Iwamoto M, Yamanaka H, Hashimoto K (1989): Temperature dependency of rigor-mortis of fish muscle: Myofibrillar Mg^{2+} -ATPase activity and Ca^{2+} uptake by sarcoplasmic reticulum. *Journal of Food Science*, **54**: 1107-1110.