

フレークアイス使用によるアユの鮮度向上試験

岡本 満¹・石原成嗣²・曾田一志²

Experiment to improve the freshness of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* by using flake ice

Mitsuru OKAMOTO, Seiji ISHIHARA and Kazushi SOTA

キーワード：アユ，鮮度，体色，腹腔内温度，フレークアイス，遊離アミノ酸，K 値

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は、島根県の河川における水産資源の最重要種である。本種の主要な漁法として刺網があり、県西部の高津川では、日没から夜間にかけて漁獲、冷却されたのち、翌朝に鮮魚（生あゆ）として所属漁業協同組合（以下「漁協」）に集荷され、県内外に宅配等で出荷されている。刺網はアユが遊泳、通過する場所を遮断するように網を張り、網目に刺すことによって漁獲する。そのため、釣漁法とは異なり、漁獲後に活魚として取り扱うのが困難であること、船上で刺網からアユを外すのに手間がかかり、冷却までに時間差が生じることで鮮度にばらつきが発生する。また、アユ漁業の時期は初夏から盛夏であり、漁獲後から高い外気温にさらされることによる鮮度低下が懸念される。アユは鮮度低下とともに体色の変化のほか、腹部の軟化や腹切れ¹⁾が起りやすいことが指摘されており、より効果的な鮮度保持手法の確立が求められている。

今回、島根県の主要河川の漁業協同組合、市町、県で構成される島根県内水面広域水産業再生委員会が、水産庁の「広域浜プラン実証事業」を活用し、アユの産地にある高津川漁業協同組合において、フレークアイス製造装置（ホシザキフレークアイスメーカーFM-340AK-1，ホシザキ製）を用いた鮮度向上実証試験を行った。フレークアイスは、不定形の小さな粒状の氷²⁾あるいは小指大の小さな氷³⁾などと定義され、製造コストが安価ながら速やかな冷却が可能⁴⁾とされている。この速やかな冷却効果はフレークアイスに特有の重量に対する表面積の大きさによってもたらされる。アユ刺網漁においては、従来はクーラー等に角氷を入れて出漁し、漁場で汲んだ河川水を混ぜて漁獲物を冷却しているが、角氷だけでは冷却に偏りが

生じるため、漁獲物を均等に冷却することが難しい。そのため本研究では、フレークアイスと角氷を併用した場合の鮮度保持効果について、冷却する水氷の水温、供試アユの腹腔内温度、体色、体側筋のイノシン酸 (IMP) および K 値を指標として検証を試みた。また、アユでしばしば問題とされる腹切れの一因として内臓の自己消化の進行が疑われるが、いわゆる長期熟成魚で自己消化の進行とともに増加が報告されている遊離アミノ酸⁵⁾がこれらの指標となる可能性がある。アユ内臓の塩蔵加工品である「うるか」の熟成においては、遊離アミノ酸のうちグルタミン酸 (Glu) およびリジン (Lys) の増加が報告されている。⁶⁾さらに、アユは塩焼きとして内臓ごと喫食されることが多いことから、筋肉と内臓の食味に影響するイノシン酸および各種遊離アミノ酸についてもあわせて検討を加えた。

材料と方法

供試魚および試験区 アユを用いた試験（以下「本試験」）は、図 1 に示したとおり、実際の刺網操業および集荷、流通を想定して行った。2021 年 7 月 27 日（0 日目）17 時 30 分に、高津川漁業協同組合の荷捌き所において、養殖された活アユをテンタル（内寸 φ490×450mmH，サンコー製）中に放置して致死させた。テンタル中で放置する時間は船上での網外しに必要と考えられる 30 分間とした。試験開始直前の供試アユの蓄養水温は 22.9°C，外気温は 29.3°C であった。試験区の設定は表 1 のとおりとした。すなわち、角氷約 3 kg を入れたスチロール箱（内寸：幅 350 mm×奥行き 282 mm×高さ 223 mm）中に、水（盛夏の河川最高水

¹ 現所属：総合調整部 General Coordination Division

² 島根県西部農林水産振興センター Western Shimane Agriculture, Forestry and Fishery Promotion Center

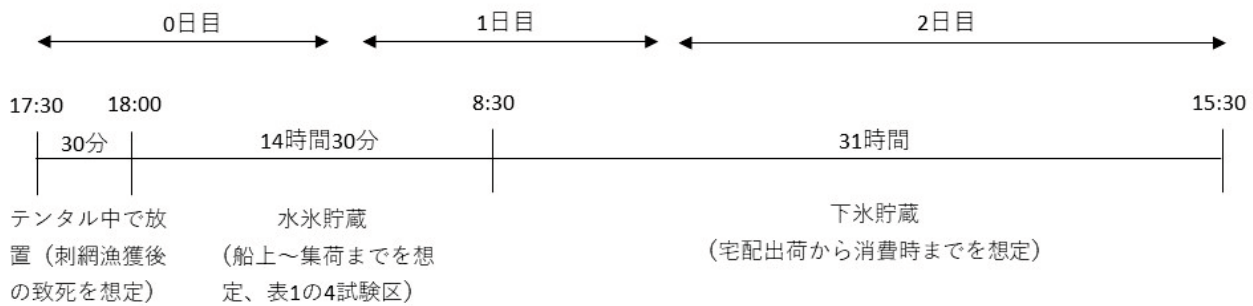


図 1. 試験の時系列概要

温を想定して水道水を 28.6°C に調製，以下同じ)のみを 6 L (以下「角氷区」) または水 3L とフレークアイス 3 kg (以下「角氷+フレークアイス区」) を入れ，実際の操業にあわせてそれぞれ水と氷の総重量に対して 1% の食塩を混合した. 1% の食塩混合は冷却効率を高めるために行われている実操業での冷却に準じたものである. 「角氷区」と「角氷+フレークアイス区」はそれぞれ 2 セット用意した. フレークアイスは，前述したフレークアイスメーカーで製造されたものを用いた.

実際の刺網操業では日によってアユの漁獲量にばらつきがあり，冷却すべきアユの量についても多寡があることから，本試験では漁獲されるアユが少ない場合 (2 kg) および多い場合 (5 kg) を想定した試験区を設定した. すなわち，致死させたアユを，「角氷区」2 セットそれぞれに 2 kg (以下「角氷区_アユ 2 kg」) および 5 kg (以下「角氷区_アユ 5 kg」)，「角氷+フレークアイス区」2 セットそれぞれに 2 kg (以下「角氷+フレークアイス区_アユ 2 kg」) および 5 kg (以下「角氷+フレークアイス区_アユ 5 kg」) 浸漬した. 以上 4 試験区のスチロール箱は，現場でアユを浸漬後，速やかに水産技術センターに持ち帰り，室温で一晩保管した.

表 1. 試験区の概要

試験区	アユの量
角氷区	アユ 2kg
(水 6L + 角氷 3kg)	アユ 5kg
角氷+フレークアイス区	アユ 2kg
(水 3L + 角氷 3kg + フレークアイス 3kg)	アユ 5kg

漁協への集荷時間を想定した翌日 7 月 28 日 (以下「1 日目」) 8 時 30 分に，各試験区からアユ 5 尾 (平均体長±標準偏差: 148 ± 5 mm, 平均体重±標準偏差: 41.8 ± 3.3 g) を無作為に抽出した. 左体側側線上の b* 値 (数値が高いほど黄色みが強

い) およびハンター白色度 (数値が高いほど白色が強い) を測定するとともに，右体側筋の IMP および K 値を測定した. 別に各試験区から 5 尾を無作為に抽出して腹腔内温度を測定した.

以降の供試魚は，実際の漁業協同組合からの宅配の梱包を再現するため，ポリエチレン袋に入れ下氷を敷いたスチロール箱に並べ，さらに上氷をして 5°C の冷蔵庫内で保管した.

宅配出荷における到着時を想定した翌々日 7 月 29 日 (以下「2 日目」) 15 時 30 分に，前日スチロール箱に保管したアユを取り出し，1 日目と同様に，左体側側線上の b* 値およびハンター白色度，右体側普通筋のイノシン酸および K 値を測定した. また，目視と触診により腹部の軟化と腹切れの程度を確認した. さらに，腎臓を除く内臓すべてをホモジナイザー (T25 basic, IKA 製) で均質化したのち，遊離アミノ酸の分析に供した.

腹腔内温度 (以下「体温」) の測定 体温は折りたたみ式温度計 (testo 104, テスト一製) のセンサー部をアユの肛門から腹腔内に差し入れ測定した.

体側 b* 値およびハンター白色度の測定 図 2 に示した左体側側線上の 4 ヶ所に色差計 (NF333, 日本電色製) のセンサーを垂直に当て，b* 値および L*a*b* 表色系におけるハンター白色度 (ハンター白色度: $100 - ((100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2)^{1/2}$) を測定した. 試験区ごとに 4 回の測定値を平均して算出した.

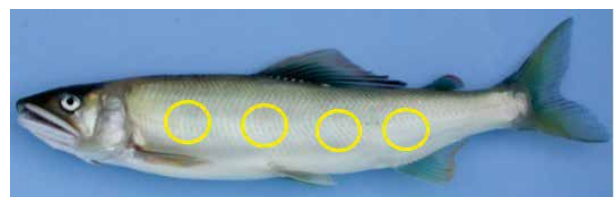


図 2. 色差測定箇所

イノシン酸および K 値の分析 サンプル (普通筋 0.5g, 内臓 2.0g) を氷冷 10% 過塩素酸で固定し

た抽出液を pH7.0 に調整したのち、高速液体クロマトグラフ（島津製作所製 検出器：SPD-10Avp, 移動相：100mM りん酸-トリメチルアンモニウム緩衝液/アセトニトリル=100/1, カラム：信和化工 STR-ODSII (150 L×4.6 mmI.D), 移動相流速：1 ml/min, カラム温度：40°C, 検出波長：254 nm) でイノシン酸を含む ATP 関連化合物を定量分析した。また、定量した ATP 関連化合物のうち、イノシン (HxR), ヒポキサンチン (Hx) の、ATP 関連化合物総量に対する百分率を K 値⁷⁾とした。

遊離アミノ酸の分析 遊離アミノ酸含量は、イノシン酸および K 値に用いた抽出液を pH2.2 に調整したのち、アミノ酸分析システム (Prominence UFLC, 島津製作所製) を用いた *o*-フタルアルデヒド-ポストカラム誘導体化法 (カラム：Shim-pack AMINO-LI (島津製作所製), 移動相流速：0.6 ml/min, カラム温度：39°C, 蛍光検出器：RF-20Axs (島津製作所製), 励起波長：350 nm 蛍光波長：450 nm) により、遊離アミノ酸 35 種類を定量分析した。

統計処理 貯蔵時間ならびに試験区相互間について、統計解析ソフトウェア (IBM SPSS Statistics 23, 日本アイ・ビー・エム製) により、Tukey HSD 検定による多重比較を行い、有意水準 5%未満 ($p<0.05$) で有意差ありとした。

追加試験(氷の種類と量の違いによる水温変化) 本試験では現場での活用を想定した角氷 3 kg に合

計約 6 kg となるフレークアイスと水もしくは水のみの試験区しか設けなかったことから、予備的に角氷の量とフレークアイスもしくは水の割合を変えた場合の水温の変化を検討した。すなわち、「角氷 3 kg+水 6 L 区」(本試験の角氷区と同じ), 「角氷 3 kg+フレークアイス 3 kg+水 3 L 区」(本試験の角氷+フレークアイス区と同じ), 「角氷 1.5kg+フレークアイス 1.5 kg+水 6L 区」, 「フレークアイス 3 kg+水 6 L 区」, 「フレークアイス 6 kg+水 3 L 区」の計 5 試験区を設定し、ボタン型温度ロガー (サーモクロン SL タイプ, KN ラボラトリーズ製) により 19 時間後までの水温を連続測定した。なお、本試験と同様に、水は 28.6°C に調製した水道水を使用し、氷と水の総重量に対して 1% の食塩を添加した。試験には本試験と同じスチロール箱を用いた。

結果

スチロール箱内の水温と氷の状態 試験区ごとのスチロール箱内の水温と角氷の状態について、冷却直後から水産技術センターに持ち帰った時点 (0 日目 19:45, 冷却処理から 2 時間 30 分後) の撮影画像を図 3 に示す。「角氷区」の角氷がほとんど溶けていたのに対して、「角氷+フレークアイス区」の角氷はほとんど残っていた。0 日目から 1 日目にかけてのスチロール箱内の水温と角氷の状



図 3. 試験区ごとのスチロール箱内の水温と角氷の状態 (0 日目 冷却直後と 2 時間 30 分後)

態を表2に示す。水産技術センターに持ち帰った時点(0日目 19:45, 冷却処理から2時間30分後)で、「角氷+フレークアイス区」の水温はいずれも1°C以下で、「角氷区」の水温を下回っていた。翌日(1日目 8:45)には、「角氷区」は10°C前後だったのに対して、「角氷+フレークアイス区」はいずれも4°Cを下回っていた。また、「角氷区」の角氷はいずれも完全に溶解していたのに対して、「角氷+フレークアイス区」の角氷は2kg近く残っていた。アユの量については、「角氷+フレークアイス区」、「角氷区」ともに少ない方が低い水温に保たれていた。

表2. 試験区ごとのスチロール箱内の水温と角氷の状態(0日目と1日目)

試験区	水温(°C)		1日目10:30における 角氷の状態
	0日目 19:45	1日目 8:45	
角氷_アユ2kg	1.3	9.0	すべて溶解
角氷_アユ5kg	3.3	10.8	すべて溶解
角氷+フレークアイス_アユ2kg	0.4	1.0	1.85kg残り
角氷+フレークアイス_アユ5kg	0.8	3.8	1.90kg残り

腹腔内温度 1日目の腹腔内温度を図4に示す。すべての試験区相互間に有意差が認められ、「角氷+フレークアイス区」が「角氷区」よりも、「アユ2kg」のほうが「アユ5kg」より、それぞれ低かった。

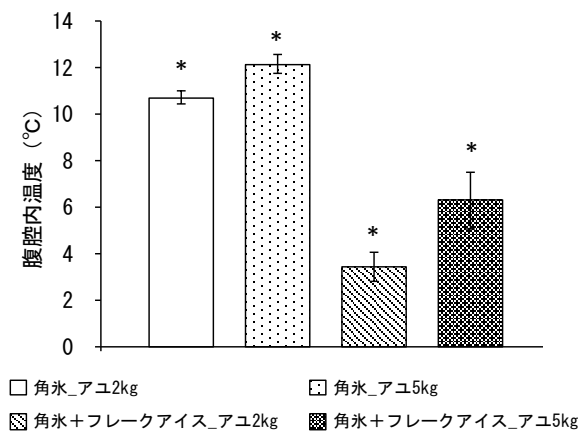


図4. 試験区ごとの供試アユ腹腔内温度(体温)(1日目)
(n=5, エラーバーは標準偏差)
アスタリスク相互間で有意差あり(p<0.05)

体表の色調(目視) 1日目および2日目の測定時における左体側の撮影画像を図5に示す。1日目は「角氷+フレークアイス区」の方が「角氷区」よりも背側の色調が濃かった。下氷と上氷を

した後の2日目の測定ではこの違いは認められなくなった。

体側 b*値およびハンター白色度 体側側線上の b*値を図6に示す。1日目は「角氷+フレークアイス区_アユ2kg」が「角氷区_アユ2kg」に対

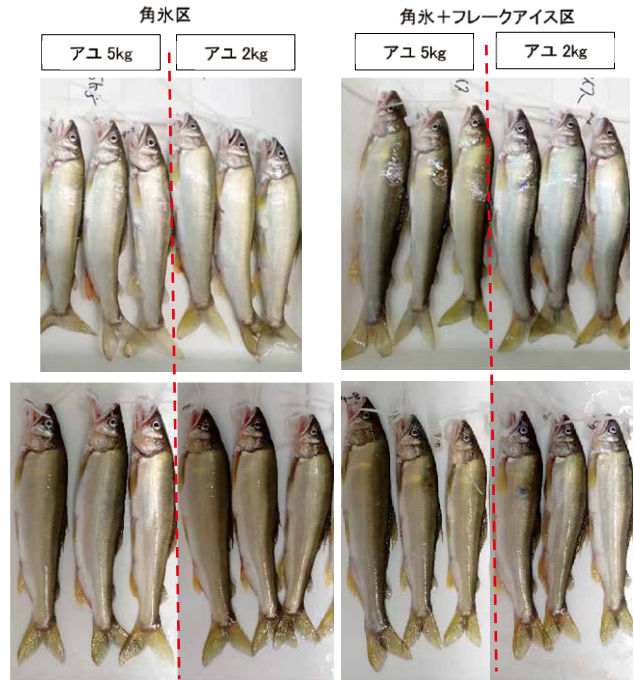


図5. 試験区ごとの供試アユ体表の色調(上段:1日目, 下段:2日目)

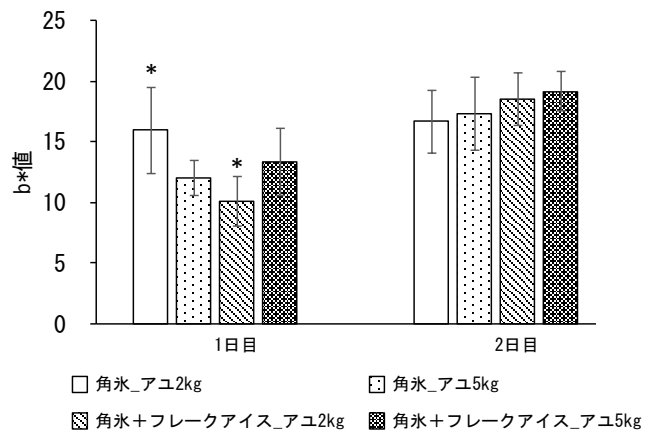


図6. 試験区ごとの供試アユ体側 b*値
(n=5, エラーバーは標準偏差)
アスタリスク相互間で有意差あり(p<0.05)

して有意に低かったが(相対的に黄色みが弱い), 2日目には試験区間の有意差はなくなった。全体として1日目より2日目の方が高くなる(相対的に黄色みが強くなる)傾向にあった。ハンター白色度を図7に示す。有意差はなかったものの、1

日目では「角氷+フレークアイス区」の方が「角氷区」よりもわずかに低い(相対的に色調が暗い)値を示した。しかしながら、側線に沿って測定したことから、前述の目視評価における背側色調の濃さを反映しにくかった可能性がある。

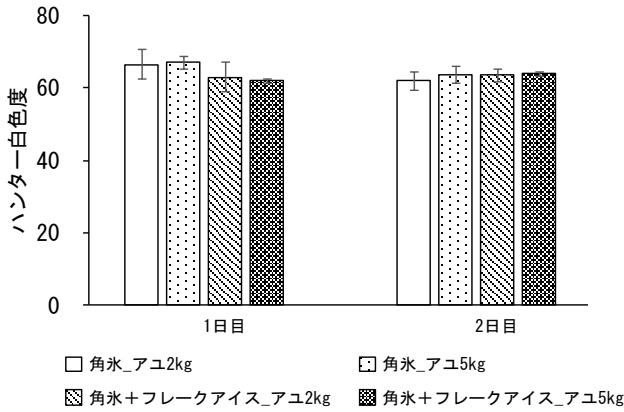


図7. 試験区ごとの供試アユ体側ハンター白色度 (n=5, エラーバーは標準偏差)

体側筋のイノシン酸およびK値 体側筋のイノシン酸 (IMP) 量を図8に示す。試験区間の有意差は認められなかったが、1日目で「角氷+フレークアイス区」は216 mg/100 gと「角氷区」の191~207 mg/100 gよりも、2日目で「角氷+フレークアイス区」は209~210 mg/100 gと「角氷区」の183~200 mg/100 gよりも、それぞれ高かった。

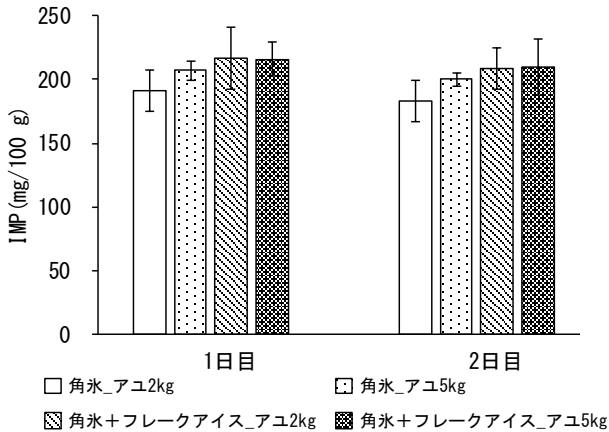


図8. 試験区ごとの供試アユ体側筋IMP量 (n=5, エラーバーは標準偏差)

K値を図9に示す。各試験区とも1日目から2日目にかけて上昇傾向を示した。試験区間の有意差は認められなかったが、1日目で「角氷+フレークアイス区」が9.8~11.1%と「角氷区」の13.6~14.6%よりも、2日目で「角氷+フレークアイス区」が16.6~16.9%と「角氷区」の19.4~21.3%よりも、

それぞれ低かった。

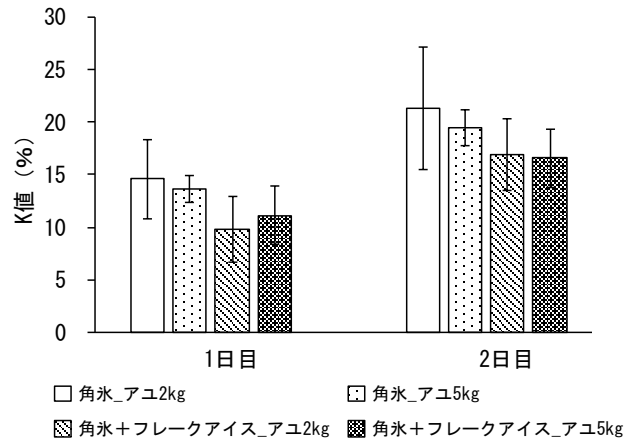


図9. 試験区ごとの供試アユ体側筋K値 (n=5, エラーバーは標準偏差)

腹部の状態 供試魚はいずれの個体も著しい軟化や腹切れは認められず、試験区間相互の差異も確認されなかった。

内臓の遊離アミノ酸 遊離アミノ酸総量と組成を図10に示す。総量における試験区間の有意差は認められなかったが、「角氷+フレークアイス区」が1,017~1,027 mg/100 gで、「角氷区」の1,052~1,092 mg/100 gよりもわずかに少ない傾向にあった。このうち、グルタミン酸は「角氷+フレークアイス区」が60~68 mg/100 gで「角氷区」の72~75 mg/100 mgよりも、リジンは「角氷+フレークアイス区」が74~90 mg/100 gで「角氷区」の94 mg/100 mgよりも、それぞれ有意ではなかったものの少なかった。

追加試験(氷の種類と量の違いによる水温変化) 結果を図11に示す。「角氷3 kg+フレークアイス3 kg+水6 L区」, 「フレークアイス3 kg+水6 L区」, 「フレークアイス6 kg+水3 L区」の3試験区の水温は、冷却から15~25分で2.6°C以下まで速やかに低下した。このうち、「フレークアイス3 kg+水6 L区」は2.6°Cまで下がったのち19時間後には約17.3°Cまで直線的に、「フレークアイス6 kg+水3 L区」は-0.2°Cから19時間後には5.1°Cまで緩やかに上昇した。一方で、「角氷3 kg+フレークアイス3 kg+水6 L区」は1.0°Cまで下がったのちも横ばい傾向を示し、19時間後においても約3.6°Cに保たれていた。「角氷1.5 kg+フレークアイス1.5 kg+水6 L区」の水温は、冷却から15分以内に速やかに低下したものの、最低値は8.0°Cにとどまり、19時間後には17.3°Cまで上昇し、

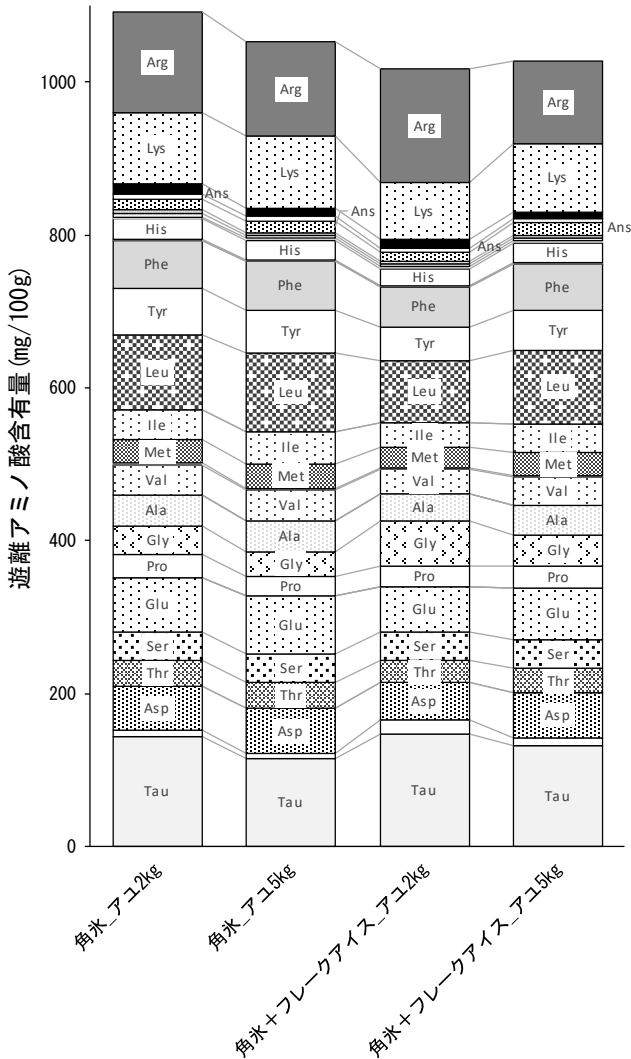


図 10. 試験区ごとの供試アユ内臓の遊離アミノ酸 (2日目) (n=3)

試験終了時の水温が5試験区のうち最高値を示した。「角氷3kg+水6L区」の水温は、他の4試験区とは異なり緩やかな低下傾向を示し、約4時間後に10°Cまで下がったのちに緩やかに上昇し、19時間後には14.2°Cとなった。

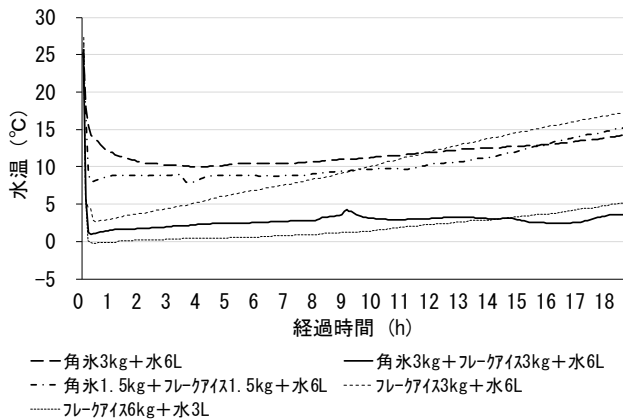


図 11. 追加試験における試験区ごとの水温変化

考察

本試験では、角氷の溶解はフレークアイスとの併用により抑制できた。また追加試験では、角氷に一定量以上のフレークアイスを併用することで、フレークアイスの量が少なすぎる場合や角氷と併用しない場合を除き、水温の上昇を抑制できた。さらに追加試験の結果から、フレークアイスには水温を速やかに下げる効果が、角氷には下がった水温を保持する効果が認められた。以上から、水に対して一定量以上のフレークアイスと角氷を併用することで、スチロール箱内の水温を速やかに下げたうえ、長期間にわたって低く保持できることが分かった。それらは本試験におけるアユの腹腔内温度に反映され、フレークアイスと角氷の併用によりアユの体温を低く保持できることが明らかとなった。

体側のb*値については、漁協に集荷される漁獲翌日午前中の、「角氷+フレークアイス区」でアユ2kgを冷却した場合、「角氷区」でアユ2kgを冷却した場合に比べ、有意に低くなった。このことは、冷却の徹底により集荷時間帯での黄変を防ぐ効果を示唆している。体側のハンター白色度については、有意でなかったものの、「角氷+フレークアイス区」が「角氷区」よりも低かった。なお、1日目における目視評価では、背側の色調は「角氷+フレークアイス区」が「角氷区」より明らかに濃かった（黒っぽかった）ことから、ハンター白色度については、側線上ではなく背側を測定することでより顕著な差が得られた可能性が考えられる。いずれにせよ、角氷とフレークアイスの併用は、少なくとも漁獲翌日午前中まではアユの体色の黄変と白化を抑える効果が示された。

魚類の鮮度指標として汎用されるK値は、積算温度が高いほど早く上昇することが知られており、⁸⁾アユを対象とした先行研究でも同様な結果が報告されている。^{1,9,10)}今回の試験でも、フレークアイスの使用はアユの体温を低く保つことによりK値の上昇を抑制できることが示唆された。また、魚類のうま味成分であるイノシン酸も積算温度に影響を受けるため、フレークアイスを使用することによる冷却効果により、その減少を抑制できる可能性が示された。なお、試験開始から1日目においても依然として氷水の温度よりも体温が高かったことから(表2, 図4)、アユの表面を傷つけ

ないような水氷の攪拌など速やかな冷却のための対策が必要と考えられた。

生鮮アユで問題とされる腹切れの指標として、内臓の遊離アミノ酸を検討した。井嶋⁹⁾は、天然のコアユ（平均体長 7.11 cm，平均体重 4.44 g）を用いた試験において、腹切れの基準値は K 値 10% が妥当としているが、本試験ではいずれの試験区の K 値も 2 日目には 10% を大幅に超えていた。しかしながら、本試験ではいずれの試験区においても 2 日目の段階で腹部の軟化や腹切れが認められなかった。井嶋の試験と比較すると、今回のほうが魚体が大きかったが、一般的に同一魚種でも小型個体ほど脆弱で死後変化が速いことに加え、天然ものと養殖ものでは酵素活性等に違いがあることが要因と考えられる。また今回の本試験では、供試前の蓄養水温が 22.9°C と盛夏の河川水温である 28~29°C よりもかなり低く、供試アユの体温が下がったため、外気温の影響を受けにくかったことも考えられた。したがって、供試アユの蓄養水温や空気中での放置温度あるいは放置時間などで、より過酷な条件を設定すれば明らかな差が出たかもしれない。内臓の遊離アミノ酸総量については、有意差はなかったものの、「角氷+フレークアイス区」のほうが「角氷区」よりもわずかに低く、グルタミン酸とリジンも同様な傾向だった。アユの内臓を用いた塩蔵加工品「うるか」では、半年から 4 年の長期保存により遊離アミノ酸の増加が報告されている⁹⁾が、生鮮状態におけるアユ内臓の遊離アミノ酸の消長についての報告は見当たらない。しかしながら、腹切れについては体温が高くなるほど自己消化や微生物による内臓の分解の影響が大きくなると推察されることから、その対策としてフレークアイスを使用した冷却の徹底が有効と考えられる。

なお、前述したとおり、アユは塩焼きとして内臓ごと喫食されることが多い。フレークアイスで冷却処理した 2 日目のアユ体側筋には 200 mg/100 g 以上の豊富なイノシン酸が含まれており、内臓には 60 mg/100 g 以上のグルタミン酸が含まれていた。イノシン酸 (2 ナトリウム 7.5 水和物) の閾値 (うま味を感じることができる最低値) は 0.025% (25 mg/100 g)，グルタミン酸 (モノナトリウム塩) の閾値は 0.03% (30 mg/100 g) とされており、¹¹⁾本試験のイノシン酸とグルタミン酸はこれらを大きく上回っていた。また、イノシン酸、グ

ルタミン酸ともに閾値以下であっても、両成分の相乗効果によって強いうま味が発現することが明らかとなっている。¹²⁾このうちイノシン酸は、後藤ら⁹⁾の報告にもあるとおりの貯蔵温度が高いほど減じていくため、アユの外観のみならず食味向上の点においてもフレークアイスによる冷却は有効と考えられた。

グルタミン酸については、フレークアイスを使用した試験区よりも、角氷のみの試験区のほうが、有意差はないもののわずかに多かった。鮮魚の内臓における遊離アミノ酸の増加は主に内在する酵素が要因と推察されるが、アユ内臓に含まれるグルタミン酸生成にかかる酵素およびその活性の至適温度が不明なため、この差がフレークアイス使用の有無によるものかはわからない。しかしながら、生あゆは死後数日以内の高鮮度状態で喫食されることから、先述した閾値からもグルタミン酸の多寡以上にイノシン酸の多寡のほうが呈味発現に重要と考えられる。

また、本研究では供試魚確保の都合から養殖アユを用いたが、平野・須山¹³⁾は、天然アユと養殖アユでは背肉の遊離アミノ酸組成が異なるとしており、天然アユについても検討すべきと考えている。

なお、本研究ではフレークアイスを用いた場合でも、1 日目のアユ体温が 5°C 程度までしか下がらなかった。さらには、実操業での冷却処理に準じ、すべての試験区で使用した水と氷に対して 1% 相当の食塩を添加したが、それらがアユに与える影響は検討しなかった。フレークアイスを使用した場合の水と氷の効果的な配分や食塩添加が及ぼす影響について別途検討する必要がある。

謝辞

本研究は、「内水面漁業における天然アユ高鮮度化実証調査」の一部として行われ、高津川漁業協同組合の可部靖昭総務課長、篠原史朋事業課課長を始めとするみなさまに格別のご協力をいただいた。島根県水産技術センター漁業生産部利用化学科の開内 洋科長には追加試験について有益なご助言をいただいた。ここに記して深く感謝する。

文献

- 1) 井嶋重尾：パーソナルフリージング法におけるコアユの鮮度保持：滋賀水試研報，**41**, 58-61 (1989).
- 2) 業務用厨房機器ホシザキ TOP>製品情報・一覧>製氷機器>全自動製氷機>アイスバリエーション.
<https://www.hoshizaki.co.jp/p/ice-engine/ice-variation.html>, 2023年1月10日.
- 3) Panasonic >法人向け商品 >食品システム >製氷機 >フレークアイス：フレークアイスとは
https://panasonic.biz/appliance/cold_chain/icemaker/flake.html, 2023年1月10日.
- 4) GALILEI フクラボ >業務用厨冷蔵庫・厨房機器 >記事アーカイブ >氷の種類、知ってますか？ 飲食に必要な氷の種類と用途を解説.
<https://www.galilei.co.jp/fukulabo/lineup/%E6%B0%B7%E3%81%AE%E7%A8%AE%E9%A1%9E%E3%80%81%E7%9F%A5%E3%81%A3%E3%81%A6%E3%81%BE%E3%81%99%E3%81%8B%EF%BC%9F-%E9%A3%B2%E9%A3%9F%E3%81%AB%E5%BF%85%E8%A6%81%E3%81%AA%E6%B0%B7%E3%81%AE%E7%A8%AE%E9%A1%9E/>, 2023年1月10日.
- 5) 南 駿介・高取宗茂・白山 洸・沖田歩樹・中村柚咲・高橋希元：長期熟成魚介類刺身の呈味成分およびテクスチャー. 日水誌，**86**, 418-426 (2020).
- 6) 永田善明，上池貴晃，近重克幸，大渡康夫，土佐典照：味認識装置および成分分析における「うるか」熟成度の評価. 島根県産業技術センター研究報告，**54**, 1-6 (2018).
- 7) Saito T, Arai K, Matsuyoshi M: A new method for estimating the freshness of fish. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish*, **24**, 749-750 (1959).
- 8) 濱田 (佐藤) 奈保子，大熊廣一，渡邊悦生：K値を用いる魚肉の生可食限界の推定に関する理論的考察. 日本食品科学工学会誌，**51**, 495-504 (2004).
- 9) 後藤功一，武藤義範，タンマウオン，マナスイカン，中野浩平：致死条件の違いがアユの鮮度関連指標に及ぼす影響. 岐水研研報，**61**, 11-15 (2016).
- 10) 辻 寛人，タンマウオン，マナスイカン，中野浩平：養殖アユと漁獲アユにおける鮮度の差異. 岐水研研報，**65**, 17-24 (2020).
- 11) 須山三千三，鴻巣章二編，水産食品学，恒星社厚生閣，東京，1987, pp81-83.
- 12) 古川秀子：おいしさを測る 食品官能検査の実際，幸書房，東京，1994, pp85-89.
- 13) 平野敏行，須山三千三：天然および養殖アユの品質に関する化学的研究－Ⅲ 含窒素エキス成分の季節変化. 日水誌，**46**, 215-219 (1980).