

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

望月 聡, 上野 洋子, 佐藤 公一, 樋田 宣英

(1998年9月2日受付)

Effects of Storage Temperature on Post-mortem Changes
in the Muscle of Chub MackerelSatoshi Mochizuki,*¹ Yoko Ueno,*¹
Koh-ichi Satoh,*² and Nobuhide Hida*³

The effects of storage temperature on post-mortem changes in the muscle of chub mackerel caught in winter and in summer were investigated. The rate of progress of rigor-mortis was slowest in the group stored at 5°C in both experiments in winter and in summer. The changing rates of concentrations of ATP, IMP, inosine, and creatine phosphate of the dorsal muscle were slowest in the 5°C group in the winter experiment. In the summer experiment, those in the 5°C and 10°C groups were slower than those in the 0°C group. The changing rate of the *K*-value in the 10°C group was more rapid. The values of breaking strength of dorsal muscle in the 5°C group were maintained significantly high values in winter, and slightly in summer. From these results, it was considered that the desirable storage temperature for delaying post-mortem changes of chub mackerel was 5°C regardless catch seasons.

キーワード：マサバ, 貯蔵温度, 死後変化, 死後硬直, ATP

魚類の死後変化の進行を支配する要因は種々知られているが、このうち、人間が容易に制御できる要因として致死条件と致死後の魚体の貯蔵温度が挙げられる。これらの要因の影響については、ハマチ,^{1,2)} マダイ,^{3,4)} およびヒラメ^{5,6)}などの養殖魚あるいは高級魚を対象に研究がなされ、死後硬直の進行速度や筋肉中のATP含量の変化について知見が得られている。マサバやマアジは一般に大衆魚と考えられているので死後変化についての研究は少ないが、大分県ではこれらを活魚として出荷し、価格も高級魚とほぼ同等であることから、死後変化を遅らせ、活きのよい状態を長時間維持する方法を明らかにすることには大きな意義があると考えられる。著者らはこれまでの研究によってマアジ⁷⁻⁹⁾並びにマサバ¹⁰⁾の死後変化に及ぼす致死条件の影響について検討を行い、報告してきた。今回の実験においては、致死後の魚体の貯蔵温度に着目し、マサバを即殺した後の魚体の貯蔵温度が、硬直指数、筋肉中のエネルギー代謝関連物質の量的変化、および筋肉破断強度に対してどのように影響を与えるかを明らかにすることによって、活きのよい状態を

長時間維持するための基礎的知見を得ることを目的とした。

実験材料および方法

実験は、冬期と夏期の2回行った。すなわち冬期の実験は、生け簀で24時間以上蓄養されていたマサバ *Scomber japonicus* (体長約40 cm, 体重600 g程度)を、1996年2月28日と3月7日の2回に分けて大分県佐賀関町漁業協同組合より48尾入手した。これらを延髄刺殺によって致死させた。その後魚体を-3°C, 0°C, 5°C, および10°Cで貯蔵した。このときの気温は10.5°Cと11.6°C, 水温は11.8°Cと12.3°Cであった。また夏期の実験は、1996年8月22日に同様に行った。用いたマサバは、体長約37 cm, 体重550 g程度であった。夏期実験においては、貯蔵温度を0°C, 5°C, および10°Cの3区とした。このときの気温は25.9°C, 水温は23.9°Cであった。いずれの実験区とも12尾を用い、致死させた時間を0時間目として、経時的に6尾については尾藤ら¹¹⁾の方法によって硬直指数を測定した。ま

*1 大分大学教育学部 (Faculty of Education, Oita University, Oita 870-1192, Japan).

*2 大分県海洋水産研究センター海洋資源利用部 (Resources and Utilization Division, Oita Institute of Marine and Fisheries Science, Kamiura, Minamiyama, Oita 879-2602, Japan).

*3 大分県産業科学技術センター食品工業部 (Food Science and Technology Division, Oita Industrial Research Institute, Oita 870-1117, Japan).

た別の6尾について経時的に背肉を幅10mmで切り出し、筋肉破断強度を測定した後、直ちに約2gを精秤して、10mlの10%過塩素酸で除タンパクしたものを、10N水酸化カリウムでpHを6.2~6.8に調整し、4°Cで遠心分離(10,000×g, 10分)して得た上清をエネルギー代謝関連物質(ATPとその関連化合物、およびクレアチンリン酸)の定量に供した。ATPとその関連化合物、およびクレアチンリン酸は前報⁷⁾と同様にHPLCを用いて測定した。また、筋肉破断強度の測定はAndoら¹²⁾の方法に従って測定した。但しプランジャーは直径3mmのものを用いた。

結 果

硬直指数の経時変化をFig. 1に示した。冬期実験においては貯蔵温度が低いほど完全硬直に達するまでの時間が短く、-3°C区では致死後9時間で完全硬直に達した。0°C区では致死後18時間、5°C区では致死後30時間で完全硬直に達した。しかしながら10°C区では完全

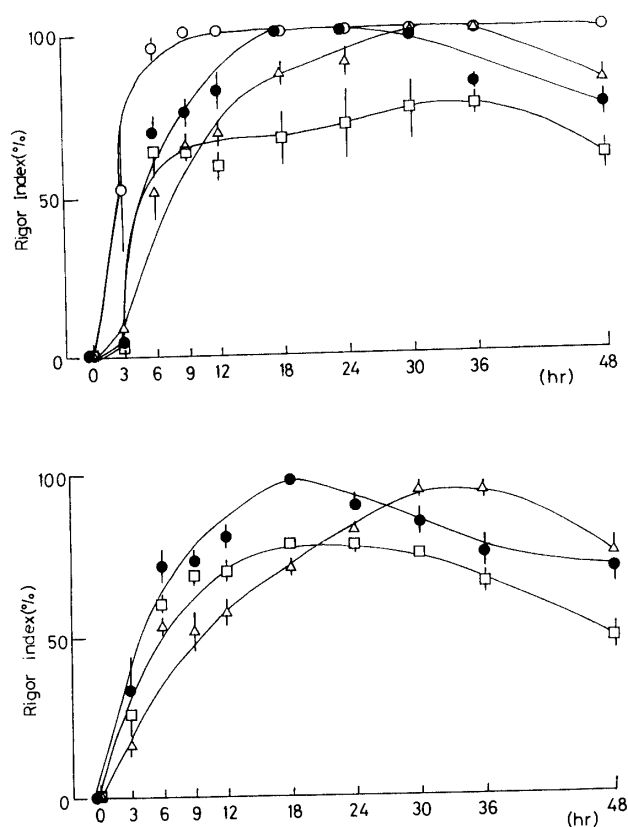


Fig. 1. The effect of storage temperature on changes in the progress of rigor-mortis of chub mackerel. Upper figure shows the result of the experiment in winter, and lower figure shows that in summer.

Each point represents the mean \pm standard error.

○: -3°C, ●: 0°C, △: 5°C, □: 10°C

硬直状態に達することはなく、致死後30~36時間後に最大硬直に達した。-3°C区以外では致死後48時間までに解硬が始まっていたが、-3°C区では致死後48時間まで硬直指数は100%であった。これは、硬直したというより、凍結状態になっていたためであると考えられた。夏期実験においても0°C区の硬直が最も速く、冬期と同じく致死後18時間で完全硬直に達し、その後直ちに解硬が始まった。5°C区も冬期の結果と同じく、致死後30時間で完全硬直に達した。10°C区はここでも完全硬直に達することがなかった。筋肉中のATP含量は冬期夏期ともに5°C区と10°C区の消失が遅かった(Fig. 2)。完全に消失するまでの時間は冬期と夏期との間で差が見られ、冬期では致死後48時間、夏期では致死後30時間であった。冬期の-3°C区と0°C区および夏期の0°C区では致死後18時間でほとんど消失した。IMP含量(Fig. 3)についてみると、冬期の-3°C区と0°C区では、致死後6時間で生成が始まり、致死後9時間から急激に上昇した。これに対し、5°C区では致死後18時間、10°C区では致死後12時間まではIMPは全く検出されず、その後増加して、致死後36時間ではほぼ最

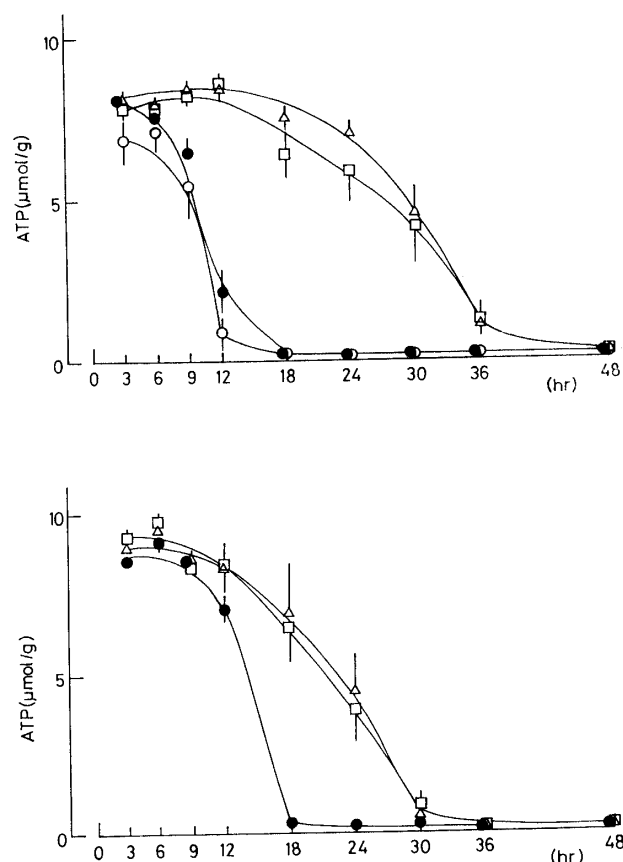


Fig. 2. The effect of storage temperature on changes in the ATP concentration in the dorsal muscle of chub mackerel.

Refer to the legend of Fig. 1 for details.

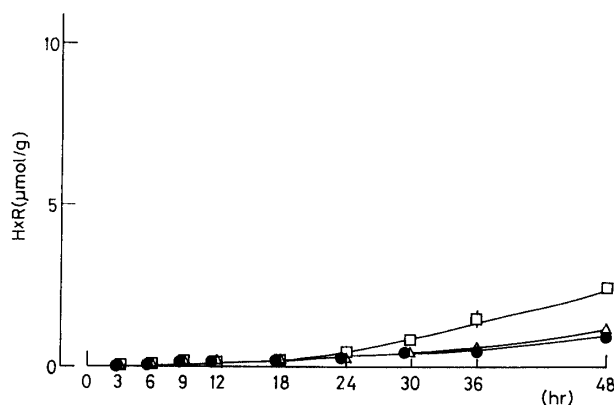
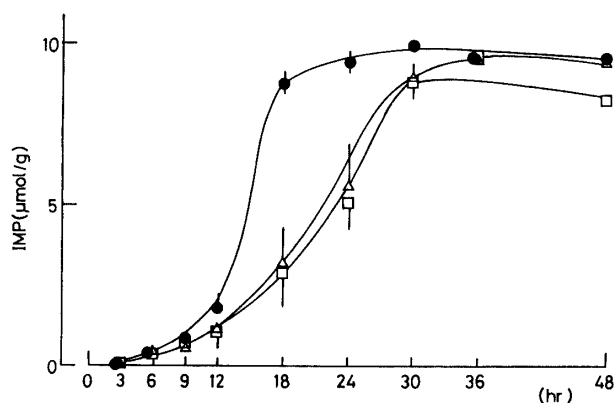
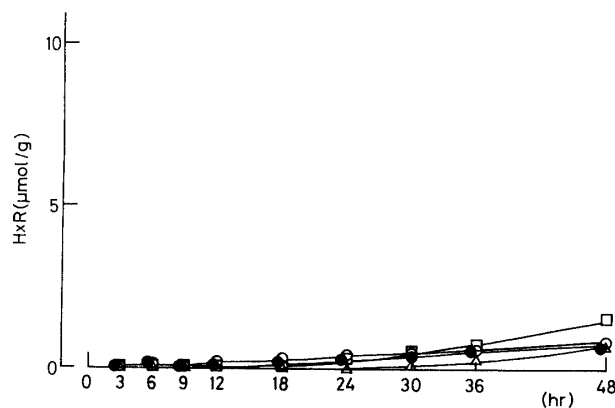
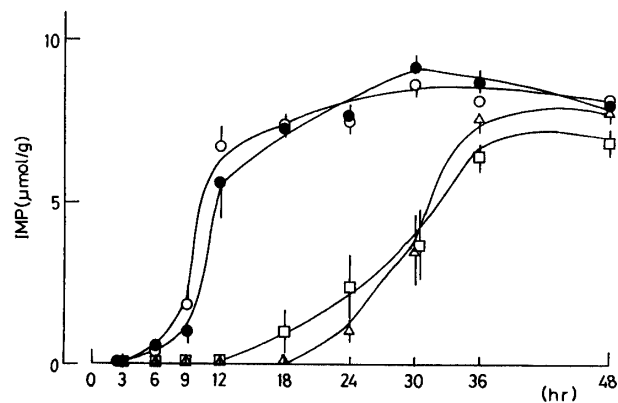


Fig. 3. The effect of storage temperature on changes in the IMP concentration in the dorsal muscle of chub mackerel.

Refer to the legend of Fig. 1 for details.

Fig. 4. The effect of storage temperature on changes in the inosine concentration in the dorsal muscle of chub mackerel.

Refer to the legend of Fig. 1 for details.

大値に達した。夏期においては、いずれの区も致死後6時間から生成が始まったが、その後の増加速度は0°C区が速く、5°C区と10°C区はほぼ同じ速度で増加していった。また、イノシン (HxR) 含量 (Fig. 4) についても冬期の-3°C区と0°C区では致死後3時間から検出されたのに対し、5°C区では致死後18時間、10°C区では12時間までは全く検出されなかった。夏期はいずれの区においても致死後9時間から検出され、その後の増加速度は10°C区が速く、0°C区と5°C区はほぼ同じ値で推移していった。クレアチンリン酸含量の経時変化 (Fig. 5) は冬期実験では-3°C区の値の減少が最も速く、ついで0°C区の減少が速かった。5°C区と10°C区は共に減少速度が遅かったが、10°C区の初期値は5°C区のそれに比べて低く、その差が両区の経時変化の値の差として現れていた。夏期実験においても0°C区の値の減少が最も速く、5°C区と10°C区はほぼ同じ値で減少していった。ATPとその分解物から計算したK値の経時変化をFig. 6に示した。冬期における-3°C区と0°C区は、ほぼ直線的に-3°C区の値が高い傾向をとりながら推移した。これに対し、5°C区では致死後18時

間、10°C区では致死後12時間まではその値が0であったが、それ以後は急激に上昇し、致死後48時間の値は10°C区が最も高かった。夏期においてはいずれの区の値も致死後3時間から上昇し、10°C区の値は18時間から上昇速度が他の2区より速くなり、致死後48時間の値は20%を越えていた。筋肉破断強度の経時変化をFig. 7に示した。冬期は5°C区が他の区に比べて高い値で推移した。他の3区の間にはほとんど差が認められなかった。夏期の結果は冬期ほど顕著ではなかったものの、致死後9~24時間は5°C区の値が最も高かった。

考 察

近年の消費者の活きのよい魚に対する嗜好と流通方法の進歩によって、完全硬直に達する前の魚体を遠隔地まで輸送することが求められている。マサバは死後変化が極めて速い魚種の一つであると考えられているので、マサバの死後変化について検討した報告は数少ない。Tokiwa and Matsumiya¹³⁾はマサバ筋肉の軟化速度が極めて速いことを報告し、Watabe *et al.*¹⁴⁾は死後硬直の進行が極めて速いことを報告している。また著者らは、マ

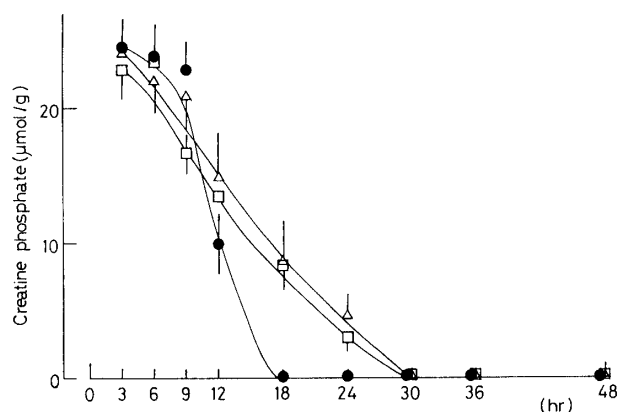
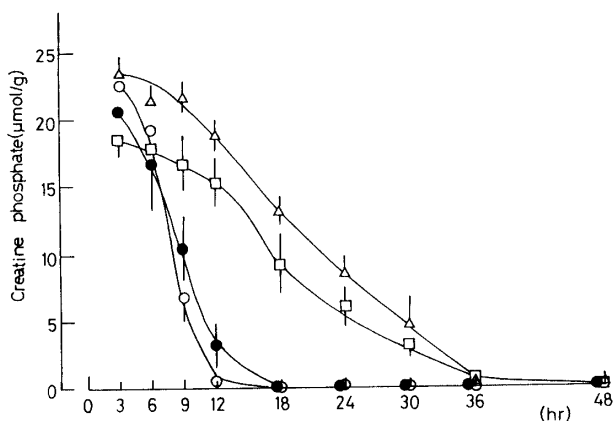


Fig. 5. The effect of storage temperature on changes in the creatine phosphate concentration in the dorsal muscle of chub mackerel. Refer to the legend of Fig. 1 for details.

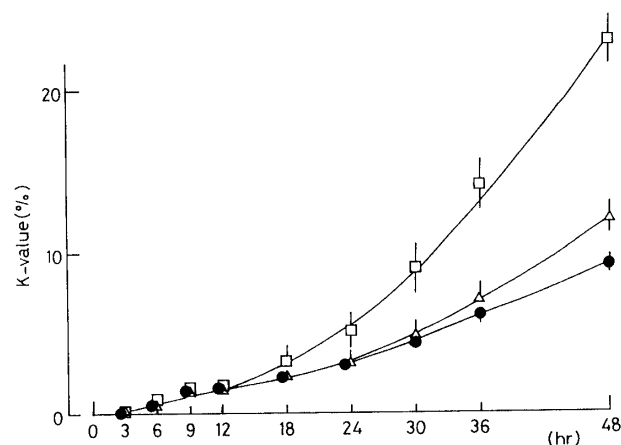
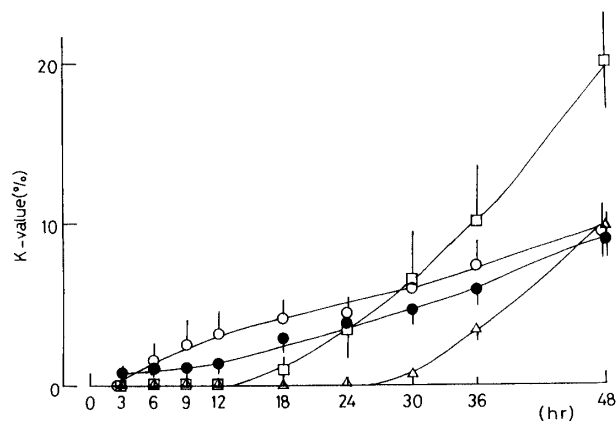


Fig. 6. The effect of storage temperature on changes in the *K*-value in the dorsal muscle of chub mackerel. Refer to the legend of Fig. 1 for details.

サバの死後変化に対する致死条件の影響を検討し、苦悶や温度ショックによって致死させたときに比べて、延髄刺殺によって致死させた場合には明らかに死後変化を遅らせることができることを報告した。¹⁰⁾ 大分県では以前から佐賀関町漁業協同組合を中心に、経験に基づいてマサバを活きのよい状態で流通させ、市場でも高い評価を受けている。致死後の魚体の貯蔵温度は死後変化の速度を制御する重要な要因であり、マダイ³⁾やヒラメ⁶⁾については詳細な検討がなされているが、マサバについての知見は全く得られていない。今回の実験では、佐賀関町漁業協同組合がマサバを出荷してから、消費者のもとへ届くまでの時間を考慮して、致死後48時間までの死後変化について明らかにすることにした。また、魚体の死後変化は魚の生息水温と貯蔵温度との関連を考慮する必要があると考えられることから、冬期と夏期についてそれぞれ検討することとした。まず、冬期の実験において、貯蔵温度を4区設定して検討したところ、 -3°C で貯蔵した場合には魚体が凍結状態になり、サンプル調製時に大量のドリップが流出し、生食は不可能な状態であ

ると判断された。魚体を長期間 *K* 値の低い状態で貯蔵することに対してはこの貯蔵温度の優位性が報告されている。¹⁵⁾ しかし本研究はマサバを生食することを前提としたので、生食が不可能な条件で検討する価値は小さいと考え、夏期の実験では -3°C で貯蔵する群を設定せずに実験を行った。

死後硬直と貯蔵温度の関係については、魚種によって異なり、コイ^{16,17)}やイサキ¹⁸⁾など、低温ほど硬直が遅延するものがあることが知られているが、活けしめ流通の代表的魚種であるマダイ、ヒラメ、ブリ、マゴチ、およびイシダイについては岩本ら^{3,19,20)}によって検討がなされている。彼らの報告によれば、これらの魚種については、致死後の完全硬直到達時間とATP消失時間は 0°C で貯蔵した場合に比べて 10°C で貯蔵したときの方が明らかに遅延したことを報告している。また、田中²¹⁾はヒラメとマダイについて流通上においても 10°C で流通させることの優位性を報告している。さらにIwamoto *et al.*⁶⁾はヒラメを用いて貯蔵温度の影響を詳細に検討し、致死後 5°C で貯蔵した場合が最も死後変化が遅か

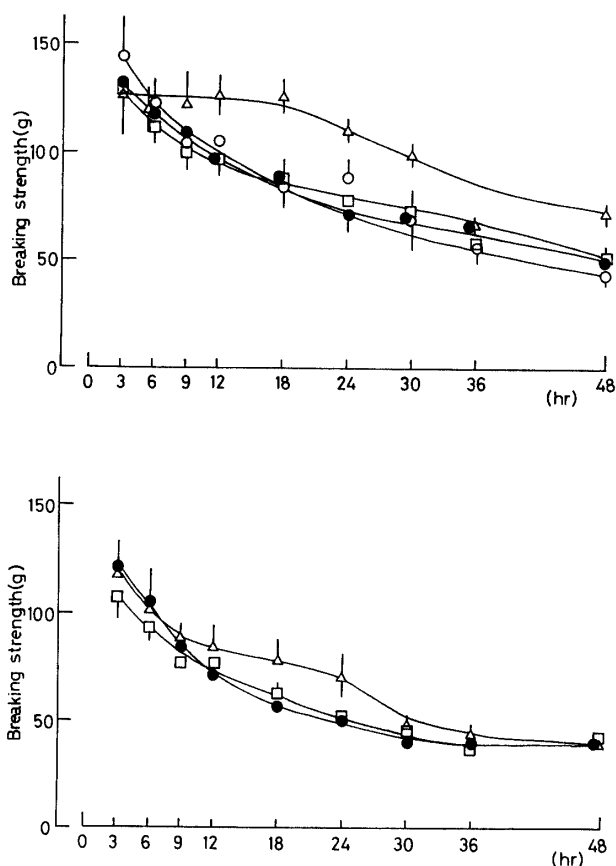


Fig. 7. The effect of storage temperature on changes in the breaking strength in the dorsal muscle of chub mackerel.

Refer to the legend of Fig. 1 for details.

ったとしている。今回の我々の結果から、マサバも0°Cで貯蔵した場合には硬直の進行速度や筋肉中のATP含量の減少速度が速く、5°Cまたは10°Cで貯蔵した場合に死後変化が遅くなることが明らかとなった。また、致死後の貯蔵温度が、死後硬直や筋肉中のエネルギー代謝関連物質の含量に影響を及ぼすだけでなく、刺身として食したときの歯ごたえの強さの指標となる筋肉の破断強度や K 値にも影響を与え、これらに対しては、10°Cで貯蔵するより、5°Cで貯蔵した方が適当であると考えられた。筋肉の破断強度は、魚を生食する際にその品質の評価方法として重要である。魚肉の軟化は硬直の進行とは関連がないことが明らかにされて¹²⁾以来、その機構について検討がなされている。これまでの報告によると、魚肉の軟化にはV型コラーゲンの崩壊が大きく関与していることが明らかにされている²²⁾が、V型コラーゲンの崩壊に関与する因子や条件についてはほとんど明らかにされていない。今回の実験で観察された5°Cでの貯蔵によって破断強度が高い値を維持することについては今後詳細に検討する必要がある。

今回検討したマサバの死後変化に対する貯蔵温度の影

響は基本的には漁期に関わらず同様であると考えられた。しかしながら、夏期の方が5°Cの優位性が顕著ではなかった。また筋肉ATPの減少速度や K 値の上昇速度は冬期に比べ夏期の方が速かった。魚の生息温度と致死後の貯蔵温度との関係については、Abe and Okuma²³⁾が詳細に報告している。すなわち、生息温度と貯蔵温度の差が大きいほど死後変化の速度が速いとされている。マサバが生息する海水温は当然のことながら夏期の方が冬期より高く、このことが夏期の方がマサバの死後変化が速かった理由の一つであると考えられる。

5°Cと10°Cの貯蔵温度の違いは、 K 値に対して大きな影響を与えた。すなわち、冬期においては5°C貯蔵の場合、 K 値は致死後18時間まで0であった。これはこのときまでイノシンの生成が全く認められなかったことによる。また、夏期においてはイノシンの生成は致死後9時間から認められたものの、48時間の値は0°C区の値をわずかに上回っていたに過ぎなかった。これまでの知見からは、完全硬直に達したあとの魚体は K 値の上昇を抑制するために氷蔵に切り替えた方がよいと考えられるが、出荷から48時間以内に消費する際には5°Cの状態を維持しても何ら差し支えないものと考えられる。しかしながら10°Cで貯蔵した場合には冬期夏期ともに致死後48時間に20%程度に達しており、貯蔵途中に氷蔵に切り替えることが必要になるものと思われる。以上のように、マサバを即殺後、5°Cで貯蔵することによって、活きのよい状態を維持し、刺身として食したときの強い歯ごたえを維持することが可能になると考えられた。

文 献

- 1) 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. 日本誌, **56**, 1673-1678 (1990).
- 2) M. Ando, A. Banno, M. Haitani, H. Hirai, T. Nakagawa, and Y. Makinodan: Influence on post-mortem rigor of fish body and muscular ATP consumption by the destruction of spinal cord in several fishes. *Fisheries Sci.*, **62**, 796-799 (1996).
- 3) 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. 日本誌, **51**, 443-446 (1985).
- 4) T. Nakayama, T. Toyoda, and A. Ooi: Delay in rigor mortis of red sea-bream by spinal cord destruction. *Fisheries Sci.*, **62**, 478-482 (1996).
- 5) 岩本宗昭, 山中英明, 渡部終五, 橋本周久: 天然および養殖ヒラメの死後硬直の進行の比較. 日本誌, **56**, 101-104 (1990).
- 6) M. Iwamoto, H. Yamanaka, S. Watabe, and K. Hashimoto: Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice muscle. *J. Food Sci.*, **52**, 1514-1517 (1987).
- 7) 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. 日本誌, **60**, 125-130 (1994).
- 8) 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).
- 9) 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).
 - 10) 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).
 - 11) 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. 東海水研報, **109**, 89-96 (1983).
 - 12) M. Ando, H. Toyohara, Y. Shimizu, and M. Sakaguchi: Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1165-1169 (1991).
 - 13) T. Tokiwa and H. Matsumiya: Fragmentation of fish myofibril. Effect of storage condition and muscle cathepsin. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **35**, 1099-1109 (1969).
 - 14) S. Watabe, H. Ushio, M. Iwamoto, M. Kamal, H. Ioka, and K. Hashimoto: Rigor-mortis progress of sardine and mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 1833-1839 (1989).
 - 15) 内山 均, 江平重男: 水産物のパーシャルフリージング貯蔵法. 「魚の低温貯蔵と品質評価法」(小泉千秋編), 恒星社厚生閣, 東京, 1986, pp. 96-105.
 - 16) 齊藤恒行, 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).
 - 17) 齊藤恒行, 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-IV. 鯉肉中の creatine phosphate に及ぼす貯蔵温度の影響について. 北大水産彙報, **8**, 51-53 (1957).
 - 18) 山本常治, 野口栄三郎: 漁獲物の鮮度保持に関する研究-VIII. 魚の死後硬直におよぼす放置温度の影響. 日水研報, **13**, 119-125 (1964).
 - 19) M. Iwamoto, H. Yamanaka, H. Abe, H. Ushio, S. Watabe, and K. Hashimoto: ATP and creatine phosphate breakdown in spiked plaice muscle during storage, and activities of some enzymes involved. *J. Food Sci.*, **53**, 1662-1665 (1988).
 - 20) 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).
 - 21) 田中武夫: 流通条件と市場価格-10°C 流通と 0°C 流通の比較テスト, 「魚類の死後硬直」(山中英明編), 恒星社厚生閣, 東京, 1991, pp. 103-116.
 - 22) K. Sato, M. Ando, S. Kubota, K. Origasa, H. Kawase, H. Toyohara, M. Sakaguchi, T. Nakagawa, Y. Makinodan, K. Ohtsuki, and M. Kawabata: Involvement of type V collagen in softening of fish muscle during short-term chilled storage. *J. Agric. and Food Chem.*, **45**, 343-348 (1997).
 - 23) H. Abe and E. Okuma: Rigor-mortis progress of carp acclimated to different water temperatures. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 2095-2100 (1991).