原著論文

スラリーアイスを用いたハタハタの効率的な冷却と移送

志村　健*

Cooling of sandfish *Arctoscopus japonicus* with slurry- ice

Tsuyoshi SHIMURA

The conventional refrigeration method using cooled sea water fails to cool off sandfish (*Arctoscopus japonicus*) sufficiently, resulting in the rapid loss of freshness. A cooling method using slurry- ice was attempted in order to maintain the freshness of sandfish.

Storage of fish in slurry- ice (-2.6°C) decreased body temperature more rapidly than the conventional approach.

The freezing point of sandfish was found to be -0.6°C. Below this temperature, the freezing of eye- balls and the body was observed in high salinity (3.1%) and medium salinity (2.0%) of slurry- ice. The cooling efficiency of using slurry- ice was affected by its salinity, the ratio of fish volume to that of slurry- ice, and the body temperature of the fish itself. Further study on the practical application of slurry- ice is required.

キーワード：スラリーアイス，ハタハタ，冷却，魚体温度
2014 年 11 月 25 日受付　2015 年 6 月 4 日受理

底びき網漁船で漁獲された魚は，漁獲直後に冷海水を用いて初期冷却した後，選別し砕氷とともに発泡スチロール箱に詰めて冷蔵魚艙に収容されている（石原 2005，原田 2006，宮嶋ら 2008）。魚の鮮度保持には可能な限り早急に魚体を低温域まで冷却するのが有効であるが，海水温と気温が高い時期の漁獲物は魚体温度が上昇しやすい（原田 2006）。海水温と気温が高い時期に漁獲されるハタハタ *Arctoscopus japonicus* は，冷海水で冷却しても魚体温度が充分に降下しないため（原田 2006），鮮度が低下し低い単価で取引される。魚体温度 15°C のハタハタを 2°C の冷海水に浸漬しても最速でも 10 分間で魚体温度は 7°C まで降下する程度である（原田 2006）。

近年，漁船や市場で使用されるようになってきたスラリーアイス（以降 SI とする）はシャーベット氷やフローアイスとも呼ばれ，0.1mm 程度の球状の氷が混ざった液体で，原水には海水や塩化ナトリウム水溶液が使用される（児玉 2005）。SI は氷が溶ける際に発生する潜熱が大きいので，冷海水よりも早く魚体を冷却できる（宇野 2005）。

鳥取県の沖合底びき網漁船は冷却効果が高い SI の導入を検討している。しかしながら，SI でどのように冷却すればよいかなどの情報が不足している。例えば，SI の状態によっては魚体の冷却が不十分であったり，魚体が凍結してしまうことがあり，使用法を間違えるとかえって悪い効果が得られる場合もある（宇野 2005）。

SI の物理的性状は，温度，塩分及び氷の含有率の 3 要素で決定される（児玉 2005，表 1）。氷の含有量は，Ice Packing Factor（IPF）という値が用いられる。IPF とは，SI 全体の質量に対する氷の質量の比を百分率で表したものである。IPF はメスシリンダー等に SI を入れて上層の氷層と下層の海水層の割合を調べることで近似的に知ることができる（児玉 2005）。SI の塩分と IPF によって SI 全体の液温は表 1 のように変化する。液温が低い SI を用いれば魚体は早く冷却されるが，液温が魚体の

*　鳥取県水産試験場
〒 684-0046　鳥取県境港市竹内団地 107
Tottori Prefectural Fisheries Experimental Station,
107 Takenouchidanchi, Sakaiminato, Tottori 684-0046, JAPAN
simura-tu@pref.tottori.jp
現所属：鳥取県農林水産部水産振興局水産課

凍結温度よりも低いと凍結する恐れがある（宇野 2005）。そのため，各種条件の SI を用いて魚体を冷却し，冷却の速度及び凍結の有無を明らかにすることが重要となる。

表 1. スラリーアイスの塩分，IPF と液温の関係（児玉 , 2005）

塩分	IPF(%)					
	50	40	30	20	10	0
3.5	-4.5	-3.7	-3.2	-2.8	-2.5	-2.2
3.1	-3.8	-3.2	-2.7	-2.4	-2.1	-1.9
2.5	-3.2	-2.6	-2.3	-2.0	-1.8	-1.6
2.0	-2.5	-2.1	-1.8	-1.2	-1.1	-1.0
1.5	-1.9	-1.6	-1.4	-1.2	-1.1	-1.0
1.0	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6

（表中の数字は塩分／単位：%，温度／単位：°C）

鳥取県の底びき網漁船では冷蔵魚艙に収容した漁獲物が入った発泡スチロール箱を人手によって水揚げしている。SI は製氷機に付属するポンプを用いて保冷タンクへ直接供給することが可能である。甲板上の保冷タンクの中で SI に浸漬し冷却しておいた漁獲物を入港時にポンプを使って水揚げすることが可能になれば，選別，箱詰め，水揚げ等の船上作業の省力化につながる。
これら，冷却，水揚げにおける SI の運用方法を確立することができれば，高鮮度を維持することができ，結果として，単価の向上が期待される。本研究ではハタハタを対象魚として SI 貯蔵中の冷却効果及び鮮度変化を調べ，SI の運用方法について提案することを目的とした。さらに，SI に浸漬した漁獲物のフィッシュポンプを使用した機械的な水揚げが可能かについても検討した。

試料と方法

SI の製氷と保管　試験に用いた SI は鳥取県水産試験場内で SI 製造装置（(株）泉井鐵鋼所，シャキットミニ）を使用し調製した。本機の製氷部分は，ステンレスの二重円筒構造となっており，外側の筒と内側の筒の間に冷媒を流し，内側の壁にできた氷を刃で掻き取る仕組みになっている（松本ら 2008）。

SI 貯蔵中のハタハタの魚体温度変化　魚体の冷却不足と凍結は鮮魚出荷において商品価値を低下させる原因となるため，ハタハタを SI 中で貯蔵した場合の魚体温度がどれくらい早く冷却されるか，及びその時に魚体が凍結しているかどうかの両者を調べた。第一鳥取丸（鳥取県水産試験場所属，199 トン）の着底トロールによって採集したハタハタ 30kg を，砕氷を入れた発泡スチロール箱に詰めて試験場に持ち帰った。以降の実験は実験室の保冷庫内（0°C 設定）で行った。供試魚を漁獲後の魚体温に近似した条件に戻すため，16°C の海水に約 1 時間放置し，試験開始時の魚体温度を 16°C にした。これら 6 個体（体長 170～175mm）を 1 個体ずつ液温 -2.6°C，塩分 2.2% の SI（IPF40%）15kg 内（SI 区）に入れて 1 分毎に 40 分まで魚体温度を計測した。また，魚体ごとの個体差を取り除くため，以上の実験に供した後，同一魚体を 16°C の海水で魚体温度を 16°C にした後，液温 -0.7°C の冷海水 15L に入れ貯蔵した（これを対照区とした）。試料を 1 個体ずつ使用したのは，多量の個体を入れることによって液温が上昇するのを避けるためである。SI の液温と魚体温度測定には 0.1°C ± 1 digit の精度のデジタル防水温度計（ASF-250T，アズワン）用いた。魚体温度は胸鰭後方の背側表皮からセンサーのプローブを筋肉内へ垂直方向に 1cm 挿入し 1 分毎に測定した（写真 1）。貯蔵実験終了後の貯蔵 40 分後に眼球の白濁の有無を肉眼的に確認した。次に，眼球が白濁した魚体の筋肉の状態を調べるため，両試験区で 40 分間貯蔵後に魚体温度，眼球の白濁の有無，及び筋肉の色調を調べた。

写真 1. 魚体温度の測定方法
魚体温度は胸鰭後方の背側表皮からセンサーのプローブを筋肉内へ垂直方向に 1cm 挿入し測定した

冷却に及ぼす SI の塩分の影響　鳥取県の沖合底びき網漁船では漁獲から水揚げまで 1 日以上かかる場合が多い。そこで，SI 中で保存することを想定して，多量のハタハタを異なる塩分の SI に入れた場合の魚体温度変化について調べた。用いた試料は前のものと同じであり，保冷庫内（0°C 設定）で試験を行ったことも同じである。魚体温度が最も高くなる 9 月の漁獲を想定して，初期魚体温度を 26°C とした。設定方法も同じである。塩分 3.1%（高塩分区），2.0%（中塩分区），1.0%（低塩分区）の塩化ナトリウム水溶液を原水として SI を調製し，7.5kg（IPF30%）ずつをクーラーボックス（内寸 55cm×30cm ×27cm）に入れた。また，対照区として -0.7°C の冷海水を 7.5L 用意し，クーラーボックスに入れた。各試験

区へ用いた試料は 5kg であり，その内 10 個体に個体識別のためにタグを装着した。各試験区へ試料を移してから経時的に 10 個体の魚体温度を測定した。さらに，眼球の白濁の有無を確認した。SI と冷海水の液温を測定する際にはよく攪拌してから測定した。各試験区の試験開始時の液温は，-2.7°C（高塩分区），-1.8°C（中塩分区），-0.9°C（低塩分区）であった。

SI 貯蔵中の K 値変化　SI 冷却法と従来法である冷海水と下氷によって保冷した場合の鮮度変化を K 値を指標として調べた (Saito *et al.* 1959) 。試験は第一鳥取丸の保冷庫内（-5°C 設定）で行った。供試魚は第一鳥取丸の着底トロールによって 2010 年及び 2013 年に鳥取沖で採集した魚体を用いた。2010 年漁場海域の海底付近（水深 217m）の水温は 3.4°C，海表面水温 27.3°C，気温 27.8°C であり，魚体温度は 25.6°C であった。2013 年漁場海域の海底付近（水深 197m）の水温は 3.4°C，海表面水温 27.3°C，気温 28.7°C であり，魚体温度は 25.8°C であった。試験には塩分 2.2% の塩化ナトリウム水溶液を原水として製氷した SI15kg を用いた。SI はクーラーボックス（内寸 55cm×30cm×27cm）に入れ，試験開始までの融解を防ぐために -5°C の保冷庫で保管した。対照区の魚体は 0°C の冷海水で 40 分間冷却した後，3kg の砕氷を敷いた発泡スチロール箱（内寸 54cm×31cm×29cm）の上に保存した。これら 2 つの試験区で 10kg の試料を貯蔵した。漁獲物を入れる前の SI の液温は 2010 年，2013 年ともに -1.6°C あり，冷海水区では 0°C であった。2010 年の試験では，魚体を両試験区へ入れてから 40 分後，9 時間後，24 時間後，45 時間後に各 3 個体（体長 170～179mm）を取り出し，分析に供した。また，2013 年の試験では SI 貯蔵区から 40 分後に 5 個体，その後，24 時間後，48 時間後に両試験区から各 3 個体（体長 170～179mm）を取り出した。魚体温度測定は温度センサーのプローブを肛門から挿入し，筋肉部分に当たる場所で測定した。魚体温度を測定した後，核酸関連物質の分析の試料を調製するため，各個体の普通筋約 5g を約 2mm 角の小片にし，予め 0°C に冷却しておいた 10% の氷冷過塩素酸（PCA）10ml を加え，酵素反応を停止させ，試料は分析まで船内の冷凍庫（-60°C）で冷凍保存した。帰港後，試料を解凍後，ホモジナイザーを用いて破砕し，ATP 核酸関連化合物を抽出した。30 分静置した後 5%PCA で濾過し，濾液を KOH で pH6.5 ± 0.5 に調整した後に蒸留水で 50ml に定量して分析試料とした。分析試料を HPLC システム（(株) 島津製作所，LC-10A）に供して ATP 関連化合物を分析した (Lee *et al.* 1982)。SI 区と対照区のハタハタの K 値の変化について *t*-test によって有意差検定を行った。

フィッシュポンプによる SI 中の漁獲物の移送　SI は通常の氷と異なり，ポンプでの移送が可能である。そこで，SI 中の漁獲物を船から水揚げする際にフィッシュポンプが使用できないか検討した。移送試験に用いたフィッシュポンプ（(株) 共栄造機, NR630-S-AC-6B シングル型）の原理は，本体のタンク内を真空ポンプで負圧にして水と魚を吸い込み，タンク内を正圧にする事により魚を水と共に速やかにホースで移送するものである。フィッシュポンプの本体タンクの容積は $0.3m^3$，水のみを移送した場合の移送能力は $54\ m^3/h$ である。漁獲物を入れた保冷タンク底面から漁獲物を吸い上げるフィッシュポンプの最大高低差は約 2.5m であった。保冷コンテナ（内径縦 140cm×横 110cm×深さ 72cm）に原水塩分 1.5%，液温 -1.4°C，IPF30% の SI415kg と試験当日に境港魚市場に水揚げされたハタハタ及びアカガレイ *Hippoglossoides dupius* の混合物 300kg を用いフィッシュポンプでの移送が可能かを調べた。また，ハタハタの 60 個体（魚体長 132～203mm，平均 157mm）に個体識別可能な標識を装着し試験前後における魚体の状態を調べた。

結　果

SI 貯蔵中のハタハタの魚体温度変化　図 1 に SI と冷海水に入れた初温 16.0°C の個体のぞれぞれの魚体温度変化を示す。貯蔵 40 分後の魚体温度は SI 区では -0.8～-0.7°C，対照区では 0.5～2.4°C の範囲にあった。魚体温度を 3°C まで冷却するのに必要な時間は SI 区が 5～8 分で冷海水区では 10～32 分であった。SI 区の試料は -0.7°C まで降下した後に一度 -0.6°C まで温度上昇し再び -0.7°C で横ばいあるいは -0.8°C まで降下した。40 分後に SI 区の試料を取り上げて確認したところ，全個体の眼球が白濁していた。また SI 区（魚体温度 -0.8～-0.7°C）では眼球の白濁に加え背側筋肉の凍結が確認された（写真 2）。一方，冷海水区（魚体温度 0.3～1.5°C）

写真 2. 液温 -2.6 °C のスラリーアイス（上）と液温 -0.7 °C の冷海水（下）で 40 分間処理したハタハタ
スラリーアイスで処理したハタハタは眼球の白濁と肉の凍結（白丸で囲った部分）が認められた

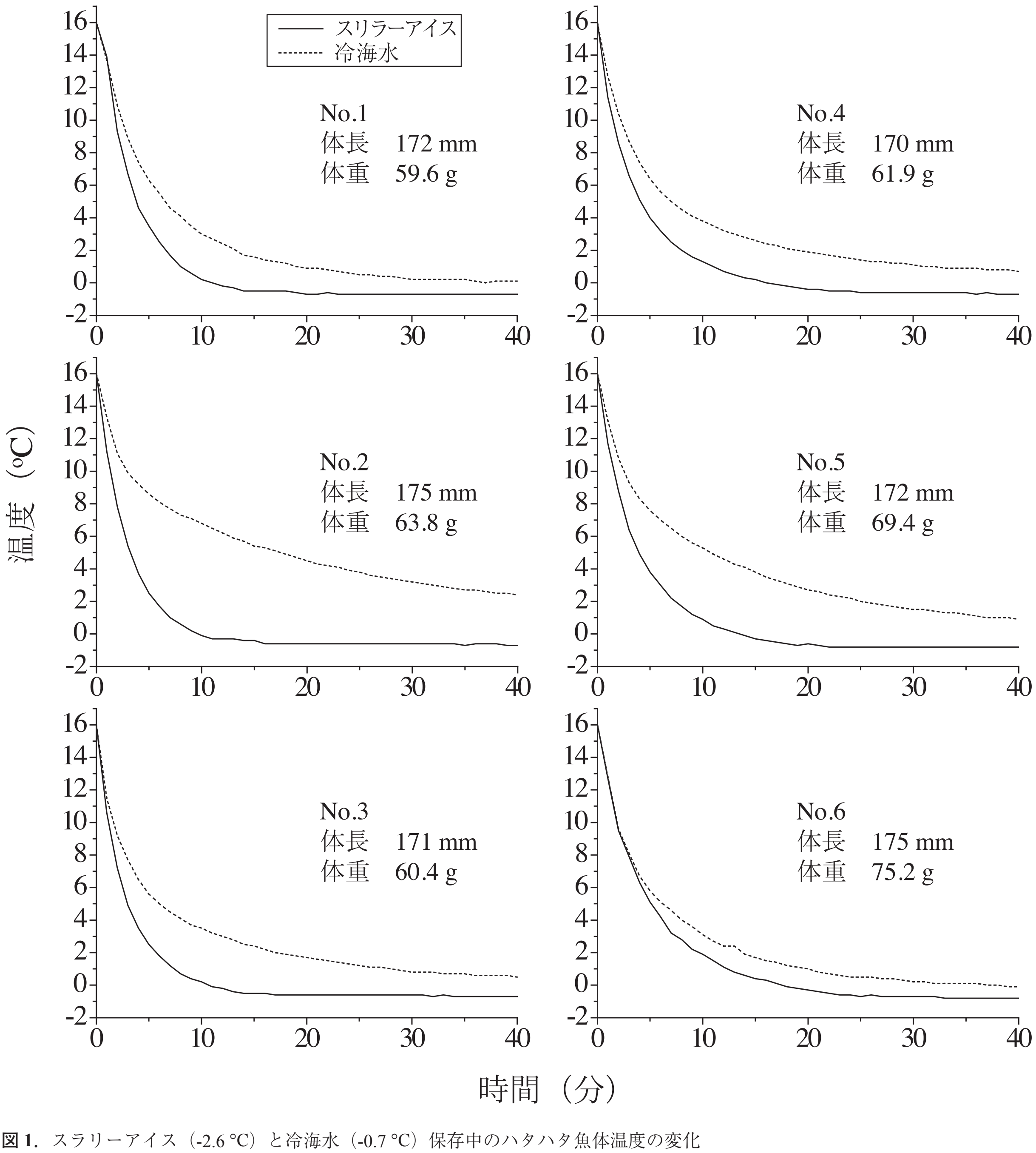

図 1. スラリーアイス（-2.6 °C）と冷海水（-0.7 °C）保存中のハタハタ魚体温度の変化
6 個体それぞれについて SI 貯蔵後に通常貯蔵を行った

では眼球の白濁や筋肉の凍結は認められなかった。

冷却に及ぼす SI の塩分の影響　図 2 に様々な塩分の SI で貯蔵した際の液温及び平均魚体温度の変化を示す。各試験区のハタハタを入れてから 30 分後の液温は高塩分区 -1.6°C，中塩分区 -1.2°C，低塩分区 -0.5°C，及び対照区では 5.1°C であった。24 時間後の液温は，高塩分区 -1.1°C，中塩分区 -0.6°C，低塩分区 -0.5°C であり，いずれの場合も表層に SI が僅かに残っている状態であった。また，対照区の液温は 2.8°C であった。

各試験区の魚体温度の変化は，高塩分区で最も早く低下し，30 分後に -0.8°C，6 時間後に -1.2°C，24 時間後も -0.9°C と三区分の中で最も低い値を示した。中塩分区は 30 分後に 0.1°C，2 時間後に最低温の -0.7°C，24 時間後は -0.6°C であった。低塩分区は 30 分後に 0.5°C，2 時間後に -0.5°C，そして 24 時間後は -0.3°C であった。冷海水を用いた対照区では 30 分後に 5.8°C，1 時間から 6 時間までは 5.6～5.8°C で推移し，22 時間後に 2.8°C に達した。

高塩分区では 30 分後に，中塩分区では 1 時間後に眼

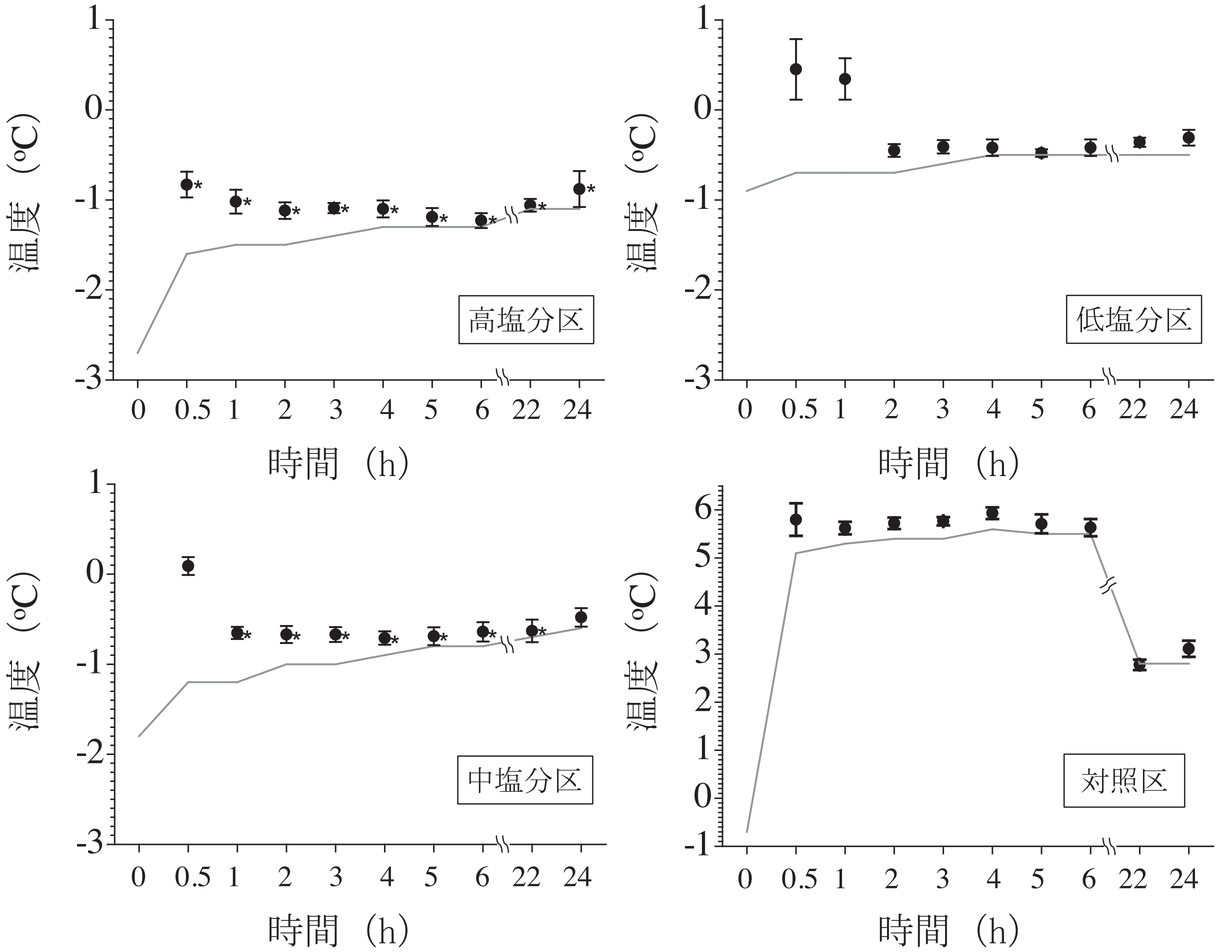

図 2. 塩分の異なるスラリーアイスと冷海水に保存した時の液温及び魚体温度の変化
●：魚体温度，—：液温　黒丸右の＊は眼球の白濁が確認されたことを表し，エラーバーは魚体温度の標準偏差を表す（n=10）

球の白濁が認められた。然し，低塩分区と対照区では全ての時間帯で白濁は認められなかった。

SI 貯蔵中の K 値変化　SI 中で保存した試料と冷海水で初期冷却した後発泡スチロール箱中で保存した対照区の魚体温度と K 値を比較した（図 3）。2010 年に実施した SI 区の魚体温度は 40 分後で 0.1°C，9 時間後で -0.4°C，24 時間後で -0.5°C，45 時間後で -0.6°C であった。対照区の個体は 40 分後で 1.4°C，9 時間後で -0.2°C，24 時間後で -0.3°C，45 時間後で -0.3°C の魚体温度を示した。2013 年の SI 区の魚体温度は 40 分後で 0.1°C，24 時間後で -0.5°C，48 時間後で -0.6°C であり，対照区の魚体温度は 24 時間後で -0.4°C，48 時間後で -0.5°C であり，SI 区の方で多少温度低下が早かったが大きな違いは認められなかった。これらの試料を用いて両区分での K 値の上昇を比較した。なるべく初期の値を求めるため，最初の測定を貯蔵 40 分後とした。2010 年の実験では SI 区の K 値は 40 分後で 22.5%，9 時間後で 42.7%，24 時間後で 40.5%，45 時間後で 72.3% であった。対照区の K 値は 40 分後で 27.1%，9 時間後で 54.9%，24 時間後で 46.7%，45 時間後で 74.9% であり，SI 区とほぼ同じ変

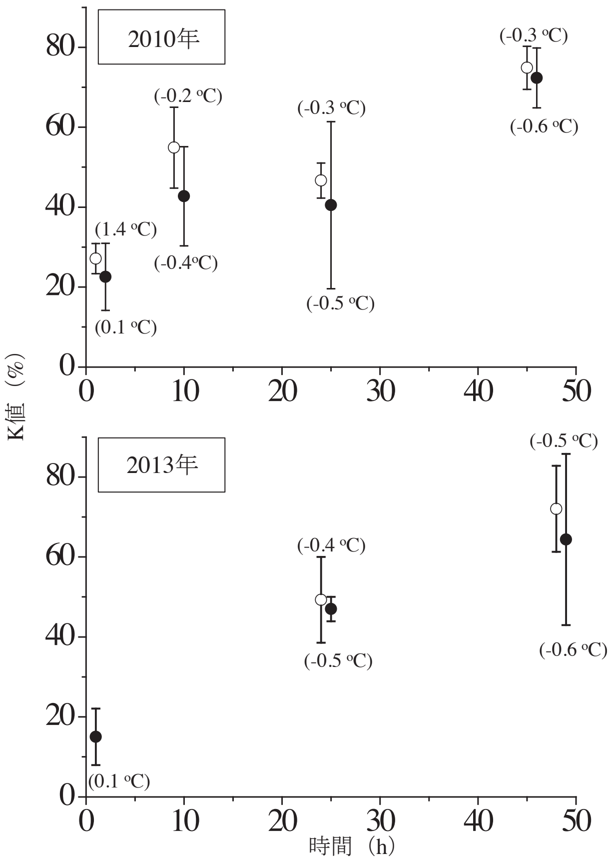

図 3. スラリーアイス及び従来法で冷却したハタハタの K 値変化
二度行った実験をそれぞれ示した
（○）：従来法保存 K 値，（●）スラリーアイス保存 K 値，
エラーバーは標準偏差
プロット上部と下部の温度は，従来方法とスラリーアイスでそれぞれ保管した魚の体温を表す

写真 3. フィッシュポンプによるスラリーアイスと漁獲物の移送試験
スラリーアイスと漁獲物が入ったタンクから別タンクへ 3 回の作動で 96% 移送された

化を示した。2013 年の場合も SI 区の K 値は 40 分後で 15.0%，24 時間後で 47.0%，48 時間後で 64.4% であり，対照区のハタハタの K 値は 24 時間後で 49.3%，48 時間後で 72.0% であった。SI 区の K 値は対照区に比べて 2.3 ～12.2% 程度低かったが，試験区間においてすべての時間帯で有意差（*t*-test）は認められなかった。

フィッシュポンプによる SI 中の漁獲物の移送　SI に浸漬した魚体をフィッシュポンプで移送できるかを検討した。本実験ではハタハタ及びアカガレイを入れた保冷コンテナからの移送を行った。1 回当たり 30 秒間のフィッシュポンプの作動を繰り返したところ，魚体を含む 0.3m^3 の SI の大部分を 3 回で移送することができた（写真 3）。この動作で保冷コンテナ底部に魚 27kg が移送されずに残ったが，それに 20L の冷海水を入れポンプを作動することで全量を移送することができた。この移送による魚体の折れ，スレの有無をハタハタ 60 個体で調べたが，損傷は認められなかった。それゆえ，SI 貯蔵は水揚げ時の魚体の移送に有効であると考えられた。

考　察

本研究の結果から SI は冷海水よりも早くハタハタを冷却することが示された。初温 16°C の魚体温度を 3°C まで冷却するのに必要な時間は SI で 5～8 分，冷海水では 10～32 分であったので通常法より半分から四分の一の時間で冷却が可能であることを確認した（図 1）。魚体の冷却に関する他の研究例では，初温 17°C マアジ（体長 160mm）を 2°C まで冷却するのに必要な時間は，SI（液温 -2.2°C）が 22 分で冷海水（液温 -0.7°C）は 36 分であった（宇野 2005）。SI の冷却効果の理由は，氷粒子が小さく魚体の接触面積が大きくなることに加え，SI の保有する冷熱量には氷が溶ける際に発生する潜熱が含まれているためと考えられている（宇野 2005）。

SI の液温は塩分と IPF によって変化するが（表 1），塩分と液温によって魚体の冷却速度も変化することが示された（図 2）。初温 26°C のハタハタを SI に入れた場合 30 分間で高塩分区 -0.8°C，中塩分区 0.1°C，低塩分区 0.5°C まで冷却されたのに対し，冷海水に入れた場合は 5.8°C までしか冷却されなかった。このことから塩分が高く液温の低い SI へ入れた方が早く冷却されるということを確認することができた。しかし，液温が低すぎる高塩分区では 30 分後から，中塩分区では 1 時間後から眼球の白濁が認められ，凍結が起きていることが推察された（図 2）。-2.6°C の SI を用いた冷却試験において（図 1），SI に入れたハタハタの魚体温度が -0.7°C まで降下した後 -0.6°C へ反転上昇した現象は過冷却と凍結に伴う温度変化であることが示唆される。-0.7°C が過冷却到達点であり，-0.6°C が魚体中の水が凍り始める凍結点であると推察される（長岡ら 1959，潮・金子 2010）。同様な魚体の凍結は液温 -1°C の SI に入れたマイワシ *Sardinops melanostictus*，キンメダイ *Beryx splendens* で報告されている（宇野 2005）。魚類の凍結温度は種類によって異なるが，海産魚類は -0.5～-2.5°C の範囲と報告されている（長岡 1959）。鮮魚としてハタハタを市場に水揚げするなら，急速な冷却と同時に，魚体が凍結しない条件設定をする必要があり，そのためには塩分の調整や魚体の比率などを考慮する必要がある。

SI に浸漬して保存したハタハタの K 値は冷海水で冷却後に下氷で保冷する従来法に比べて多少低かったものの有意差は認められなかった（図 3）。これは，本研究の貯蔵温度（魚体温度）が両者であまり差がなく，その結果，貯蔵温度に影響を受ける K 値の上昇にあまり差が認められなかったものと考えられる。

しかしながら，海水温と外気温が高い時期に漁獲されるハタハタを冷海水で冷却した場合は，初期冷却が不十分である場合が多い（図 2）。現実的に，この時期に漁獲される鳥取産のハタハタは干物等の加熱用商材の加工原料としての利用が大半であり鮮魚としての利用が期待されないのは冷却不足が原因と考えられる。SI を用いることにより魚体の冷却を行うことで鮮度を維持できれば価格の上昇が期待できる。

これまでの漁港での水揚げには，容器に入れたままで移送する方法がとられている。SI の特徴である流動性という砕氷にはない特性を用いれば，フィッシュポンプを用いて魚体を SI と一緒に移送することができるかもしれない。この場合，魚体の損傷が起こらないことが求められるが，実際のモデル試験では（写真 3），損傷は認められなかった。このことから，フィッシュポンプを用いて魚体を低温に保ったまま迅速に水揚げすることが示された。漁獲物を SI に入れたたまま帰港し，港で保冷コンテナから取り出した魚を選別及び箱詰めすれば船上作業の省力化につながると考えられる。

SI は IPF や塩分によって液温が変化するという特性に加えて，漁獲時の漁獲物の魚体温度や SI と漁獲物の比率によって冷却状況が変化する。本研究で得られた SI を用いたハタハタの冷却試験結果を参考として，さらに漁業現場での実証試験を行うことが重要である。また今後は，官能検査や微生物検査による評価を行い，SI による鮮度保持効果を確認する必要がある。

謝　辞

試験にご協力頂いた鳥取県水産試験場，第一鳥取丸，境港水産事務所の皆様，K 値測定にご協力頂いた鳥取県産業技術センターの中野陽氏，加藤愛氏，小谷幸敏氏に感謝いたします。

文　献

原田和弘（2006）日本海西部沖合底びき網漁獲物における急速冷却の鮮度保持効果．日水誌，**72**，440-446.

石原成嗣（2005）底曳き網漁獲物の鮮度保持の実態．島根水試報告，12，7-12.

児玉　修（2005）シャーベット海水氷の実力と使用方法．養殖，**4**，18-21.

Lee, E.H., Oshima T., and Koizumi C. (1982) High performance liquid chromatographic determination of K value as an index of freshness of fish, *Nippon suisan Gakkaishi*, **48**,255.

松本泰典・横川　明・宇野光世・北村和之・岩川三和．(2008) NaCl 水溶液を用いた氷スラリー製造装置による製氷能力に関する研究．*J. MMIJ*，**124**，240-244.

宮嶋俊明・伊藤光史・藤原邦浩・山崎　淳（2008）駆け廻し式底曳網で漁獲されたアカガレイの鮮度に及ぼす保存温度の影響．京都府立海洋センター研報，**30**，63-64.

長岡順吉・田中和夫．冷凍冷蔵学（1959）恒星社厚生閣，東京，458pp.

Saito, T., Arai K., and Matsuyoshi M. (1959) A new method for estimating the freshness of fish, *Nippon suisan Gakkaishi*, **24**, 749-750.

潮　秀樹・金子　元（2010）水産物の鮮度保持．「水産利用化学の基礎」(渡部終五編)，恒星社厚生閣，東京，41-54.

宇野光世（2005）スラリーアイスの漁船での応用．海洋水産エンジニアリング，**12**，29-36.