

# 海水水氷を用いたマダイの冷却手法について

的場 達人  
(研究部)

## Cooling technique of Red-Sea-bream used seawater with ice

Tatsuhito MATOBA  
(Research Department)

マダイは筑前海の主要魚種で、その漁獲量は年間1000トンを上回り、様々な漁法で漁獲されている。これまで福岡県では資源管理型漁業の推進によりマダイ資源は回復傾向にあるが、一方、市場では養殖魚を含めた供給過多や景気の低迷により単価が低迷している。しかしながら大型マダイでは品質による価格差が大きく、高鮮度出荷取扱マニュアルの確立が重要な課題となっている。市場でマダイは色彩、肥満度、スレ、眼球の白濁等で評価されるが、鮮度を示す指標として死後硬直の度合いが多く用いられている。セリ時点で硬直前の高鮮度なものは活魚並の単価(2,500~3,500円/kg)で取引されている。硬直を遅延し旨味を長時間保つための適正温度については岩本ら<sup>1)</sup>により5~10℃であると報告されている。

しかし、実際、市場でマダイの腹腔内温度を測定した結果は15~16℃と高く、鮮度保持に適切な温度まで冷えていない事例が多い。特にタイ1そうごち網等が主対象とする1~6kgの大型マダイの多くは、通常、上氷で出荷され、体表は冷えているが中心部では温度が高いまま保存されていた。

そのようななか、一部の漁業者では、活けしめ直後に魚体を海水水氷(海水を淡水水氷で冷やしたもの)に浸漬する冷却処理を実施している。その効果は、的場ら<sup>2)</sup>が神経抜を施した1kgマダイでの試験により、海水水氷処理で約8時間硬直が遅延され、3.1倍の鮮度保持効果があったと報告している。しかし、小型魚では過度に冷やしすぎたり、大型魚では中心部が適正温度に冷えた時に、体表は既に適正温度以下になってしまう等、魚体サイズ別の適正な冷却手法(処理時間)等が明らかにされていないため、冷却方法の改善を躊躇する漁業者が多い。

今回、適正な冷却方法を明確にし、鮮度保持マニュアルの一部として漁業者に普及するため試験を実施したので、その結果を報告する。

## 方 法

### 1 冷却手法別の魚体温降下試験

#### (1) 供試魚の魚体測定方法

供試魚の体表と魚体中心部に温度記録計(TandD社製のおんどとり TR-7)のセンサーを埋め込み、開始時から原則として1分毎に体温を計測した。体表温度は、体皮と筋肉の間にセンサーを埋め込んで固定し、海水や外気等の進入を防ぐため体表の隙間をシリコンで塞いだ。魚体中心部のセンサーは、体幅が最も大きくなる部位に脊椎骨に達するまで穴を開け、そこにセンサーを埋め込んだ後、シリコンで塞いだ。各試験に用いた供試魚の全長、体長、体重は表1のとおりであった。

表1 冷却手法別温度降下試験の供試魚

試験区	BW (kg)	TL (cm)	BL (cm)
①海水水氷区	0.87	38.0	33.1
②上氷区	0.87	38.0	33.1
-----			
①冷凍区	0.80	40.2	32.8
②冷蔵区	0.84	38.6	32.8
③海水水氷区	0.87	38.0	33.1

#### (2) 海水水氷と上氷を用いた冷却試験

海水水氷区は、10Lの海水に5~10kgの真水氷を投入して水温を-0.8~-1.9℃に維持し、その中に供試魚全体を浸漬して経過時間毎の魚体温を計測した(図1)。上氷区はトロ箱に供試魚を静置しパーチを被せ、その上から5kgの真水氷を載せて計測を行った。

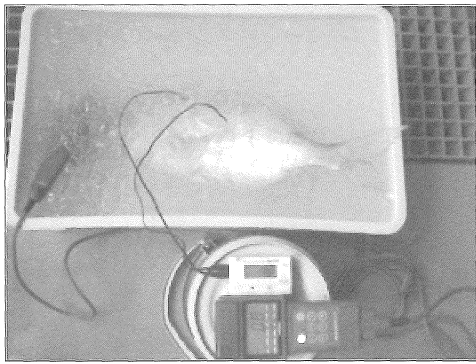


図1 海水水氷処理と体温測定の状態

(3) 冷凍及び冷蔵庫を用いた魚体冷却試験

冷蔵庫区の供試魚は、庫内温度を5℃に設定した冷蔵庫内にトロ箱に入れた供試魚を静置し計測を行った。同様に冷凍庫区も庫内温度を-30℃に設定した冷凍庫内にトロ箱に入れた供試魚を静置し経過時間毎の計測を行った。対象区として海水水氷区を設定し、同時に試験を行った。ただし冷蔵庫区については、温度の降下速度が比較的遅かったので9分経過後からは、5分間隔で計測を行った。

2 海水水氷を用いた魚体サイズ別冷却試験

海水水氷区に表2に示したサイズ別の供試魚を10Lの海水に5~10kgの真水氷を投入して水温を-1.9℃に維持し、その中に魚体全体を浸漬して経過時間毎に計測を行った。試験は2回行い、サイズ別に経過時間毎の平均値を求めた。

表2 サイズ別冷却試験の供試魚

試験区	BW (kg)	TL (cm)	FL (cm)	BL (cm)
0.2 kg区	0.22	22.1	19.7	17.9
0.5 kg区	0.53	33.6	30.1	26.2
0.6 kg区	0.64	34.3	29.6	26.8
1 kg区	1.03	44.0	38.9	34.5
2 kg区	2.02	53.6	46.7	41.6
3 kg区	2.72	57.4	50.1	45.4
4 kg区	4.06	60.8	60.1	55.2

結 果

1 冷却手法別温度降下試験

(1) 海水水氷と上氷による魚体の冷却状況

試験開始時の温度は、両試験区ともに魚体表の温度(以下体表温度)、魚体中心の温度(以下中心温度)のいずれも23℃であった。(図2)海水水氷区は体表、中心温度ともに試験開始直後から急速に下がり始め、体表は開始11分後、中心は17分後に10℃に達した。その後も

下がり続け7.5℃に達した時間は、体表が16分、中心が23分とほぼ同程度の経過時間で温度が降下した。

上氷区は、体表、中心温度とも試験開始直後から緩やかに下がり始め、体表は開始18分後10℃に達した。中心が10℃に達したのは60分後で、この時体表は4.4℃と5℃以下になっていた。その後さらに両方とも緩やかに温度は下がり続け中心が7.5℃に達した95分後、体表は2.8℃であった。海水水氷区は上氷区と比較して、体表と中心の温度格差は11倍も小さく、またその冷却速度は1.5~4.1倍も速いという結果になった。

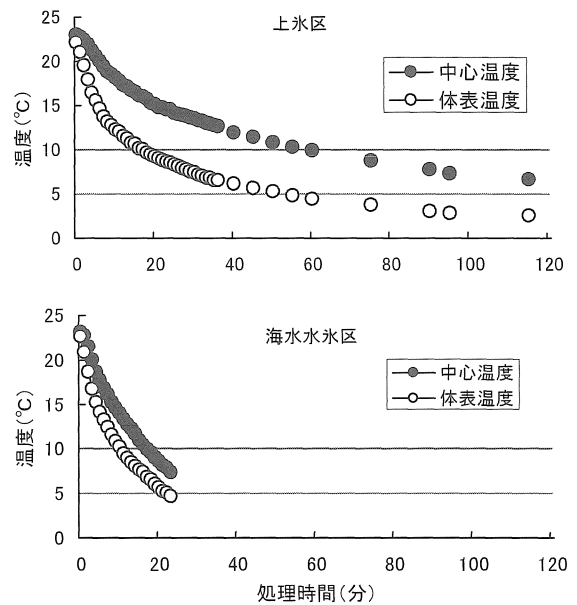


図2 冷却手法別の魚体表と中心部の温度格差

(2) 冷凍・冷蔵による魚体の冷却状況

試験開始時の中心温度は、両試験区ともに20℃とした。冷凍庫区では試験開始直後から急速に下がり始め18分後に10℃に達したが、その際体表は既に凍結していた。また、対象とした海水水氷区では14分後に10℃に達しており、冷却時間も海水水氷の方が速いという結果になった。一方、冷蔵庫区の中心温度は緩やかに降下し10℃に達するのは45分後であった。(図3)

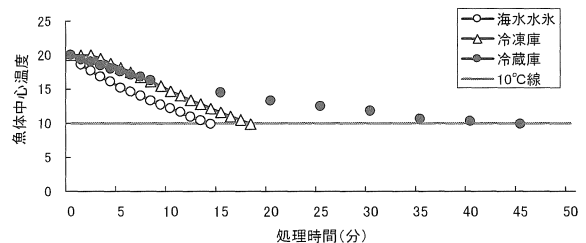


図3 冷凍・冷蔵処理における中心温度

## 2 海水水氷を用いた体重別の冷却試験

各体重別の中心温度の冷却結果は図4に示すような体重別の指数曲線で表された。

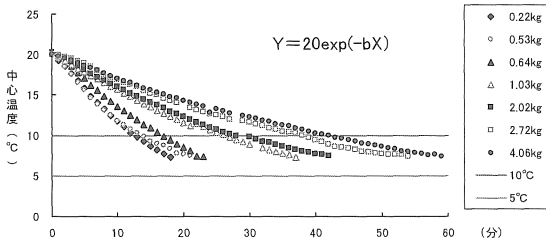


図4 体重別の冷却試験結果

ニュートンの冷却法則によると周囲の温度  $T_a$  が一定ならば、物体の温度  $T$  とその周囲との温度差  $(T - T_a)$  は、物体の冷却速度  $dT / dt$  に比例するとされている。その物体の持つ伝熱定数を  $k$  とすると次式に示すとおりとなる。

<ニュートンの冷却法則>

$$dT / dt = -k(T - T_a)$$

- T : t時の物体温度
- $T_a$  : 周囲の温度
- t : 冷却時間
- k : 伝熱定数

この微分方程式を変数分離して積分する。

$$\int 1/(T - T_a) dT = (-k) \int dt$$

したがって、

$$\log_e |(T - T_a)| + C_0 = -kt$$

ここで右辺に移項した積分定数  $-C_0$  を  $C_1$  として、さらに次のように変換する。今回の場合、 $(T - T_a)$  は常に正となる。

$$T - T_a = e^{(-kt + C_1)} \\ = e^{(-kt)} e^{C_1}$$

ここで  $e^{C_1}$  を  $C$  とし、右辺に移項する。

$$T = T_a + C e^{(-kt)} \quad \text{---①式}$$

積分定数  $C$  を体重別冷却試験の初期条件、 $t=0$ ,  $T_0 = 20$  ( $T_0$ :  $t=0$ 時の温度),  $T_a = -1.9$ から求める。

$$C = T_0 - T_a = 21.9$$

この値を①式に代入する。

$$T = T_a + 21.9e^{(-kt)}$$

$k$  を求める式に変換すると

$$k = -\log_e ((T + 1.9) / 21.9) / t \quad \text{---②式}$$

伝熱定数  $k$  は、物体の体積や形状により異なるため、今回の体重別冷却試験の結果から、 $T_a = -1.9^\circ\text{C}$ ,  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ,  $T = 10^\circ\text{C}$ , 冷却時間  $t$  (分) を代入することにより、体重別の  $k$  を求めた(図5)。この結果から  $k$  と体重の関係を示す③式を得た。

$$k = -0.012 \log_e (w) + 0.0293 \quad \text{---③式}$$

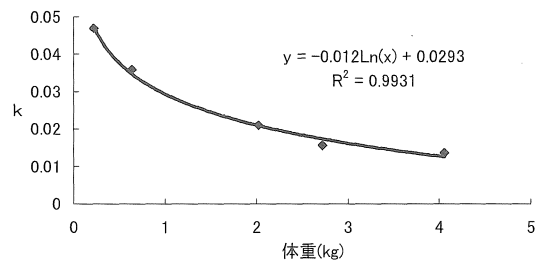


図5 マダイ体重と比例定数kとの関係

## 考 察

これまで、魚介類の適正な貯蔵温度については、岩本らがマダイ、ヒラメ<sup>1)</sup>、ケンサキイカ<sup>2)</sup>、嶋内らがマアジ<sup>4)</sup>、石原らがカレイ類<sup>3)</sup>で報告されているが、冷却手法別の効果について詳細に調べた記録はない。

死後硬直は、魚の死後、筋収縮エネルギー物質であるATPが分解されてIMP(いわゆる旨味成分)となり、さらに分解されていく過程と連動しており、ATPが完全に分解した時に魚体が完全に硬直する。その後IMP量が最大になるため、ATPが分解される時間をできるだけ遅延することで、最終消費者に漁獲物が渡るまでその旨味を保つことができる。市場での評価もそれを意味しており、仲買は硬直の進行度合いをみながら、セリ値を決める基準としている。<sup>1)</sup> そのATPaseの活性を抑えるための温度帯は5~10°Cといわれており、それより高すぎても低すぎても旨味成分の分解が促進されてしまう。

マダイの冷却手法別の温度降下試験の結果、海水水氷区、冷凍庫区、上氷区、冷蔵庫区の順に早く冷えるという結果になった。最も早い海水水氷区と最も遅い冷蔵庫区では約3倍の差がみられた。

次に、冷却速度が、ほぼ同じであった海水水氷区と冷凍庫区の表面温度と中心温度の変化を比較すると、冷凍

庫区では中心温度が10℃に達したとき、魚体表面に凍結がみられたことから、魚体表面付近では5℃をはるかに下まわっていた。同様に上氷区においても中心温度が10℃を下まわった時、表面温度は5℃以下になっていた。

これらのことから、ATPazeの活性を抑制するため魚体を速やかに10℃以下に冷却し、且つ5℃以下にならないようにするためには海水水氷による冷却手法が最も効果的であることがわかった。この海水水氷処理は漁撈現場で実施する際、特別な器具が必要でないため現場への普及は容易であると考えられた。

一方、淡水水氷（淡水に淡水氷を入れたもの）への浸漬という手法も考えられるが、林ら<sup>9)</sup>によると体表の色素顆粒の凝集に塩化カリウム等の濃度が関係していることが報告されており、高濃度ほど赤みが強くなるということから、塩分のない淡水水氷に漬けるのは体表が白くなるおそれがあり適当でない。また、魚体との浸透圧の関係から、スレ傷等から脱水が起こるおそれがある。

冷却速度が速いということは、小型魚では冷やしすぎたり、大型魚でも適正時間以上漬け込みすぎて、却って死後硬直を進行させてしまうため、今回、①式をtを求める式に変換し、kに③式を代入して、任意の体重のマダイを、任意の温度から適正温度まで冷却するのに必要な海水水氷への浸漬時間を求める式を得た。

<式>

$$t = \frac{-\log_e \left( \frac{(T - T_a)}{(T_o - T_a)} \right)}{-0.012 \log_e (w) + 0.0293} \quad \text{---④式}$$

- T : t分後のマダイの中心温度
- To : 開始時の中心温度
- Ta : 周囲の温度（海水水氷の温度）
- t : 冷却時間
- k : マダイの伝熱定数

この式をもとに漁業現場において利用しやすくするため、入数別の適正時間を算出した。マダイ入数別の平均体重から適正冷却時間を算出した例は、表3のとおりであった。つまり入数に応じた時間冷却し、箱詰後、保湿のためパーチを被せ、四隅に少量氷を置き、5℃の冷蔵庫で保冷する手法が最適であると考えられた。

また、海水水氷による体表と中心部での温度格差を図6に示したが、大型の2kgでも格差は2℃以下、小型の220gではほとんど差がみられなかった。このことから、中心部を10℃まで冷却しても体表付近が適正温度以下になることはあまりないと考えられた。

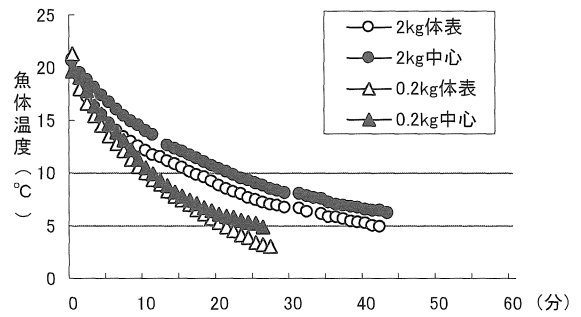


図6 海水水氷による体表と中心部の温度格差

表3 入数別のマダイの冷却時間（24℃→10℃）

入数	体重 (kg)	冷却時間 (分)
1	6	100
1	5	78
1	4	61
1	3	48
2	2	37
6	1.2	29
8	1.0	27
10	0.8	24
15	0.4	19

以上が、今回の活けしめ直後の冷却手法についての報告である。今後、海水水氷への浸漬時間を表3のような早見表にまとめて、漁業者への普及をすすめていきたい。大型マダイの取扱手法については、前に報告した活けしめ時の「神経抜」<sup>2)</sup>や、現在、研究中である船槽内等での活魚手法の改善などと今回の報告をあわせて、鮮度保持マニュアルとしてまとめていく。

これらの指標はマダイを漁獲する多種多様な漁業種類において利用可能である。また、海水水氷の有効性は他の魚種でも同様と考えられるため、今後、適正な浸漬時間を魚種毎に調べていく必要があると考えられた。

## 要 約

- 1) マダイの冷却手法別の温度降下試験の結果、海水水氷区、冷凍庫区、上氷区、冷蔵庫区の順に早く冷えるという結果になった。最も早い海水水氷区と最も遅い冷蔵庫区では約3倍の差がみられた。
- 2) ATPazeの活性を抑制するため魚体を速やかに10℃以下に冷却し、且つ5℃以下にならないようにするためには海水水氷による冷却手法が最も効果的

あることがわかった。

- 3) 任意の体重のマダイを、任意の温度から適正温度まで冷却するのに必要な海水水氷への浸漬時間を求める式を得た。ニュートンの冷却法則を応用し、マダイの伝熱定数  $k$  を体重別の冷却時間の実測値を用いて求めた。
- 4) 漁労現場への普及のため、マダイ入数別の平均体重から適正冷却時間を算出し、一覧表にまとめた。
- 5) 今後、様々な条件下での海水水氷への浸漬時間を早見表にまとめて、漁業者への普及をすすめていきたい。

## 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;51:443-446 (1995)
- 2) 的場達人・秋元聡・篠原満寿美：1 そうごち網で漁獲されたマダイの神経抜及び温度管理による鮮度保持効果について. 福岡水技研報;13, 41-45 (2003)
- 3) 岩本宗昭・山根玲子：ケンサキイカの死後変化に関する研究. 水産物の利用に関する共同研究, 32, 48-55 (1992)
- 4) 嶋内潤・白木信彦・浅原充男：中型まき網で漁獲されるマアジ刺身商材向け保存温度の検討, 水産物の利用に関する共同研究, 32, 168-171 (1992)
- 5) 石原成嗣・小村治男・井岡久：島根県沖合いのカレイ類の死後変化-I, 水産物の利用に関する共同研究, 32, 164-167 (1992)
- 6) 林茂群・潮秀樹・大島敏明・山中英明・小泉千秋：養殖マダイ色素顆粒のカリウム凝集に対する温度の相乗効果, 日水試, 64(2), 280-285 (1998)