

海洋深層水活用システム開発研究

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

海洋深層水の低温であるという特性を生かし、製氷に深層水を使うことにより、従来の空冷タイプより省エネルギー効果が期待できる。

また、清浄な深層水を製氷用水に使用することで、きれいな海水氷を製造することができ、この氷を深層水汲み上げ地域の魚等食品の冷却、保存に利用する方法について、研究を行い、深層水利用用途の拡大およびその有効性を探る。

2 これまでの実施状況

初年度(H11)は、シャーベット氷の貯蔵・搬送システム・シャーベット氷の冷熱利用及び特性・食品(水産物)の鮮度保持について文献調査や技術調査を行い、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を行った。

H12年は、深層水氷の冷却特性の把握、食品(水産物)の冷却効果、鮮度保持効果について研究を行った。

冷却特性を把握するために、発砲スチロール製クーラーにシャーベット氷を入れ、クーラー内の温度を5分おきに測定した。深層水氷の冷却特性としては、氷を作る源水の塩分濃度をかえると保持できる温度も変化し、冷却保存用として使用する場合、塩分濃度の調整で温度調整が出来る(真水に深層水25%添加で -0.5°C 、50%添加で -1.2°C 、75%添加で -1.7°C 、深層水100%で -2.3°C 付近)ことが分かった。また、保冷用としてシャーベット氷を使用する場合、季節(外気温)によって溶ける時間が大きく違うため、気温によって氷の量を調整する必要があると考えられる。

食品の冷却効果を、天然マアジを用いて試験したところ、現在一般的に使われている真水氷による冷海水、深層水50%のシャーベット氷、深層水10

0%のシャーベット氷とも大きな差はなく、活魚投入時の冷却水温の低い方の魚が早く冷える傾向があることを確認したが、この実験では魚の重量に対して冷却水および氷の量が多かったため、シャーベット氷の表面積が大きくとけやすいという特性が出にくい条件下であったため再現性の確認が必要と考えられた。

深層水シャーベット氷による鮮度保持効果は、天然マアジを使い官能試験により評価を行った。深層水100%で作ったシャーベット氷で保存したものは魚体が白く、凍りかかった状態であった。評価が高かったのは深層水50~75%のシャーベット氷で保存した魚で、食味試験の結果も同様であったが、深層水氷を使用したものは、鰓からわずかに出血がみられるものがあった。魚の保存についてはいろいろな要素があり、魚の状態や塩分、温度等、何による影響が大きいのかを研究する必要がある。

3 実施内容

(1) 深層水氷(シャーベット氷)の冷却特性把握

魚の鮮度にとって、冷却温度と塩分濃度は大きな影響があると考えられるため、シャーベット氷が流動性のある状態の時、温度および塩分がどのように変化するのか測定を行った。

試験は、容量5リットルのビーカーにシャーベット氷を入れ、攪拌機でビーカー内を均一になるように混ぜながらビーカー内の温度を30秒おきに測定し、10分おきにビーカー内の液体の部分を採水し塩分測定を行った。試験区として深層水のみ、深層水2:脱塩水1、深層水1:脱塩水2の3つの塩分濃度を設定した(図-1~3)。

深層水のみで作ったシャーベット氷では -2.9°C から攪拌が可能になり、 -1.8°C でほぼ氷がなくな

り水温が急に上昇し始めた。 -2.9°C での塩分は4.5%、 -2.3°C での塩分は4%、すべて氷が溶けた時点での塩分濃度は3.3%であった。

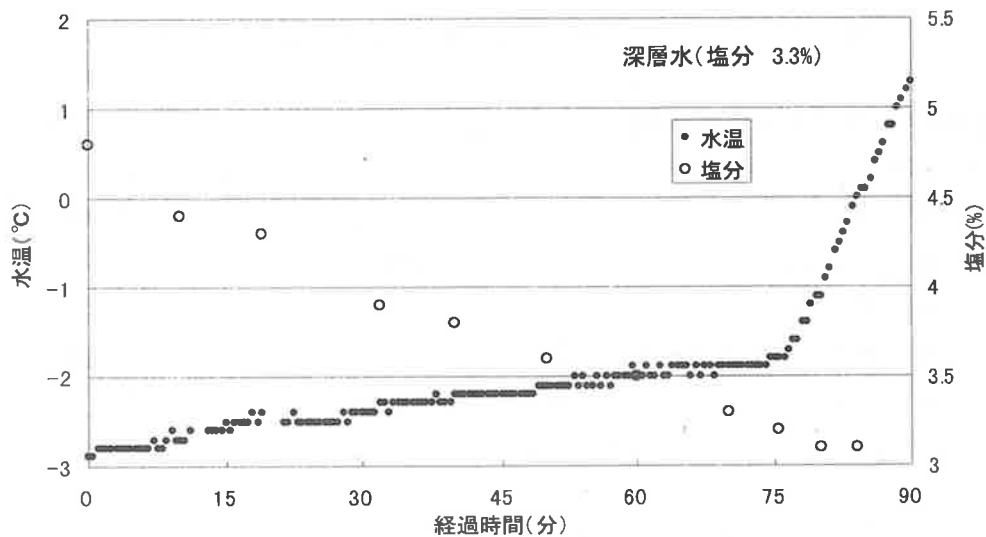
深層水2に深層水の脱塩水1の混合水で作ったシャーベット氷では -1.9°C から攪拌が可能になり、 -0.8°C ではほぼ氷がなくなり水温が急に上昇し始めた。 -1.8°C での塩分は3.4%、 -1.5°C での塩分は2.8%、すべて氷が溶けた時点での塩分濃度は1.9%であった。

深層水1に深層水の脱塩水2の混合水で作ったシャーベット氷では -0.8°C から攪拌が可能になり、 -0.4°C ではほぼ氷がなくなり水温が急に上昇し始め

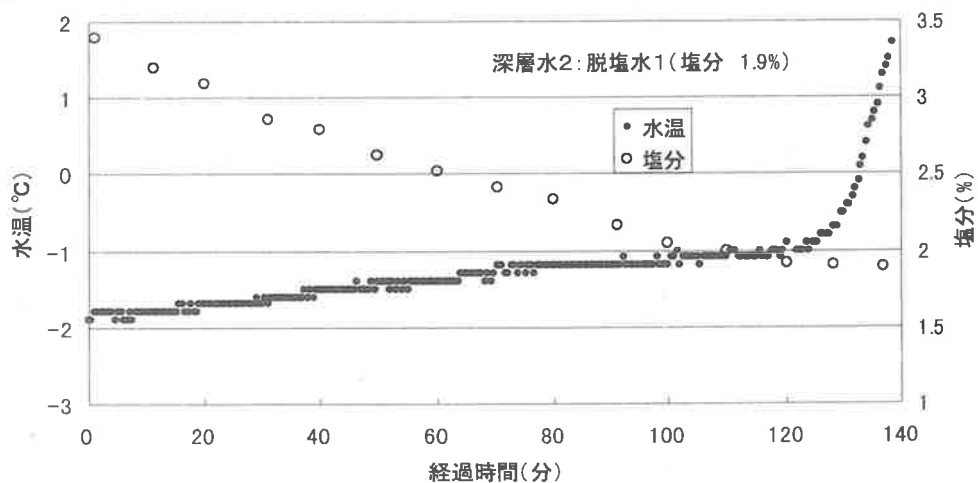
た。 -0.8°C での塩分は1.6%、 -0.6°C での塩分は1.3%、すべて氷が溶けた時点での塩分濃度は1.0%であった。

この試験では、高知工科大学の協力を得て、横型（攪拌しながら氷を作る）製氷器で作ったシャーベット氷を使用した。

また、同時に縦型（掻き取り式）製氷器で作った氷でも同じ実験を行ったが、同様の結果が得られたところから、攪拌した場合には、シャーベットアイスの氷形状差による塩分と水温の変化には、違いはないと考えられる。



図－1 シャーベット氷の水温と塩分の変化（塩分3.3%）



図－2 シャーベット氷の水温と塩分の変化（塩分1.9%）

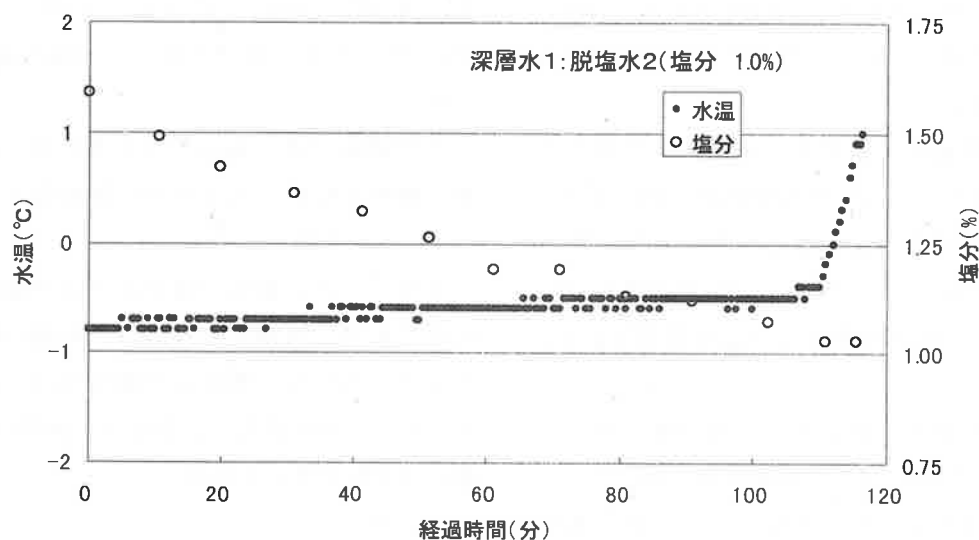


図-3 シャーベット氷の水温と塩分の変化(塩分1.0%)

(2) 深層水氷を利用した食品の冷却効果試験

深層水氷の冷却効果を調べるため、マアジの活魚を用いて魚体の冷却試験を行った。試験区として深層水のみ、深層水2：脱塩水1、深層水1：脱塩水2の3つの塩分濃度のシャーベット氷（粉雪状の氷と同一の塩分濃度の常温深層水をかき混ぜたもの）と、一般的に使われている水氷（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）の4つを設定した。

シャーベット氷および砕氷の重量は、魚の重量の約9割とし、発砲スチロール製クーラー（内寸180×345×165 mm）に入れ、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15秒間隔で温度を測定した。

魚体温の変化（図-4）で、0℃になるまでの時間をみると、試験区1が17.5分、試験区2が17.8分、試験区3が19.8分、試験区4が23.3分で、水氷の試験区4は冷却水温が試験区3より低いのに約3分よけいに時間がかかっており、シャーベット氷の冷却の早さは水氷よりも早い。

また、クーラー底部の冷却水温の変化（図-5）をみると、魚体温測定の60分間に試験区1は-2.3～-1.9℃、試験区2は-1.9～-1.5℃、試験区3は-0.8～-0.6℃、試験区4は-1.0～-0.1℃となっているが、試験区3の水温変化が最も少なく、試験区4がもっとも大きい。試験区1および2では魚体

温測定後に魚を取りだしたところ凍って固くなっていたが、凍った時間は魚体温が一定となり、冷却水温の上昇が終わる29分（試験区1）および32分（試験区2）頃と考えられる。これを確認するため、魚体温、冷却水温および魚の状態（固くなっているかどうか）を調べる実験を行った。この実験の結果、魚体温が一定になり冷却水温の上昇が終わる頃に魚体が固くなり、固くなった魚を冷蔵庫に入れておくとまた柔らかくなることから、魚体が固くなるのは、死後硬直のためではなく凍っているためであることを確認できた。

また、特徴的な現象としてはマアジを試験区4の水氷に投入（図-6）したときは5分以上冷海水中で動くのに対して、試験区1～3のシャーベット氷にマアジを投入（図-7）したときには、その直後から動かなくなった。

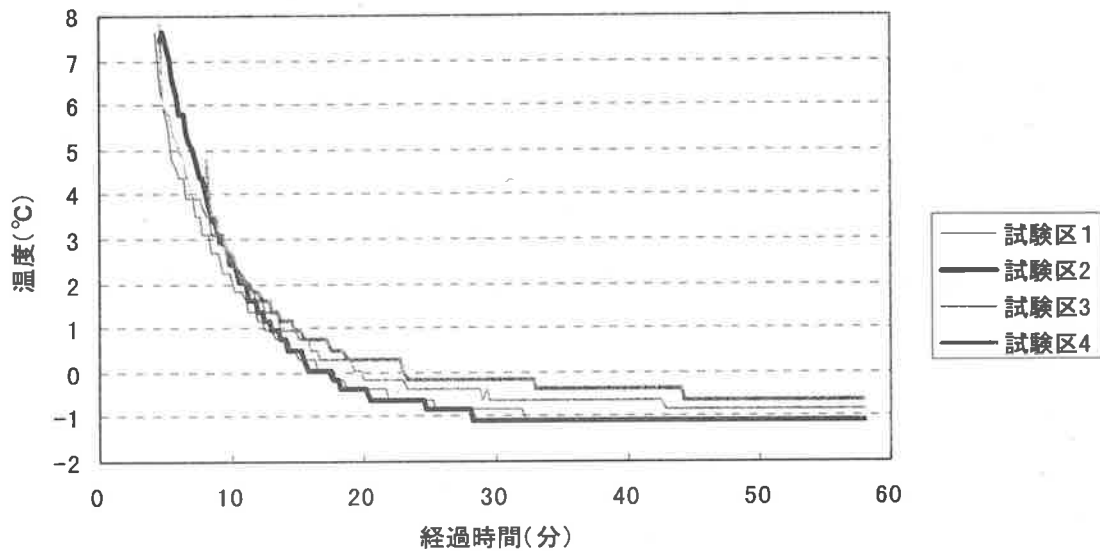
次に、シャーベット氷のIPF（値は未計測）を下げた状態で、同じ混合割合の試験区を設定し魚体冷却状況を比較したところ、クーラー底部の冷却水温上昇がシャーベット氷の試験区で大きくなり、試験区3と試験区4では魚体の冷却速度に差がみられなかった。

これは、砕氷は上層に浮かんでいて、魚体周りにはおもに冷海水があり、シャーベット氷が比較的粘度のある状態のときは、シャーベット氷はほぼ均一な状態になっていて、魚体のまわりを氷

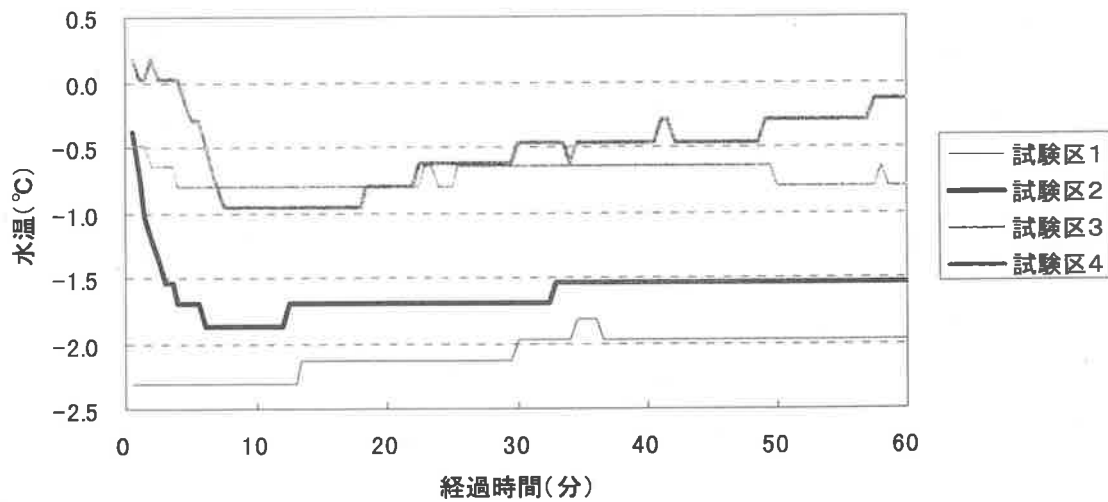
の粒が取り囲んでおり冷却速度が速いが、I P Fが低下して粘度が下がった状態（氷が上層に浮いてくる状態）では、砕氷と同じような状態となり、冷却速度の差が小さくなると考えられる。

以上の試験結果より、均一な状態のシャーベット氷は、水氷に比べて食品を冷却する能力が高い

といえるが、塩分濃度が高い（今回は2.2%以上）と魚の場合凍ってしまうことがあり、凍った場合には身質低下（筋肉がスポンジ状になる）につながるため、温度管理には注意が必要である。



図－4 魚体温の変化



図－5 クーラー底部の冷却水温変化

(3) 深層水氷を利用した保存時の鮮度保持効果試験

深層水氷に保存すると、塩分濃度が高い場合に眼球の白濁や魚体が白っぽくなるという結果が今までの実験で確認されている。これは鮮度評価の項目として重要で、商品としての価値を下げることににつながるため、これらの現象が起こる条件を特定するために試験を行った。試験には、天然マアジを用い、評価は官能検査や死後硬直の測定によって行った。実験開始の条件をそろえるために、活締めの方法は水氷による低温ショック死（水氷温度 -1.5°C ）とした。

まず、塩分による影響をみるために、塩分濃度の異なった海水を深層水と脱塩水および深層水から作った塩で作成し、それぞれを5リットルのビーカーに入れ、その中にマアジを浸けて保存した。ビーカーは氷蔵で一つのクーラーに保管（保管時の海水温 $0\sim 1^{\circ}\text{C}$ ）した。

各試験区の塩分濃度は、試験区1 深層水 5.0%、試験区2 深層水 3.3%、試験区3 深層水 2.25%、試験区4 深層水 1.23%、試験区5 表層水 2.95%である（各試験区の塩分濃度は調整後の実測値）。

試験結果は、死後硬直を3時間おきに測定したところ、完全硬直するまでの時間が、試験区1から3までは12時間、試験区4と5は9時間であった（図-8）。解硬開始時間は試験区5が最も早く21時間後、ついで試験区1と試験区2が30時間後で試験区3と試験区4は実験終了時（48時間後）まで硬直状態を保っていた。

魚体の外観は、測定開始後1時間半で試験区1と2は目が白濁し、試験区3と5がやや白濁、試験区4は透明なままであった。その後も同様の傾向で推移し、試験終了時（48時間後）に試験区1、2、3と5、4の順で白濁の程度が大きかった（図-9）。

魚体の色は試験区1で白くなっており、試験区2ではやや白く、試験区5は試験区1と2の間であった。

50時間後、食味試験（5%、3%、1%の魚各2尾調理）を刺身の状態で行い、評価項目は魚体

外観、身の色、歯ごたえ、うまみの4項目で行ったが、魚体の外観では、試験区4が良い評価で、身の色については試験区1が、歯ごたえ、うまみは試験区2が高評価であった。試験区1については塩分が身に浸透していることが感じられた。

次に、水温による影響をみるために、深層水と脱塩水を混ぜ塩分濃度1.3%に調整した深層水をビーカーに入れ、その中にマアジを浸けて、ビーカーを異なった温度条件で保管した。

各試験区のビーカー保管温度は、試験区1が -1.5°C 、試験区2が 0°C 、試験区3が 5°C 、試験区4は比較のため氷蔵とした。各ビーカー中の海水温度を図-10に示す。



図-6 水氷にマアジを投入した状態



図-7 シャーベット氷にマアジを投入した状態

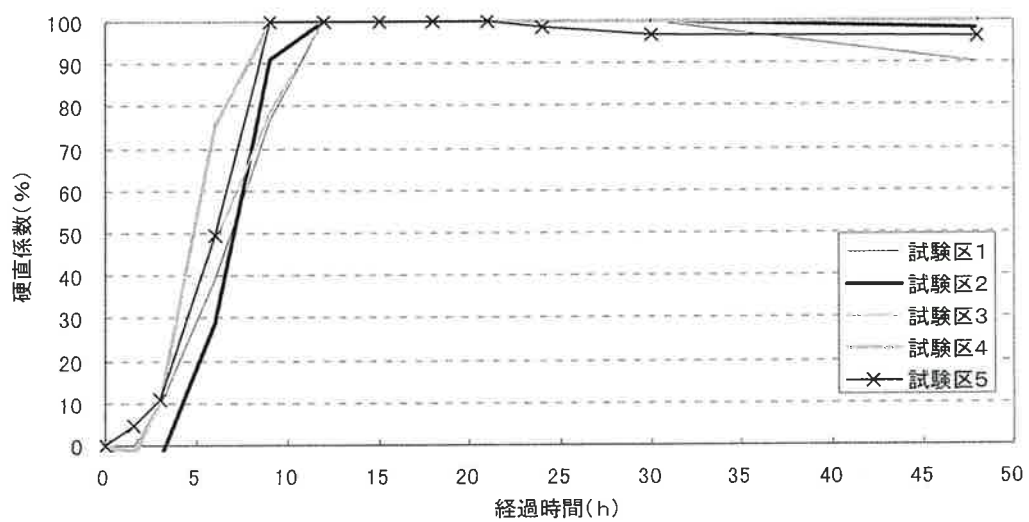
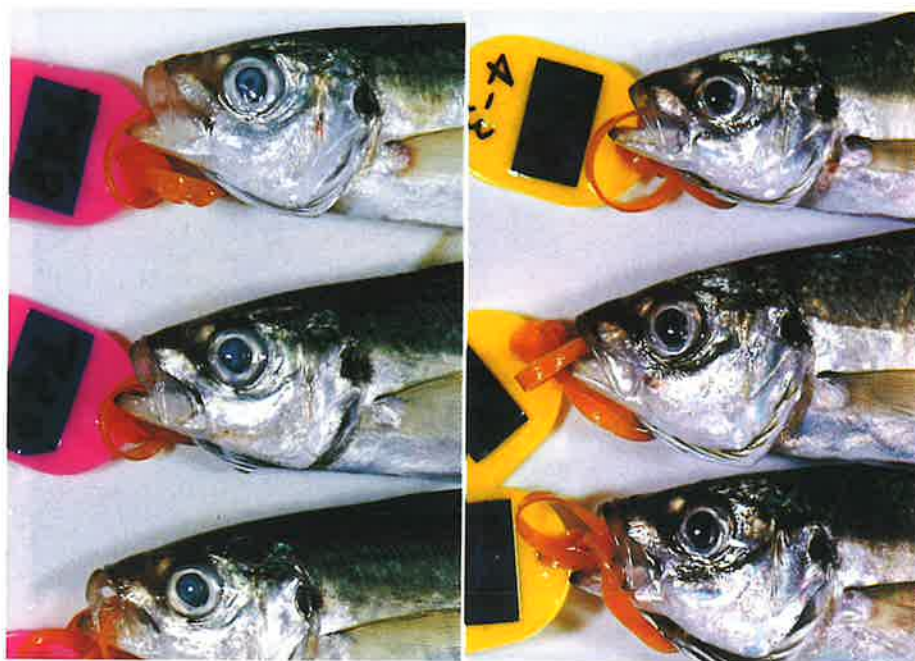
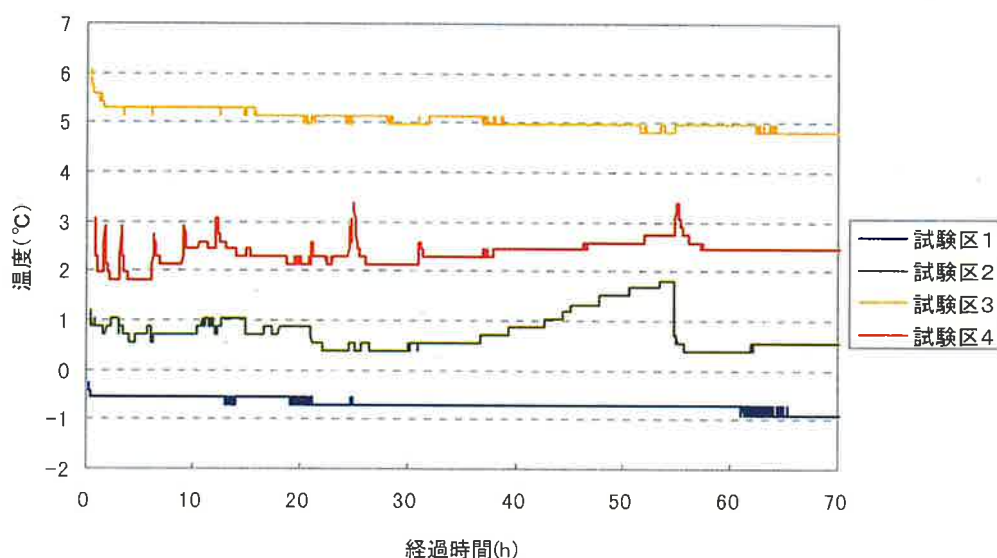


図-8 死後硬直指数の変化



図－9 目の白濁の様子（左：試験区1 右：試験区4）



図－10 保存海水温度の変化

試験結果は、3時間おきに測定したところ、死後硬直するまでの時間が、試験区1と試験区2は9時間、試験区3と試験区4は12時間であった（図－11）。解硬開始時間は試験区4が最も早く24時間半後、ついで試験区1と3で72時間後に解硬し始めた個体みられた。試験区2は実験終了時（72時間後）まで硬直状態を保っていた。

魚体の外観は、24時間経過した時点で試験区1～3は目がわずかに白濁し、試験区4は透明なままであった。その後も同様の傾向で推移し、試験終了時（72時間後）に試験区1～3はわずかに

に白濁し、試験区1では眼球の中のレンズ表面付近が白くなっており、試験区4では白濁はほとんどみられなかった。

魚体の色は試験区1でやや白くなっており、試験区2～4では差はみられなかった。

73時間後、食味試験を刺身の状態で行ったが、試験区1～4で身の色や弾力等差はみられなかった。

試験終了時、試験区1のビーカー内には保管温度が低いために氷ができており、液体部分の塩分濃度は1.7%になっていた。

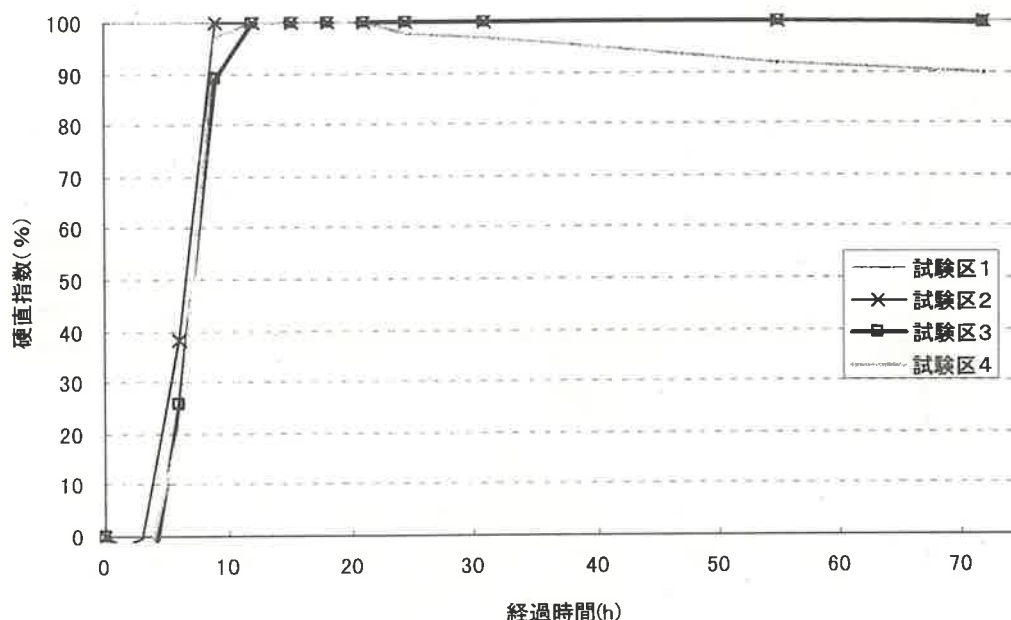


図-1-1 死後硬直指数の変化

以上の試験は、冷海水につけた状態であり、シャーベット氷を使用した場合には塩分濃度および温度が連続的に変化するため単純には予測できない面はあるが、マアジの保存を考えた場合、魚体が接している海水の塩分濃度が3.3%をこえると目にはっきり白濁がみられ、魚体の色も白っぽくなること、保存温度を変えても塩分濃度を一定にした場合には差がみられないことから、目の白濁と魚体の色の変化は主に塩分濃度によるものと考えられる。

また、いずれの試験でも砕氷上にビニールを敷き、その上に保存した試験区で解硬が始まる時間が早い傾向があった。

以上の結果を踏まえてシャーベット氷を使った保存試験を行った。シャーベット氷を使用した保

存試験には、冷却効果試験で使ったサンプルを使い、1時間の冷却後もそのまま発泡スチロールクーラーにいれ、これを0℃に設定したインキュベーター内で保管したものと、砕氷上にビニールを敷いてその上に1時間冷却した魚をのせて保存したものに分けた。

保存中の各試験区の温度を図-1-2に示す。冷却の試験と同様に、試験区は、深層水のみ（試験区1）、深層水2：脱塩水1（試験区2）、深層水1：脱塩水2（試験区3）の3つの塩分濃度のシャーベット氷（粉雪状の氷と同一の塩分濃度の常温深層水をかき混ぜたもの）と、一般的に使われている水氷（試験区4 表層海水に砕いた真水氷をシャーベット氷と同量入れる）の4つとした。

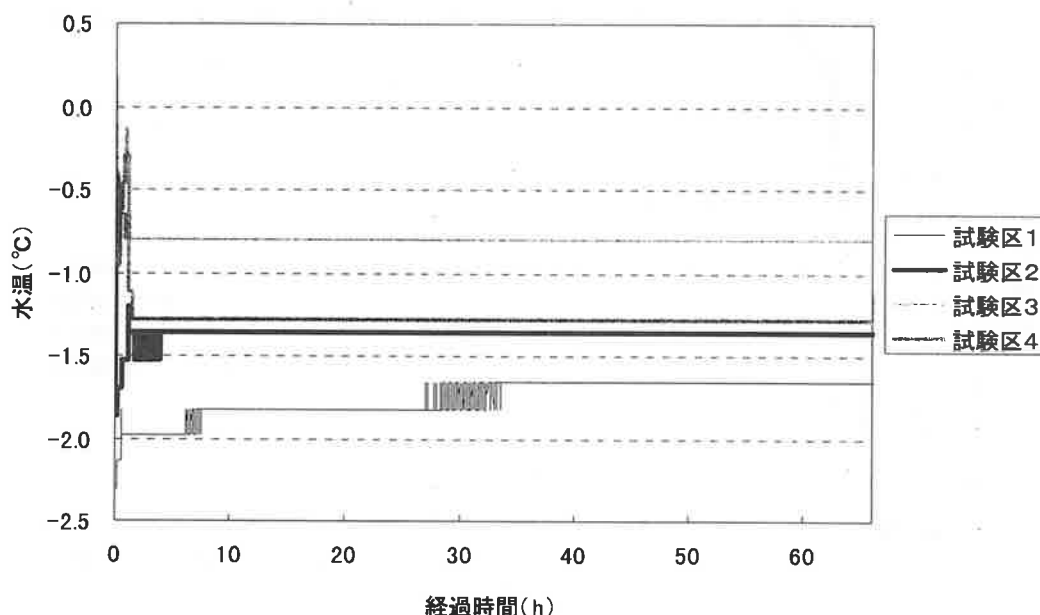


図-1 2 保存海水温度の変化

魚体の外観は、試験終了（66～69時間経過後）した時点でクーラーの海水中に保存したものは、試験区1と2では目がすこし白濁し、試験区3と4はわずかに白濁がみられた。体色は試験区1と2ではやや白っぽくなっていた。これらと同様に冷却したサンプルを1時間後砕氷上に移して保管したものは、海水中に保存したものの体色と同様の傾向であったが、目の濁りはクーラーに比べ少なくなっており、試験区1でレンズの濁りがみられる以外は大きな違いはなかった。

試験終了後、食味試験を刺身の状態で行ったが、海水中に保存したサンプルでは、試験区1と2で筋肉・内蔵とも凍っており、試験区1では解凍すると身がスポンジ状になっており、試験区2では歯ごたえが弱かった。試験区3と4では身の色に差はなく、弾力があり、よい状態であった（感触的には試験区3がぷりぷりしていて、試験区4がしっかりしていると感じた）。一方、砕氷状に保存したものは、試験区1は海水中に保存したものよりましではあるが身に弾力がみられず、試験区2でも海水中に保存したものより少し歯ごたえがある程度であった。試験区3と4では海水中に保存したものと同様によい状態を保っていた。再現性を確かめるため同じ試験を行ったが結果は同様で

あった。

以上の試験結果をまとめると、氷水（試験区4）はあまり厳密に管理しなくても必要量以上使えば比較的安定した品質保持が可能であり、深層水を使ったシャーベット氷では塩分濃度の管理が、品質保持、商品価の向上に最も重要であることがわかった。またシャーベット氷を作る海水の塩分濃度は深層水1：脱塩水2（試験区3）が今回の試験では最良であり、氷水のもの以上で、深層水2：脱塩水1（試験区2）では身の状態（凍っているかどうか）が微妙なところであり、少し塩分濃度が高くなると身がスポンジ状になる可能性がある。

今回試験区に含まれていないが、深層水1：脱塩水1でも試験区3と同様の結果になる可能性は高いと考えられ、来年度追試験を行う予定である。

（4）まとめおよび今後の実施内容

魚は種類によって、最適な保管温度や塩分濃度がことなり、ちょっとした差で、鮮度や外見上の評価（商品価値）に違いが出ることもあり、長い経験の中で、使用方法が一定確立された、現在の冷却保存法を越えることは容易ではないと考えられる（真氷の砕氷は、輸送時の保管用途につい

て、溶けきるまでの時間が長く、温度変化が少ないため保冷熱源として優れている)。

しかし、清浄な深層水を魚の冷却、鮮度保持に活用することで衛生面はもとより、食品としての付加価値アップにも有効であると考えられ、利用方法や形態について利用対象者の意見も聞き、さらに試験研究が必要であるとする。

特に、現場レベルでの利用を考えると、試験結果の再現性は、商品としての安定性に関わることなので、慎重な検討が必要と考えられるので、14年度以降は実際に使用する規模に近づけた形で試験を行い、実用化の可能性を探っていく。

また、氷だけでなく深層水の低温性を生かして、現場で利用する冷海水等を含め、現場作業の中での省エネルギー効果についても検討を行っていく。