

資源・エネルギー利用技術研究

(深層水シャーベット氷による低温貯蔵技術開発研究)

漁場環境科 荻田淑彦

1 目的

近年水産分野での活用が注目されているシャーベット氷の製氷に海洋深層水を使うことにより、深層水の低温性と清浄性を生かして、食品の保存に適した清浄で衛生的な海水氷を製造することができる。

この深層水シャーベット氷を深層水汲み上げ地域において魚等食品の冷却、保存に利用する方法について研究を行って深層水利用用途の拡大を図る。

2 これまでの実施概要

H11 年度

- ・シャーベット氷の貯蔵、搬送システム、冷熱利用、特性、水産物の鮮度保持などについて文献調査と技術調査を行い、シャーベット氷による水産物の鮮度保持技術の概念設計について検討した。

H12 年度

- ・塩分濃度の異なるシャーベット氷5試験区を設定して融解時の温度を連続測定するクーラー実験を行った。その結果、シャーベット氷の塩分濃度と安定保持温度の関係は、0.8%が -0.5°C 、1.7%が -1.2°C 、2.5%が -1.7°C 、3.3%が -2.3°C であった。
- ・塩分濃度 3.3%、1.7%のシャーベット氷と水氷にマアジを浸漬するクーラー実験を行って魚体温を連続測定した。その結果、活魚投入時の冷却水温の低い方ほど冷却速度が速い傾向があった。
- ・塩分濃度 2.5%、1.7%、0.8%および0%（真水）のシャーベット氷にマアジを浸漬保存するクーラー実験を行って官能検査と食味試験を行った。この結果、官能検査結果、食味試験結果とも、評価が最も高かったのは塩分濃度 2.5%試験区で、最も低かったのは0%試験区であった。

H13 年度

- ・塩分濃度 3.3%、2.2%および1.1%のシャーベット氷を用いて、融解に伴って温度と塩分がどのように変化するかピーカー実験を行った。この結果、

融解に伴う温度と塩分の関係が明らかになった。

- ・塩分濃度 3.3%、2.2%および1.1%のシャーベット氷と水氷にマアジの活魚を浸漬するクーラー実験を行って魚体温を連続測定した。この結果、塩分濃度の高いシャーベット氷ほど冷却速度が早いことがわかった。更に、追加実験によってシャーベット氷の固形氷含有率（以下、「IPF」：Ice Packing Factor と呼ぶ）が低いと砕氷との冷却速度の差は少ないことと、水氷の温度がシャーベット氷より低い場合でも冷却速度がシャーベット氷より遅かったことから、シャーベット氷の冷却速度の早さは魚体との接触面積などの条件が影響していることがわかった。また、水氷ではマアジを浸漬した後5分以上動いたのに対しシャーベット氷の試験区では投入直後から動かなくなり苦悶死させずに鮮度低下を遅らせる効果が確認された。
- ・塩分濃度 5.0%、3.3%、2.3%および1.2%の深層海水と塩分濃度 3.0%の表層海水にマアジを浸漬し $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ で保存するピーカー実験を行った。この結果、海水の塩分濃度が 3.3%以上で眼球の白濁がみられ、魚体の色も白っぽくなった。また、塩分濃度を一定（1.3%）にして保存温度を変えた実験を行ったがこれらの外観変化は認められなかったことから、眼球の白濁と魚体の変色は、温度よりも塩分濃度に強く影響される現象と考えられた。
- ・塩分濃度 3.3%、2.2%および1.1%のシャーベット氷と水氷にマアジを浸漬して冷蔵保存（ 0°C 設定のインキュベーターまたは砕氷上）するクーラー実験を行った。この結果、塩分濃度 3.3%と2.2%のシャーベット氷区で眼球が白濁して体色が白っぽくなり筋肉・内臓の凍結が認められたが、塩分濃度 1.1%のシャーベット氷区と水氷区ではわずかに眼球白濁がみられたものの体色変化や凍結はみられなかった。このことからマアジの低温貯蔵にシャーベット氷を用いる場合は塩分濃度 1%台

のものが適していることがわかった。

3 H14 年度実施内容

(1) 深層水シャーベット氷の特性と機能性の把握 および評価

①シャーベット氷冷却特性試験

深層水と脱塩水の混合割合をかえてシャーベット氷を製造し、シャーベット氷の冷却特性試験を行った。サンプルにはマアジの活魚（活魚水槽水温 17.3℃）を用いて、水温および魚体の冷却速度を測定した。

試験区として深層水 2：脱塩水 1（試験区 1 塩分濃度 2.31%）、深層水 1：脱塩水 1（試験区 2 塩分濃度 1.20%）、一般的に使われている水氷（試験区 3 表層海水に砕いた真水氷をシャーベット氷と同重量入れる 塩分濃度 2.27%）の 3 区を設定した。

発砲スチロール製クーラー（内寸 180×345×165 mm）にそれぞれシャーベット氷および水氷を入れ、生きたマアジを投入し、肛門から温度計のセンサ（針状）を魚体中心部に刺し 10 秒間隔で魚体温度を測定記録し、水温はオンセット社のロガーで冷却水上部

および下部水温を測定した。

クーラー内の冷却水温の変化（図 1）をみると、クーラー下部でサンプル投入後 60 分間に試験区 1 は-1.6~-1.3℃、試験区 2 は-0.8~-0.7℃、試験区 3 は-0.7~-0.4℃となっているが、試験区 2 の水温変化が最も少なく、試験区 3 が大きくなっている。試験区 1 は魚体温測定後に魚を取りだしたところ凍りかけた状態であった。また、魚体温の変化（図 2）は、1℃になるまでの時間をみると、試験区 1 が 11.5 分、試験区 2 が 15.0 分、試験区 3 が 24.0 分で水氷の試験区 3 は下部の冷却水温上昇のため、試験区 2 より約 9 分よけいに時間がかかっている。

以上の試験結果は昨年実施した試験とほぼ同様であり（昨年は氷の重さに対して魚の割合が少なかったため全体として今回の試験より低めの温度となっている）、シャーベット氷は海水氷に比べて均等にしかも速く魚体を冷却できることが再確認された。

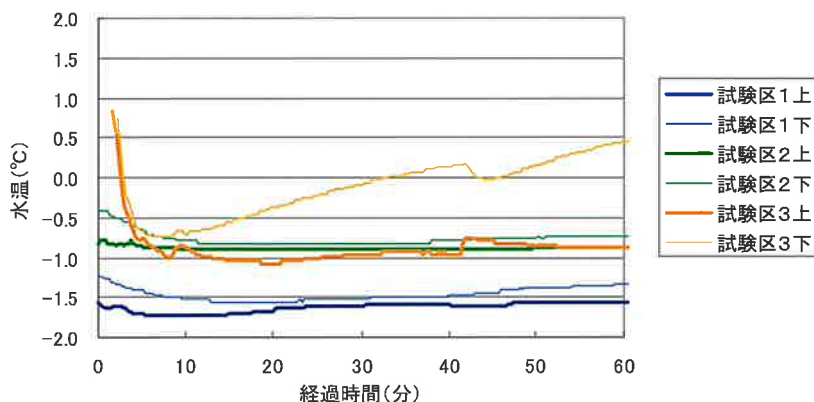


図 1 クーラー内水温の変化

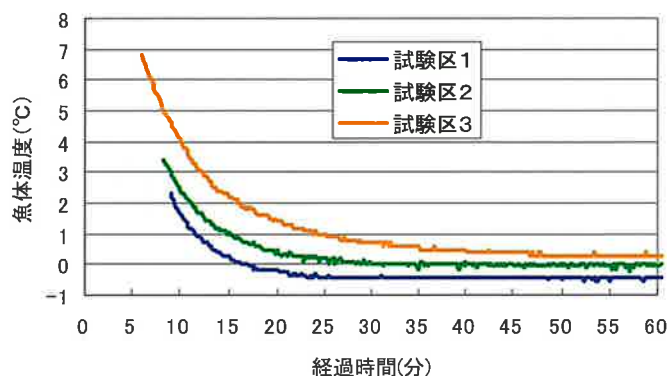


図 2 魚体温度の変化

②シャーベット氷保存試験

サンプルにマアジ活魚を使い、保存試験を行った。保存容器として発砲スチロール製クーラー（内寸 180×345×165 mm）を使い、それぞれシャーベット氷（IPF80%）および砕氷を氷重量で 1,800g 入れ、その上に氷水で 30 分冷却したサンプルをのせて、4℃（冷蔵庫 2.3～5.3℃）と 20℃（インキュベーター）の環境下に 24 時間保管し、スチロールクーラー内の温度を測定した。シャーベット氷は深層水 2：脱塩水 1 で作ったシャーベット氷（スラリー状）を網にのせ液体分を濾したものを使用した。クーラー内温度はサンプルと温度ロガーを並べて設置し測定記録した。

4℃に保管した場合 23 時間後まで、シャーベット氷の試験区は-0.9～-0.5℃（図 3）、砕氷の試験区では-0.4～0.2℃で推移し、この間の平均温度はシャーベット氷-0.7℃砕氷 0.1℃であった。23 時間後に残った氷重量はシャーベット氷が 1,130 g、砕氷が

1,320g でシャーベット氷の試験区の方が約 15%氷の残量が少なかった（図 4）。

20℃で保管した場合は、砕氷は試験終了時までほぼ 1℃以下で推移したが、シャーベット氷は 20.5 時間経過後から氷がなくなったために温度が上昇し始めた。23 時間後の氷の残量はシャーベット氷 2g、砕氷 55g と両試験区ともほとんど氷が溶けている状態であった（図 5）。

試験終了時、サンプルの状態は 20℃保管区では、シャーベット氷、砕氷とも眼の白濁がみられた。砕氷では氷による魚のへこみ（図 6）がみられたが、シャーベットではへこみや体表の傷はみられなかった。

4℃保管区では、魚体の湾曲がシャーベット氷、砕氷ともにみられたが、砕氷では湾曲しているサンプルが多く、へこみもみられた。眼の白濁はどちらの試験区ともみられなかった。

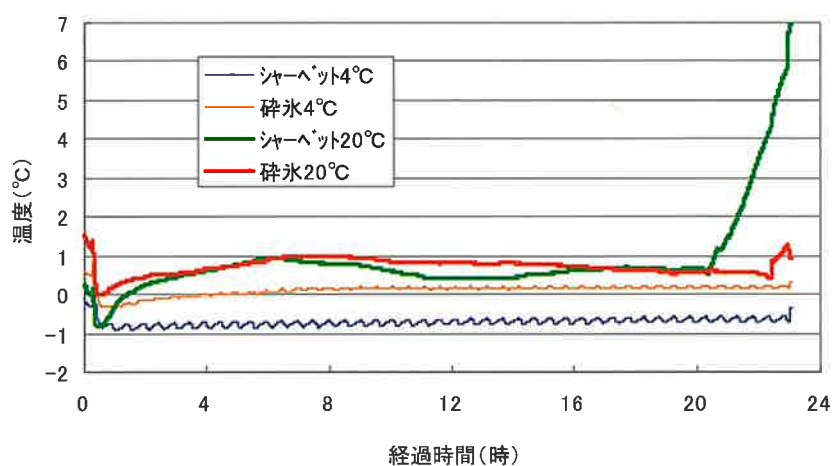


図 3 スチロールクーラー内の温度変化



図 4 4℃保管区の様子（左シャーベット氷 右：砕氷）



図5 20℃保管区の様子（左：シャーベット氷 右：砕氷）



図6 サンプルの外観（へこみ）

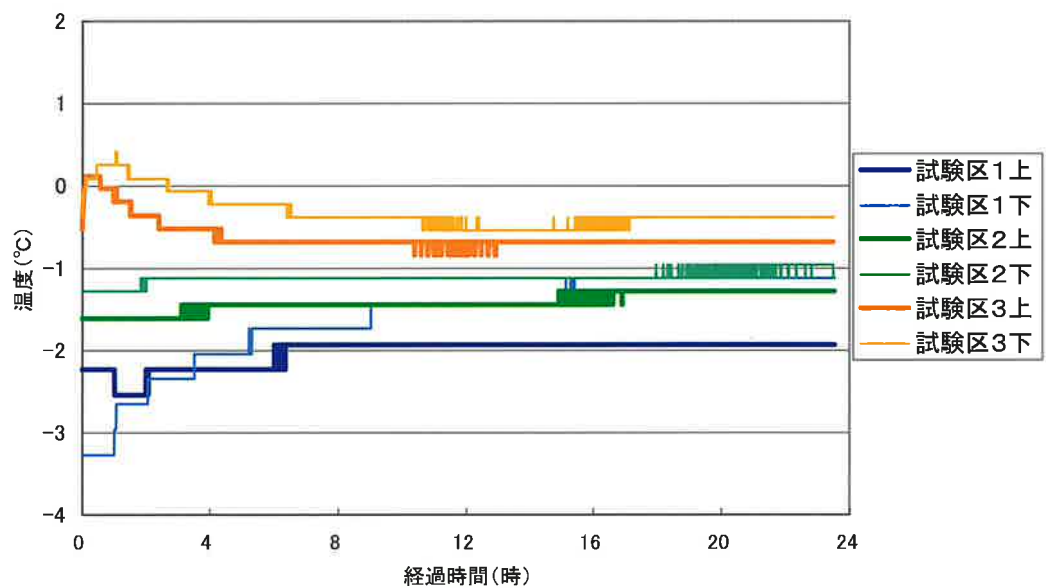


図7 シャーベット氷および砕氷を入れたクーラー内温度変化

24 時間保存後に 4℃保管区について官能検査を行った。外観については砕氷よりシャーベット氷で保管したサンプルの方が、光沢があり鮮やかであった。切り身にしたときの歯ごたえには差がみられなかったが、肉の色はシャーベット氷試験区の方が鮮やかであった。

次に、活マアジを使って、シャーベット氷（試験区 1；深層水のみ、試験区 2；深層水 1：脱塩水 1）と水氷（試験区 3）の予冷、保存状態を比較した。それぞれのスチロールクーラーにアジを入れ、1 時間後に半分を取り出して砕氷上に置く保存区とした。残りのアジはそのままとし、スチロールクーラーを室温 4℃で保管した。

24 時間後までのクーラー内の温度（図 7）は、試験区 1 の上層は-2.2~-1.9℃、下層は-3.2~-1.1℃、試験区 2 では上層-1.6~-1.2℃、下層は-1.3~-1.0℃、試験区 3 では上層-0.7~0.1℃、下層-0.4~0.3℃で推移した。

24 時間後の魚体の外観は、砕氷上に保管したサンプルの魚体がやや白っぽくなり（すべての試験区で同程度）、スチロールクーラー内にそのまま保管したサンプルは眼の白濁がみられたが、試験区 1 および 2 のサンプルに眼の白濁した個体が少なかった。

食味試験では、試験区 1 は砕氷上、クーラー内保管ともに身に弾力がなく、試験区 2 と 3 では弾力があり、よい状態であった（感触的には試験区 2 がぷりぷりしていて、試験区 3 がしっかりしていると感じた）。

以上の試験結果から、魚肉の冷却保管には原水の塩分濃度が 1%台のシャーベット氷が安定して良い結果を出せることが確認された。

長時間保存や輸送する場合には、シャーベット氷は塩分が若干残るため保管時の温度は砕氷に比べ低く、氷の溶ける早さが若干早いので、同じ時間保管するためには 1 割程度多めに氷を入れる必要がある。また、魚体表面に傷やへこみをつけにくい商品

価値の向上に有効であることがわかった。

（２）深層水シャーベット氷の用途開発（実証試験）と運用時の経済性評価

①深層水シャーベット氷の実証試験

シャーベット氷の冷却速度が速いという特性を生かして、まき網漁業や定置網漁業のように、大量の漁獲物を短時間で冷却する必要がある漁業について、現場での情報収集および実証試験を行った。

ア．定置網漁業

高岡漁協の協力を得て定置網漁船の魚艙にシャーベット氷を使った実証試験を行い、魚艙内の上層と下層の温度を測定した。

同漁協では、陸上設置型の海水冷却装置を設置しており、3 トン程度の冷海水（1.2℃程度）を魚艙に入れて出漁する。漁場に到着してからおおよそその漁獲量にあわせた量の氷を魚艙に投入してから漁獲物を入れていく（図 9）。

漁獲量が少ない場合は、魚艙の中でよく混ざって上下の水温差もあまりできず、冷却水温も低い状態で保たれる（図 8 上）。

漁獲量が多い場合は、短時間で漁獲するために魚艙の水温が一気に上昇し、氷が浮いて上層と下層の水温差ができやすい（図 8 中）。

今年度は、シャーベット氷の製造・貯蔵が大量に出来なかったため、水の抜ける袋（図 10）に入れて深層水を抜いた状態で 100kg のシャーベット氷を魚艙に投入して実証試験を行ったが、魚艙容量に対してシャーベット氷が少なすぎたと思われ、砕氷のみの時と比べ明確な差はみられなかった（図 8 下）。

定置網漁業におけるシャーベット氷の実証試験については次年度に再検討を行って報告する。

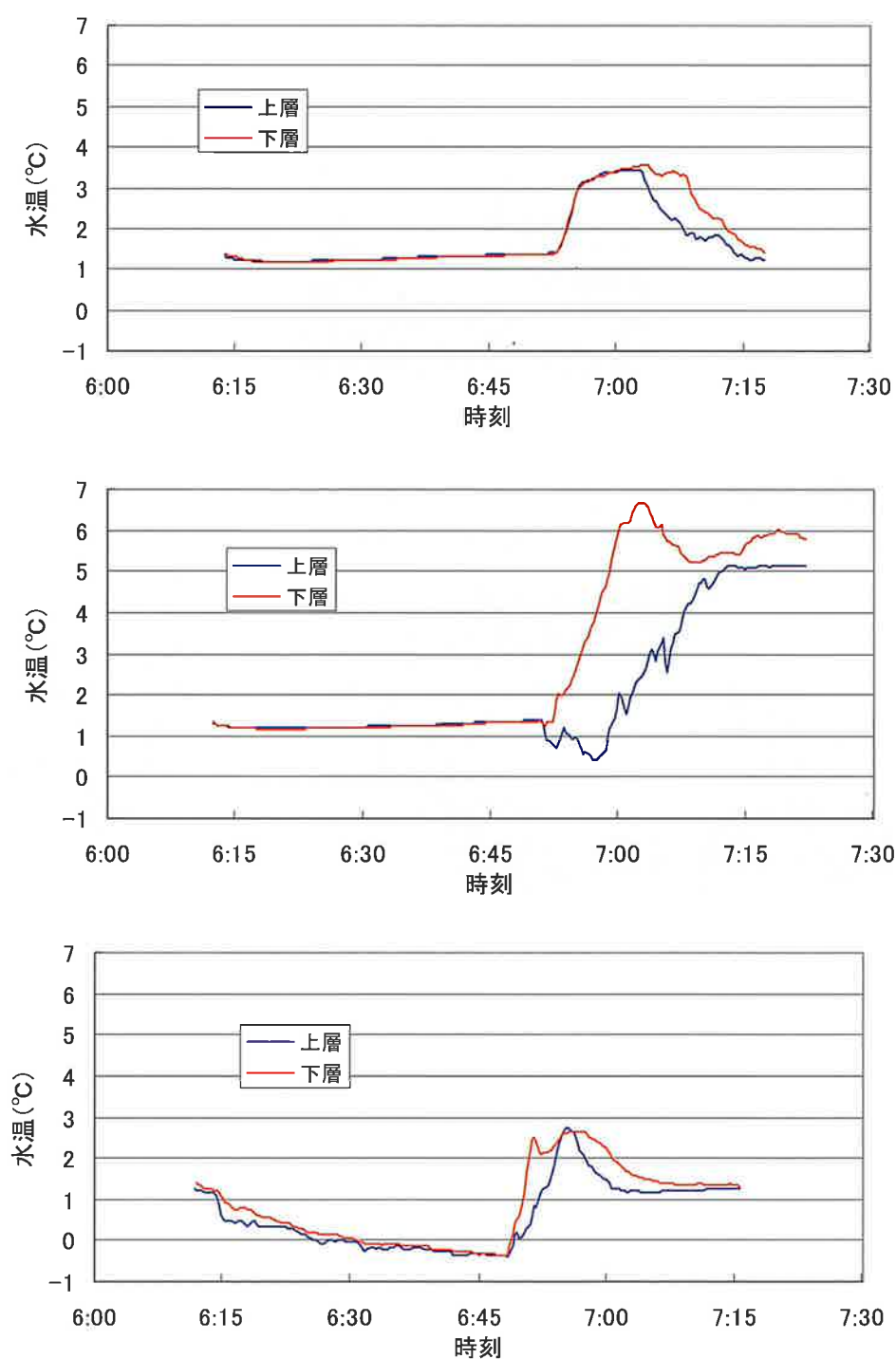


図8 定置網漁業における魚艙水温の変化

上：砕氷のみ 漁獲量 305kg 砕氷 120kg

中：砕氷のみ 漁獲量 1,081kg 砕氷 240kg

下：シャーベット氷+砕氷 漁獲量 427kg

シャーベット氷 100kg+砕氷 200kg



図9 操業状況



図10 シャーベット氷の袋詰め

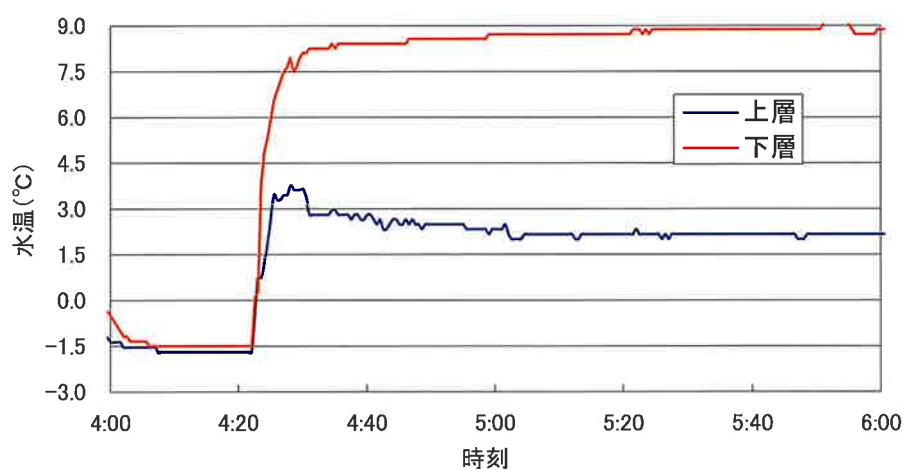


図11 まき網魚船水温の変化 (漁獲物 キビナゴ)

イ. まき網漁業

中型まき網漁業では冷却に砕氷を使用しており、現状把握のため操業時の魚船水温測定を行った。測定の結果、定置網漁業と同様に短時間で漁獲物が魚

船に入ってくるため水温が一気に上昇し、漁獲対象がキビナゴ等小さな魚では、魚と魚の間隔が小さく上層と下層でできた温度差は小さくならないことが判明した (図11)。

小型まき網船についてはシャーベット氷を一部使った実証試験を行い魚艙内の2箇所で上層と下層の温度を測定した。

シャーベット氷を使用した方が魚艙の底層で測定箇所の違いによる温度差が少なく魚艙内温度のムラが少ないことが確認されたものの、必要な量のシャ

ーベット氷を確保できず使用量が少なすぎたため冷却速度については水温データから明確な傾向差を読み取れなかった（図12）。

まき網漁業におけるシャーベット氷の実証試験については、次年度に再検討を行って報告する。

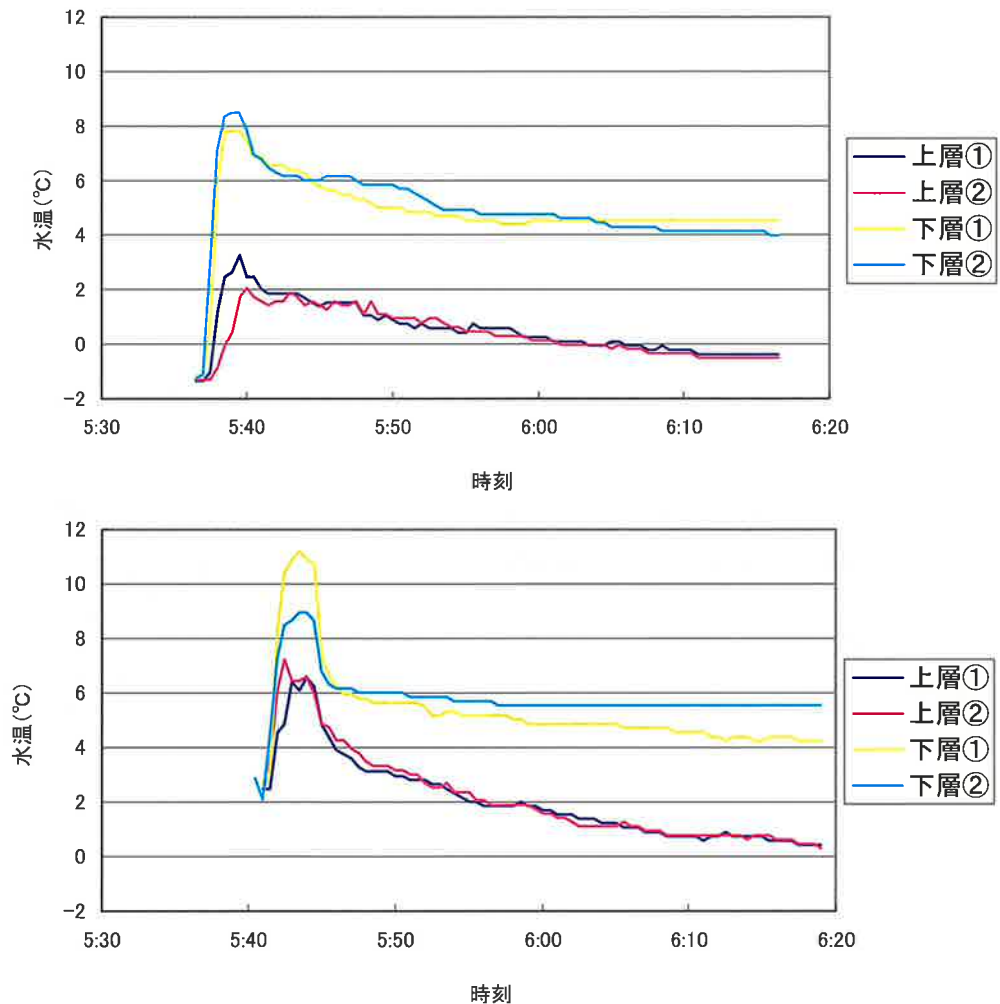


図12 小型まき網魚艙水温の変化

上：シャーベット氷 50kg＋砕氷 40kg 漁獲量 150kg

下： 砕氷 90kg 漁獲量 100kg

（3）水産業での利活用を想定した深層水の多目的利用技術実用化

深層水が汲み上げられる地域の水産業で、シャーベット氷以外の深層水の利用法として清浄性と低温性を有効に利用できる用途として、市場等で使用する冷海水の使用水がある。

海水冷却装置（図13）は多くの水産市場で導入されているが、表層水や地下海水を使用水として利用

する場合が大半である。深層水を使用水とした場合、濾過や殺菌等の前処理を省くことができる。

また、低温であるため冷却の電気代も節約でき、以下の仮定で省エネ効果を試算した。

各月の平均水温	表1
年間冷海水使用量	6,000 t（各月 500t）
深層水原水温度	10℃
冷海水温度	0℃

年間表層水熱量（表 2 の各月合計） $1.29 \times 10^8 \text{kcal}$
 年間深層水熱量
 $(10^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \times 6000\text{t} = 6.0 \times 10^7 \text{kcal}$

以上より、表層水熱量より深層水熱量を引いた
 $6.9 \times 10^7 \text{kcal}$ の熱量が 1 年間に節約でき、50%以上
 の熱量の節約となる。

表 1 各月の表層海水平均水温

月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
水温 (°C)	15.2	15.5	17.5	18.7	21.2	24.6
月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
水温 (°C)	26.5	28.0	27.2	24.9	20.6	18.1

表 2 海水冷却装置使用水として表層水を使用した場合の熱量

月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
熱量(kcal)	7.60×10^6	7.75×10^6	8.75×10^6	9.35×10^6	1.06×10^7	1.23×10^7
月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
熱量(kcal)	1.33×10^7	1.40×10^7	1.36×10^7	1.25×10^7	1.03×10^7	9.05×10^6



図 13 海水冷却装置および利用方法（商品選別）

4 まとめ

魚肉の冷却保管において、シャーベット氷は海水氷に比べて均等にしかも速く魚体を冷却できると、原水の塩分濃度が 1% 台のシャーベット氷を用いることで外観や肉質の面で安定して良い結果を出せることが再確認された。

シャーベット氷を輸送時の保管に用いた場合は、食品にたいして優しく、傷やへこみ等で商品価値を損なうことが少なかった。

定置網漁業とまき網漁業で魚艙にシャーベット氷

を使った実証試験を行ったが、今年度はシャーベット氷の製造と貯蔵が大量に出来る状況でなかったため十分な試験結果を得られなかった。この課題については次年度に再検討を行って報告する。

海水冷却装置の使用水として深層水を使うと濾過・殺菌等の前処理を省くことができ、50%以上熱量の節約になると試算された。