

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

岡本 昭,^{1*} 濱田友貴,² 三浦勝貴,² 野中 健¹
 桑原浩一,¹ 大迫一史,¹ 三嶋敏雄,² 橋 勝康²

(2005年12月8日受付, 2006年3月17日受理)

¹長崎県総合水産試験場, ²長崎大学大学院生産科学研究科

Influence of killing procedures and storage temperatures on post-mortem changes in the muscle of cultured three-line grunt *Parapristipoma trilineatum*

AKIRA OKAMOTO,^{1*} YUKI HAMADA,² KATSUTAKA MIURA,²
 TAKESHI NONAKA,¹ KOICHI KUWAHARA,¹ KAZUFUMI OHSAKO,¹
 TOSHIO MISHIMA² AND KATSUYASU TACHIBANA²

¹Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Taira, Nagasaki 851-2213, Japan, ²Laboratory of Fishery Nutritional Science, Graduate School of Science and Technology, Nagasaki University, Bunkyo, Nagasaki 852-8521, Japan

In order to evaluate the effect of different killing methods (instant, struggled, temperature shock and spinal cord destruction) and storage temperatures (iced, 5, 10, 15, 20°C) on postmortem changes in the muscle of the cultured three-line grunt, the adenosine triphosphate (ATP), inosine monophosphate (IMP) concentrations, K-value and rigor index were investigated. A primary study on killing procedures showed that the spinal cord destruction method was the best, since the ATP concentrations resulted in a slow decrease and IMP concentrations, K values and rigor index showed slow increases respectively. For the storage temperature study, two fish groups with different culture temperatures, winter and summer, were used. When the changes in ATP, IMP, K-values and rigor index were compared, fish cultured at winter temperatures had relatively slower variations than those cultured at summer temperatures. Regarding the storage temperature tests, the 10°C storage resulted in slower increases in K-values and rigor index. From these results, it can be concluded that the spinal cord destruction method and storage at 10°C, regardless of culture temperature, were the most effective in delaying post-mortem changes of the three-line grunt even 24 h after postmortem.

キーワード：イサキ, 鮮度, 飼育温度, 死後変化, 脊髓破壊, 致死条件, 保存温度

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は, 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¹⁻⁴⁾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°Cより10°C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⁵⁻⁷⁾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髓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, いわゆる脊髓破壊が行われており, Nakayamaら^{8,9)}はマダイ, Andoら¹⁰⁾はマダイ, プリ, 筆者ら¹¹⁾はマアジを用いて脊髓破壊の有効性を報告した。また, Watabeら,¹²⁾ Abeら¹³⁾は飼育温度を変えたコイを用いて, 飼育温度が死後硬直時間に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

* Tel. : 81-95-850-6314. Fax : 81-95-850-6365. Email : okamoto@marinelabo.nagasaki.nagasaki.jp

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¹⁴⁾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¹⁻⁴⁾や筆者ら¹¹⁾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¹¹⁾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¹²⁾ Abeら¹³⁾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。

試料および方法

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 $23.2 \text{ cm} \pm 1.6 \text{ cm}$ 、平均体重 $287 \pm 49 \text{ g}$ 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°C の時期に採集した夏期養殖群 (平均体長 $22.9 \text{ cm} \pm 1.1 \text{ cm}$ 、平均体重 $311 \pm 36 \text{ g}$ 、魚体数 40 尾) と水温が約 15°C の時期に採集した冬期養殖群 (平均体長 $23.7 \text{ cm} \pm 0.9 \text{ cm}$ 、平均体重 $374 \pm 35 \text{ g}$ 、魚体数 40 尾) を用いた。

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椎索を破壊したもの (脊椎破壊区) であった。致死させた魚体はポリエチレン袋に入れて 10°C 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°C 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。

保存温度実験 供試魚を先の脊椎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 ($5, 10, 15, 20^\circ\text{C}$) 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。

ATP 関連化合物の測定 ATP 関連化合物は Ehira ら¹⁵⁾の方法に準じ過塩素酸で抽出を行い、植本ら¹⁶⁾の方法に準じて HPLC 法で分析した。

死後硬直の測定 死後硬直は硬直指数を用い尾藤ら¹⁷⁾の改良 Cutting 法で分析した。

結 果

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. 1 に示す。苦悶区では致死直後の ATP 含量が約 $4 \mu\text{mol/g}$ であったのに比較して、脊椎破壊区、延髄切断区、温度ショック区は約 $7.8 \mu\text{mol/g}$ 以上の高いレベルにあった。各試験区とも

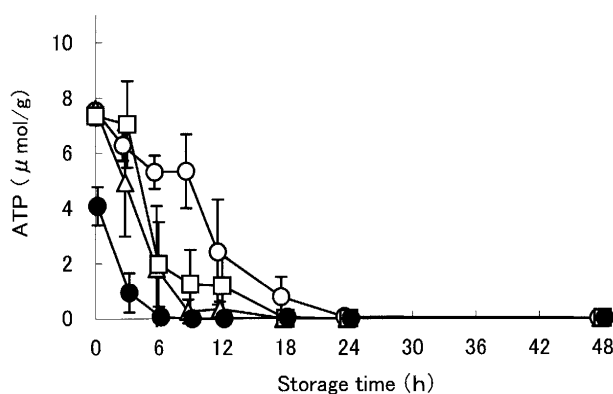


Fig. 1 The effect of killing procedures on the ATP concentration of the three-line grunt. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). ○: destroying the spinal cord (spinal cord destruction killing); △: cutting the brain (instant killing); □: dipping in cold sea water (temperature shocked killing); ●: leaving in the air (struggled killing).

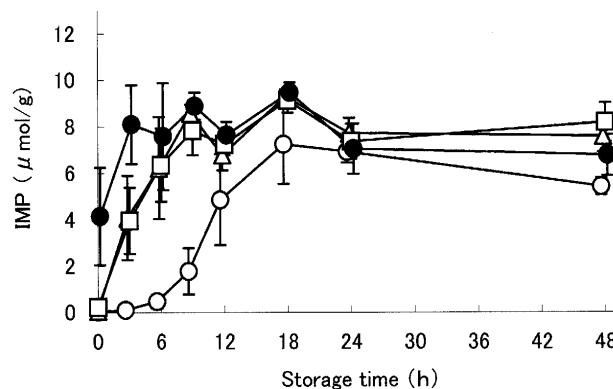


Fig. 2 The effect of killing procedures on the IMP concentration of the three-line grunt. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). ○: spinal cord destruction killing; △: instant killing; □: temperature shocked killing; ●: struggled killing.

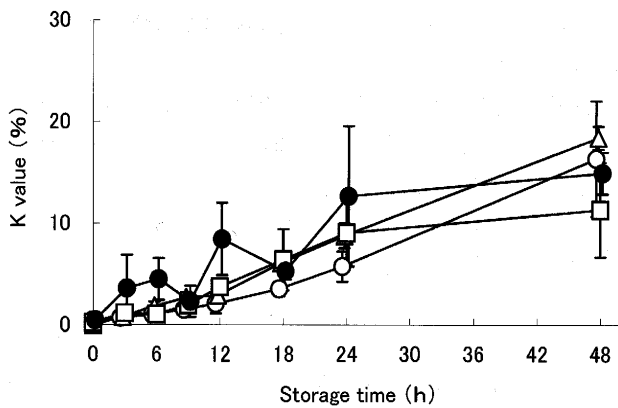


Fig. 3 The effect of killing procedures on the K value of the three-line grunt. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). ○: spinal cord destruction killing; △: instant killing; □: temperature shocked killing; ●: struggled killing.

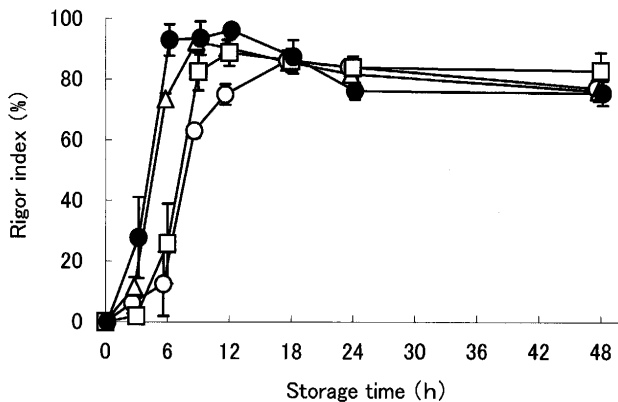


Fig. 4 The effect of killing procedures on the rigor index of muscle in three-line grunt. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). ○: spinal cord destruction killing; △: instant killing; □: temperature shocked killing; ●: struggled killing.

ATP 含量は経時的に減少し, ATP が $0.5 \mu\text{mol/g}$ 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 時間, 温度ショック区は 18 時間, 脊髓破壊区は 24 時間で, 脊髓破壊区が最も低下が遅かった。

IMP 含量の経時変化を Fig. 2 に示す。IMP 含量は苦悶区で致死直後に約 $4 \mu\text{mol/g}$ であったがその他の 3 試験区は $0.5 \mu\text{mol/g}$ 以下で非常に少なかった。IMP が約 $7 \mu\text{mol/g}$ 以上を呈したのは苦悶区, 温度ショック区と延髄切断区, 脊髓破壊区の順で早かった。この順位は先の 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. 3 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。

死後硬直の経時変化を Fig. 4 に示す。硬直指数の

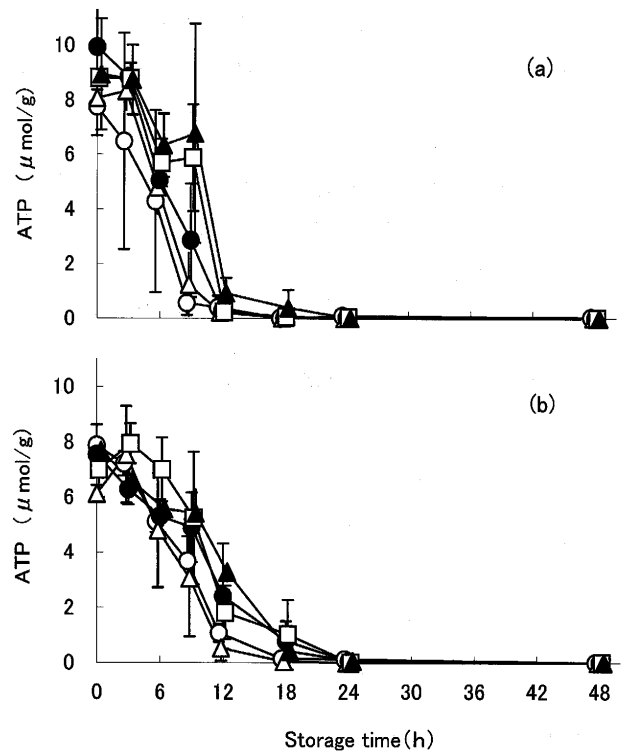


Fig. 5 The effect of storage temperature on the ATP concentration of the three-line grunt. (a) summer, (b) winter. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). ○: 0°C; △: 5°C; ●: 10°C; □: 15°C; ▲: 20°C.

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。

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. 5 に示す。致死直後の ATP 含量は夏期養殖群で約 $8 \mu\text{mol/g}$ 以上, 冬期養殖群で約 $7 \mu\text{mol/g}$ 以上と高いレベルを示した。夏期養殖群について ATP が $0.5 \mu\text{mol/g}$ 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 $0.5 \mu\text{mol/g}$ 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慢な減少傾向を呈した。

IMP 含量の経時変化を Fig. 6 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。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. 7 に示す。夏期養殖群におい

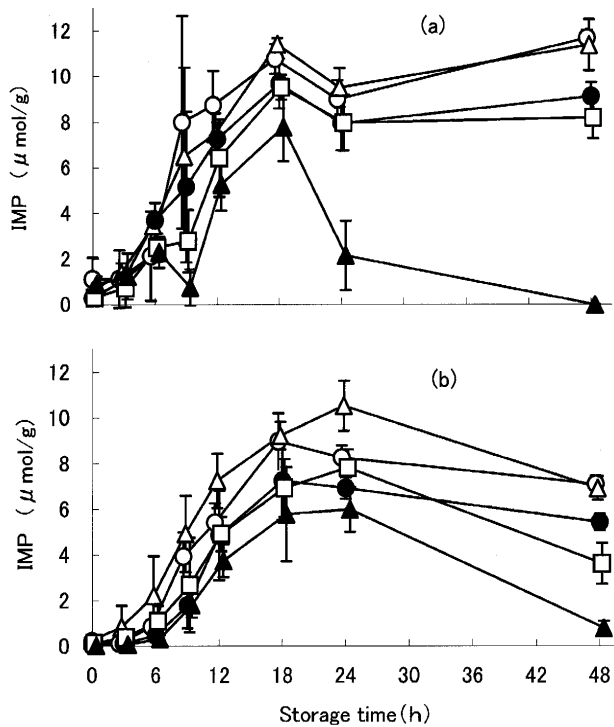


Fig. 6 The effect of storage temperature on the IMP concentration of the three-line grunt. (a) summer, (b) winter. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). \circ : 0°C; \triangle : 5°C; \bullet : 10°C; \square : 15°C; \blacktriangle : 20°C.

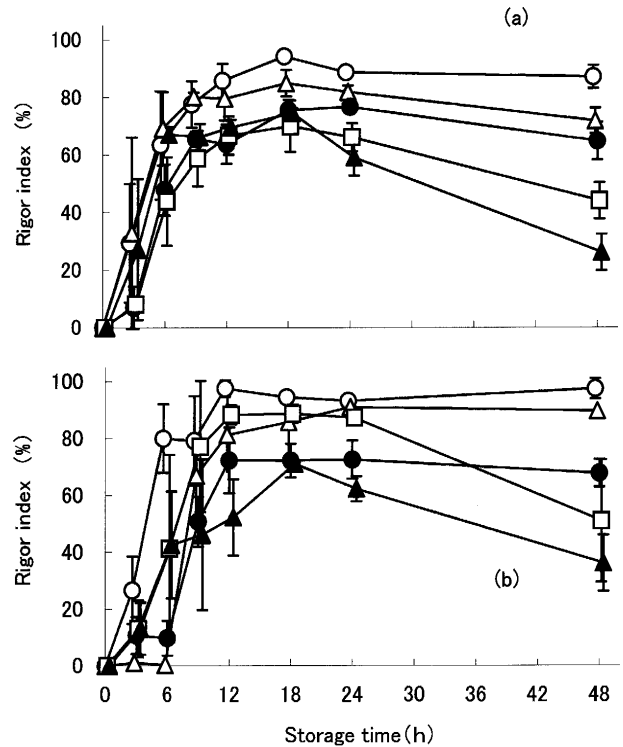


Fig. 8 The effect of storage temperature on the rigor index of muscle in the three-line grunt. (a) summer, (b) winter. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). \circ : 0°C; \triangle : 5°C; \bullet : 10°C; \square : 15°C; \blacktriangle : 20°C.

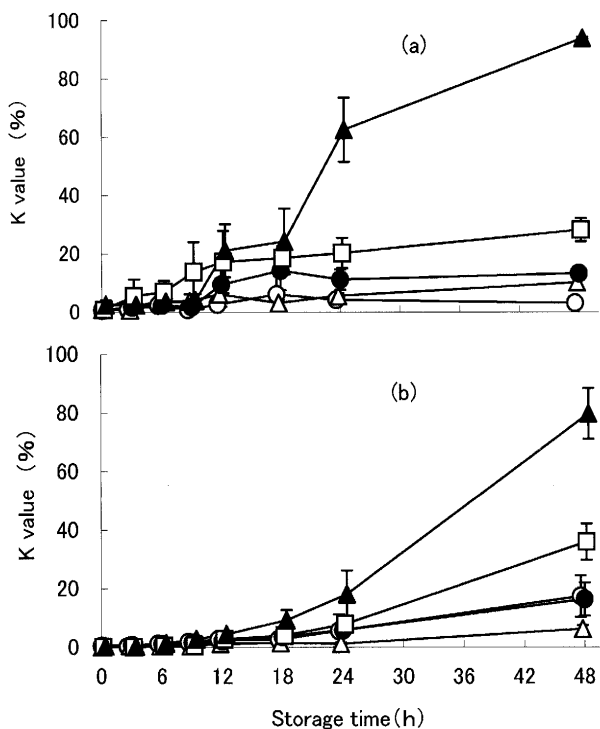


Fig. 7 The effect of storage temperature on the K value of the three-line grunt. (a) summer, (b) winter. Data are mean \pm S.D. ($n=4$). \circ : 0°C; \triangle : 5°C; \bullet : 10°C; \square : 15°C; \blacktriangle : 20°C.

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. 8 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解硬を呈した。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。

考 察

魚の死後変化について, 魚種,¹⁻⁴⁾ 致死方法,⁵⁻¹¹⁾ 貯蔵温度^{1,5,11)}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ることは報告されている。⁸⁻¹¹⁾ 今回, 養殖イサキにおいても, 脊髄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髄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,¹⁾ ブリ,²⁾ マゴチ,²⁾ イシダイ,²⁾ ヒラメ,³⁾ マアジ¹¹⁾においては, 0°C より 10°C 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°C 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¹⁴⁾がトラフグ, キジハタ, ネコザメは 20°C または 10°C の場合には 0°C 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°C 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¹⁸⁾が原因と考えられる急速な硬直の進行が認められ, 10°C 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¹¹⁾やマダイ,¹⁾ ハマチ,²⁾ マゴチ,²⁾ イシダイ,²⁾ ヒラメ³⁾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°C, 冬期養殖群では 5~10°C であり, 夏期養殖群の 15°C 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, 脊髄破壊し, 血抜きをした後, 完全硬直にいたるまでは約 10°C で保存し, その後 0°C 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¹⁹⁾は水温 10°C 及び 30°C で飼育し, 棲息水温に馴化させたコイを即殺後, 氷蔵, 10°C, 20°C, 32°C に保存して, 経時的に ATP 含量を測定した時, 32°C 保存では 10°C 飼育が 30°C 飼育より ATP の消費が早く, 氷蔵, 10°C, 20°C の各保存温度では逆に 10°C 飼育が遅くなる現象がみられたと述べている。また, Hwang²⁰⁾らは 10°C および 30°C に馴化したコイを 0~20°C 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°C, 10°C で低温馴化魚の方が遅く, 20°C 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,^{21,22)} 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°C 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°C と 25°C で 10°C 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。

文 献

- 1) 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 1985; 51: 443-446.
- 2) 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 1990; 56: 93-99.
- 3) 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 1990; **56**: 101-104.
- 4) 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.* 1988; **53**: 1662-1665.
 - 5) 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 1994; **60**: 125-430.
 - 6) 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 1996; **62**: 453-457.
 - 7) 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 1998; **64**: 276-279.
 - 8) 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.* 1996; **62**: 977-984.
 - 9) Nakayama T, Toyoda T, Ooi A. Delay in rigor mortis of red sea-bream observation by spinal cord destruction. *Fish. Sci.* 1996; **62**: 478-482.
 - 10) 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.* 1996; **62**: 796-799.
 - 11) 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.* 2005; **71**: 187-194.
 - 12) Watabe S, Hwang G-C, Ushio H, Hashimoto K. Changes in rigor-mortis progress of carp induced by temperature acclimation. *Agric Biol Chem.* 1990; **54**: 219-221.
 - 13) Abe H, Okuma E. Rigor-mortis progress of carp acclimated to different water temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 1991; **57**: 2095-2100.
 - 14) 山本常治, 野口栄三郎. 漁獲物の鮮度保持に関する研究 X VI 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 1964; **13**: 119-125.
 - 15) 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.* 1970; **36**: 491-496.
 - 16) 槌本六良, 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 1985; **51**: 1363-1369.
 - 17) 尾藤方通, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之. 魚の死後硬直に関する研究—I 改良 CUTTING 法による魚体の死後硬直の観察. 東海区水産研究所報告 1983; **109**: 89-96.
 - 18) 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) 恒星社厚生閣, 東京. 74-82.
 - 19) 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.
 - 20) 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.* 1991; **57**: 541-548.
 - 21) 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 1995; **61**: 832-837.
 - 22) 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. 長崎水試研報 1994; **20**: 41-46.