



Title	産卵回帰シロサケの致死条件と死後変化
Author(s)	高橋, 是太郎; 南山, 卓範; 小坂, 尚弘; 羽田野, 六男; 小林, 源司
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 43(2), 96-104
Issue Date	1992-05
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/24093
Type	bulletin (article)
File Information	43(2)_P96-104.pdf



[Instructions for use](#)

産卵回帰シロサケの致死条件と死後変化

高橋是太郎*, 南山 卓範*, 小坂 尚弘*,
羽田野六男*, 小林 源司**,

Slaughter Conditions of Fall Chum Salmon Associated with the Elapse of Quality Changes after Death

Koretaro TAKAHASHI, Takunori MINAMIYAMA,
Naohiro KOSAKA, Mutsuo HATANO
and Genji KOBAYASHI

Abstract

Quality assessments of semi-bright late-run chum salmon were conducted after slaughtering in four different ways. Electric slaughtering by pulse direct current suppressed the increase in the "K" value though rigor mortis was observed to be completed relatively early. Bleeding by gill removal was effective in keeping the salmon fillet pink during frozen storage for a year at -20°C . When the fishing ground is near, electric slaughtering is considered desirable. However, when it is far, dipping the live fish directly into iced sea water filled in the fish hold is considered more desirable. Clubbing to death was considered as an ideal way of slaughtering when the catch is small. In this case, rigor mortis lasted as least 24 hours under 0°C - 1°C .

緒 言

最近とくに良質のイクラをとる目的で産卵回帰シロサケ(秋サケ)の雌の鮮度を吟味する加工業者が増えてきており、また、これに連動して高鮮度を維持することによって遠距離まで秋サケの販路を拡大する動きも見られてきている。さらに、形質的に優れた銘柄に対抗して鮮度の良さで勝負する販売戦略も目立つようになってきた。

このように、市場で取引される生鮮魚の価格は、秋サケといえどもその鮮度によって大きく左右されるようになってきている。漁獲後から卸し売り市場で競りにかかるまでの時間は2-4時間以内に行われる場合が殆どであることを考えると、この間の硬直の進行度合は仲買人が秋サケの品質を評価する上で重要な要素になっている。鮮度判定の目安である死後硬直の進行度合は、魚の履歴、取り扱いによって大きく影響される。生前の栄養状態や網にかかったときの運動量等の差は如何ともしがたいが、水揚げ後速やかに死に至らしめ、適切な温度で管理すれば、硬直持続時間の延長も可能となり、商品としての価値を高めることができる。

* 北海道大学水産学部食品化学第一講座
(Laboratory of Food Chemistry, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

** 北海道大学水産学部練習船研究室
(Laboratory of Training Ship, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

魚の致死条件と硬直後の変化については、既に岡ら¹⁾がハマチについて研究を行っているが、致死条件はK値を指標としたときの死後の変化に影響しないと述べている。しかし、福田ら^{2,3)}、上村ら⁴⁾によって秋サケは死後、K値の上昇が非常に速い魚であることが明らかにされており、したがって、致死条件を改善することによって死後変化を遅くできる可能性があることも考えられる。本研究ではこの点について検討を行った。

致死後の貯蔵温度については、最近0°C貯蔵よりも幾分高い温度で貯蔵する方が硬直に至る時間が遅延し、ATPの消失速度が遅くなることで多くの魚種について指摘されている^{1,5-15)}。しかし、秋サケが多獲魚と見なされてきている現状をふまえ、本研究では氷蔵条件下における死後変化に限定して検討を行うこととした。

実験方法

供試魚 1988年10月と11月に北海道南部渡島管内茂辺地沿岸にて捕獲したものと、1989年10月に北海道南部渡島管内鹿部沿岸、11月に北海道南部渡島管内茂辺地沿岸にて捕獲したものを、いずれも婚姻色発現の程度の低いAブナの雄を用いた。

電気即殺法 内径110 cm、深さ30 cmの水槽(約285 l)に海水を満たし、電気モリ(川崎電気KDK-B-2型)の両極を水槽の両端に設置した。水揚げした秋サケ4尾を直ちに水槽に入れ、90-170 V、1 Aの断続直流電流(コンタクトポイントのカムの回転数約4,500-10,000 rpm)を20秒間通電し、死に至らしめた。

海水氷法 約285 lの海水(塩分濃度 29.52 S)を満たした同上水槽に20 kgの水を投入して水温を0.0-0.1°Cとした(このときの塩分濃度 25.26 S)。これに秋サケ4尾を入れた。

エラ切り放血法 水揚げ直後の秋サケ(3尾)のエラの付け根を切断し、尾部を上にして放血させた。

撲殺法 水揚げ直後の秋サケ(3尾)の目と鼻の間を木槌で強打し、即殺させた。

苦悶死 上記4方法の対照区として水揚げ後の秋サケ(3尾)を甲板上に放置しておき、死に至らしめた。

なお、何れの場合も絶命後、直ちに氷冷し、以下の種々の実験に供した。致死時の体温は10-13°Cの範囲にあった。

魚体の硬さの測定 秋サケの背鰭下方部の側線上にゴム硬度計(古里精機製作所A型)を押しあてて、魚体の両側面各々3箇所ずつ計6部位の硬さを経時的に測定した。なお、肉の硬さと魚体の硬直度は相関しないという指摘はあるが^{1,9,14)}、秋サケの場合魚体の硬さと官能評価による筋肉の硬直度とはよく対応していたので、魚体の硬さの変化を筋肉の硬直度の変化と見なした。解硬開始の判定は困難なことから、便宜上の解硬時間を以下の方法によって求めた。すなわち図1に示すように、0時で示した魚体の硬度の点からx軸に平行に直線を引き、この直線と魚体の硬度を示す曲線によって囲まれた部分の面積を2等分するy軸に平行な直線の示した時間を解硬時間と定義した。

酸可溶性ヌクレオチド類の定量 秋サケの細切背肉に2倍量の冷10%過塩素酸を加えて5分間ホモジナイズ後、沓過し、沓液2 mlを取って水酸化カリウム溶液でpH 6.5-7.5に調整した。次いで10 mlに定容後、孔径0.22 μmのフィルターで沓過、このうち10 μlをHPLCに供した。HPLCカラム、Asahipak GS-320;カラム温度、室温;検出器、UVモニター260 nm;溶媒、200 mM リン酸緩衝液(pH 3.25-3.28) 0.9 ml/min¹⁶⁾。

乳酸の定量 ベーリンガー・マンハイム山之内製の乳酸定量キット(酸素法)を用いた。

筋小胞体画分の調製 Ushioら¹⁷⁾の調製法に準じて行った。すなわち、0-4°Cの低温下にて細切

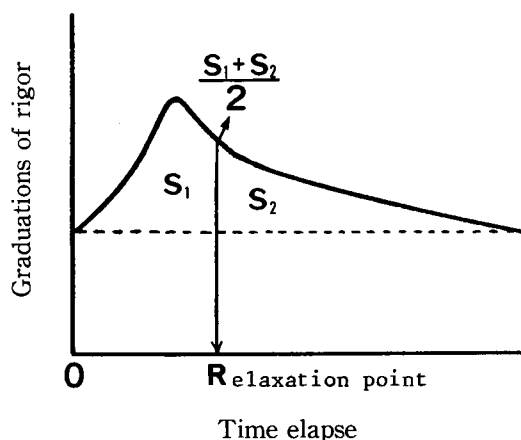


Fig. 1. Determination of the relaxation point of rigor.
The point that gives the same area between S_1 and S_2 is defined as the relaxation point of rigor.

背肉に10倍量の50mmイミダゾール緩衝液(含100mm KCl+1mm EGTA+1mgふっ化フェニルメチルスルホニル/l+1mg大豆トリプシンインヒビター/l, pH 7.2)を加え, 1minずつ2回ホモジナイズ後, 1,000×g, 15min遠心分離, これを4枚重ねのガーゼで濾過して再び同gで遠心分離を行った。次いで上澄を8,000×g, 20minの遠心分離に供し, さらに上澄をとって30,000×g, 45min遠心分離して, 得られた沈渣を90mlのイミダゾール緩衝液(含100mm KCl+0.3Mシュクロース, pH 7.2)に懸濁, 100,000×g, 45min遠心分離を行った。沈澱物を0.01Mイミダゾール0.1M KCl緩衝液(pH 7.2)に懸濁してから10mlに定容, これを筋小胞体画分とした。なお, 筋小胞体画分のタンパク濃度はビウレット法¹⁸⁾によって求めた。

カルシウムの定量 原子吸光光度計(日立 518型)によった。カルシウム用ホロカソードランプの電流, 7.5 mA; スリット幅, 2.6 mm; バーナーの高さ, 12.5 cm; 波長, 422.7 nm; アセチレンガス圧力, 0.35 kg/cm²。

脂質の抽出 BlighとDyer¹⁹⁾の方法によった。

カルボニル値の測定 熊沢と大山²⁰⁾の方法によった。

チオバルビツール酸(TBA)値の測定 Vyncke²¹⁾の方法によった。

においセンサーによる評価 脂質二分子膜応用においセンサー(相互薬工 SF-101型, センサー部, AA-1A型)により抽出油のにおい量を測定した。なお, におい物質の吸着量は二分子膜被覆水晶発振子の振動数減少量に定数を乗じて求め, におい量とした。

測色色差計による肉色比較 測色色差計(日本電色工業 Z-1001 DP)によってL値, a値, b値, W値を測定した。なお, セルの直径は30mmのものを用いた。

総カロテノイド量の定量 抽出した脂質の適量を精秤し, アセトンに溶解後477nmで吸光値を測定した。この吸光値から, 吸光係数 $E_{1\%}^{1cm}=2,200$ を用いてカロテノイド量(アスタキサンチン相当量)を算出した²²⁾。

結果および考察

種々の致死条件による魚の状態 気温10.5°C, 魚体温度7.3°Cにおける各電気的な計測値は表

1に示した。黒木²³⁾は魚種によって、とくに体表面が塩水で濡れている場合、体表上に電気が流れ、即殺効果が著しく減少するおそれのあることを指摘しているが、この表1の結果から秋サケの場合には体内に最も電気が流れ易いことを示した。

水槽で遊泳させて通電した場合、試験魚の位置によって通電の効果が大きく変わった。すなわち、試験魚が両電極を結ぶ直線上に位置する場合は通電後速やかに死に至ることが確認されたが、この直線上から離れた場合には激しく暴れ、苦悶死に近い状態となった。したがって、この方法を応用する場合は電極面を幅広くとることが重要であると考えた。

次いで海水水に秋サケを投入した場合について検討した。海水水槽に投入した4尾とも静止状態となり、苦悶するようすもなく投入後2時間でも死には至らなかった。これは一部でいわれているような仮死状態になって横向きになるということを否定する結果となった。

水揚げ直後の秋サケのエラを切断し、頭を逆さまにしてできるだけ放血させたところ10-15分間程度は生存していたが、その間激しく苦悶していた。実際の漁労作業中にはこのように放血し易いように支えることは非常に困難であり、仮にエラを切断してもその魚体を甲板上に放置せざるを得ないことから苦悶時間はさらにながくなるものと思われる。ただし、エラを切断した魚体を海水水中に入れれば放血効果が高まり、比較的速度やかに死に至らしめることが可能になると考えられるので、今後はこの点の検討が必要であろう。

水揚げ直後の秋サケの頭部を強打(撲殺)したところ、全身を激しくけいれんさせ、数秒間で死亡した。一方、水揚げ後そのまま甲板上に放置したところ、少なくとも20分以上は苦悶を続けて死(苦悶死)に至った。

魚体の硬度の死後変化 図2と図3にみられるように苦悶死区とエラ切り放血区では死亡後速やかに魚体が硬化した。これに対し、電気即殺区では約1時間後から、また撲殺区では約1時間半後から魚体が硬くなり始めている。魚体の硬化開始から硬度のピークまでの到達時間は電気即殺区が最も短かった。このことは通電によってごく短時間のうちに筋肉が疲労状態になるためと考えられる。

硬度計による魚体の硬度の変化と目視による硬直とはよく対応していたが、殆どの個体が反り返ったまま硬直したり、波をうった形状で硬直したりして尾藤ら²⁴⁾の方法による硬直度の測定は、少なくとも秋サケに対しては適用不可能であった。また、解硬に至った個体であっても秋サケのような紡錘形の大型魚では魚体長の1/2の位置の確定が難しく、この位置が僅かにずれただけでも、尾の垂れ下がりに大きく影響し、しかも雌雄差や魚体の肥満度の影響も著しいように思われた。

ここ数年、筋肉の硬さと硬直度とは対応しないことが多く指摘されている^{1,9,14)}。これは組織レベルの構造変化によることや筋肉が脊椎骨に付いている状態か否か等、複合した原因によるものと考えられている。この点からは本実験で行った魚体の硬度測定は意味を成さないようにも見受けられるが、本測定法は脊椎骨に筋肉が付いていて張力を発生している時点での硬さを測定しており、むしろ岡ら¹⁾、豊原ら⁹⁾、Andoら¹⁴⁾の結果を支持するものであると考える。すなわち、骨から

Table 1. Direct current condition on fall chum salmon generated by electric harpoon

	Ampere	Voltage	Resistance
Inside the body	27.8 A	151 mV	5.6 mΩ
Surface of the body	0.4 μA	151 mV	240.0 kΩ
Sea water	21.0 μA	2 mV	10.5 kΩ

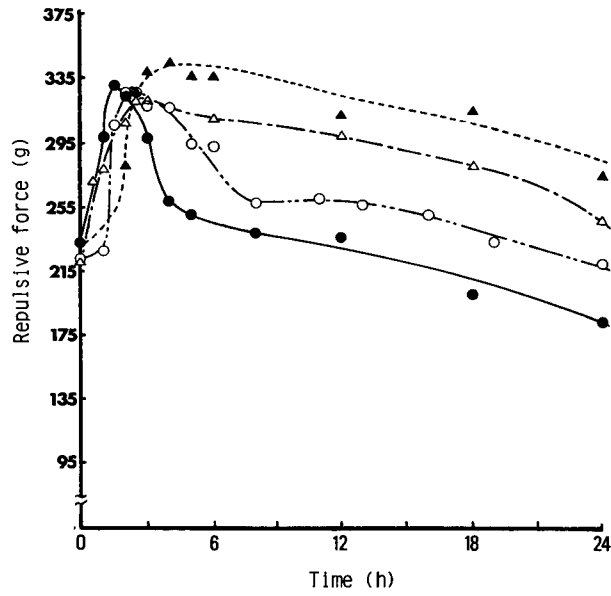


Fig. 2. Changes in hardness of the body of fall chum salmon during storage at 0°C-1°C.
 ○---○ Electric slaughtering; ●---● Suffocation; △---△ Gill cut off and bleeding;
 ▲---▲ Clubbing to death.

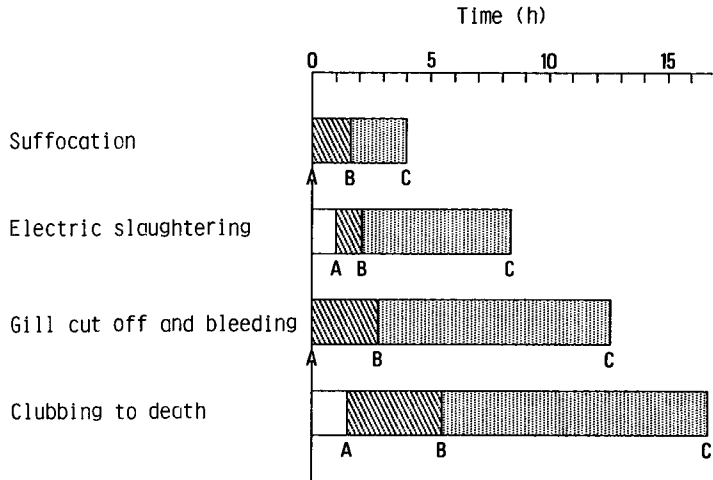


Fig. 3. Elapse of rigor mortis of fall chum salmon during storage at 0°C-1°C.
 A: Onset of rigor mortis; B: Full rigor; C: Relaxation of rigor.

一旦切り離された場合は筋肉の硬さと硬直度とは相関しないと説明される。実際、目視による硬直度と魚体の硬度の計測値とはよく一致していた。これは筋肉が緊張して硬くなることと同じ理由によるものと考えられる。したがって、本方法は極めて簡便に測定できることから測定箇所や測定回数をできるだけ多くすれば、硬直度測定にも応用でき得るのではないかと考えられるが、いずれにしても今後はサケのような形状の魚にも適用できる硬直度測定法の確立が強く望まれる。

魚体が柔らかくなるまでの時間(図3)は撲殺法が最も長く、次いでエラ切り放血法、電気即殺法となり、苦悶死は最も短くなった。前述のようにエラ切り放血法ではすぐに死に至らないために苦悶時間が結果的には長く、死後直ちに硬直を開始したが、魚体が柔らかくなるまでの時間は比較的長いことが認められた。

K値の変化 秋サケの場合、K値の上昇が他の魚種よりも早い^{22,3)}、K値そのものが商品価値を左右することは事実上殆どない。しかし、致死条件の違いによる死後変化の差を検討するため、この点の比較を行った。HPLCによって酸可溶性ヌクレオチド類を定量、K値を算出し、その経時変化について検討した結果、図4に示すように明らかに苦悶死区とエラ切り放血区のK値上昇が早いことが認められた。これは苦悶の程度以上にその時間がK値に大きく影響することを示している。電気即殺法は魚体が柔らかくなるまでの時間が比較的早かったが、K値の上昇抑制という点では優れていた。千葉ら²⁵⁾は³¹P-NMRを用いてシマドジョウに対する電気ショックの影響を調べ、電気ショックによって筋肉の強収縮状態が続く結果、強度の疲労状態に陥り、その疲労のために不動化してしまうことを認めている。またWaadeとKesbeke²⁶⁾はキンギョの白筋では電気刺激後、ATP、アスパラギン酸化合物、アデニル酸化合物系のエネルギーチャージの低下、アデニル酸、イノシン酸の濃度の増加、赤筋では乳酸量の増大をみている。イノシン酸の濃度の増大は今回の実験でも認められ、電気即殺区が死後約2時間目までは最も高かった(図省略)。ま

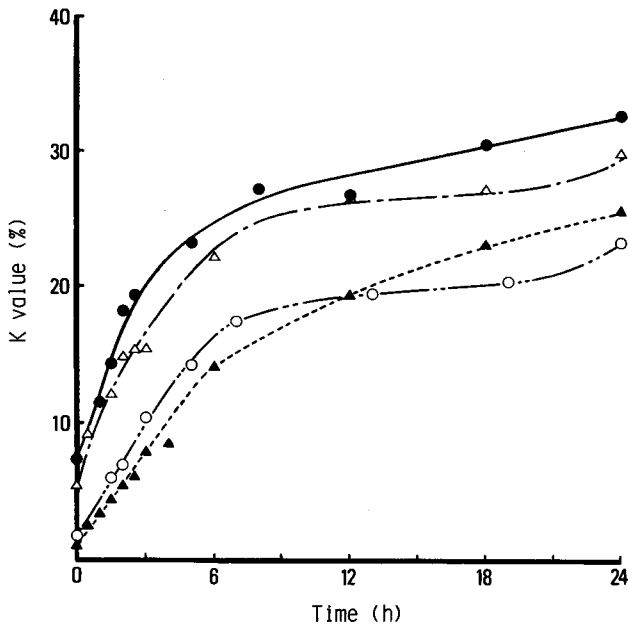


Fig. 4. Changes in "K" value of fall chum salmon muscle during storage at 0°C-1°C. Symbols are the same as in Fig. 2.

た、乳酸量も約 $60 \mu\text{mol/g}$ 筋肉に達しており (図省略)、この点では千葉ら²⁵⁾ の結果と一致した。しかし、本秋サケによる実験の場合は千葉ら²⁵⁾ の場合とは異なり、電気刺激を連続ではなくパルスで送っており、これによって筋肉の強収縮による消耗をある程度抑えているものと考えられる。

筋小胞体画分中のカルシウム量 筋小胞体画分中のカルシウム量について調べた結果、タンパク 1 mg 当たりのカルシウム量は 18.4 nmol から 8.0 nmol へと通電区は撲殺区の約 $1/2$ になっていることを認めた。また、そのときの血清中のカルシウム量は 2.26 mmol/l (対照区) から 2.32 mmol/l (通電区) へと上昇していた。このことから、電気ショックにより筋小胞体その他の膜構造からカルシウムが遊離したことが示唆された。

エラ切り放血法の効果 先に述べたようにエラ切り放血法は解硬時間が比較的ながいという点では幾分優れてはいるものの、死後直ちに硬直を開始し K 値の上昇もやや早いことは、労力を要する割には長所が少ないと断定せざるを得ない。しかし、ノルウェーでは現実に大西洋サケ (*Salmo salar*) のエラ切り、血抜きを行って出荷し、実際に品質の保持効果を上げていることから、秋サケにおいても長期冷凍保存を行う場合にはその品質保持効果が期待される。そこで、脱血、未脱血の秋サケ 3 尾ずつの背肉を -20°C で 1 年間凍結保存し、貯蔵後の品質の比較を行った。その結果、カルボニル価は脱血区、未脱血区ともに $7.5\text{--}12.3 \text{ (meq/kg)}$ 、TBA 価は両区ともに $2.5\text{--}4.5 \text{ (mmol/kg)}$ となり、ともに差は認められなかったが、においセンサーによる計測では脱血区が $35.8\text{--}47.4 \mu\text{g}$ (センサー膜への吸着量) であったのに対し、未脱血区は $46.3\text{--}60.6 \mu\text{g}$ と明らかに高い値を

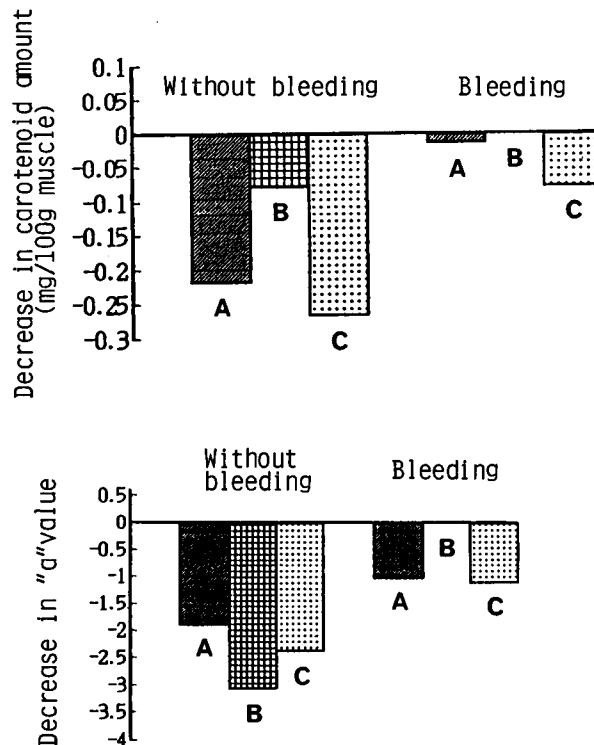


Fig. 5. Comparison of the carotenoid amount and the "a" value between the bleeding and unbleeding fall chum salmon after storage at -20°C for a year. A, B, and C represents individual fish.

示し、さらに総カロテノイド量の減少と a 値の低下 (図 5) も明らかに未脱血区が大きく (カロテノイド量は未脱血区が 0.1-0.25 mg/100 g 筋肉も減少しているのに対し、脱血区では 0-0.1 mg/100 g 筋肉しか減少していない)、とくにサケ特有の肉色の保持に対して脱血が明らかに有効であることを認めた。脱血区、未脱血区ともに脂質の変敗の程度に差が認められず、かつ未脱血区でカロテノイド量の減少が比較的大きかったことはカロテノイドの脂質酸化防止効果によるものとも考えることができる。しかし、一方、においセンサーの応答が未脱血区で高い値を示したことは、既に脂質の変敗がもどり臭のレベルで進行していることを示しているといえよう。

総合評価 硬直開始の有無により判断すると、最も優れている方法は撲殺法、ついで電気即殺法、エラ切り放血法と苦悶死はほぼ同程度といえることができる。しかし、秋サケの場合、硬直の開始時間が短く、事実上は死後硬直の持続が鮮度判定の基準となるからこれを基準とすると撲殺法、エラ切り放血法、電気即殺法、苦悶死の順となる。電気即殺法においては最も消耗度の少ない電圧、電流、パルス、時間の関係を見いだす最適化の努力をすればさらに優れた結果が得られるものと予想される。エラ切り放血法は長期間の肉色保持には有効な手段であるが、漁労の現場では撲殺法と同様に労力が掛かり過ぎるために現実には困難である。

以上、秋サケの致死条件と品質との関係を論じてきたが、ここで強調しなければならないことは本報における比較検討はあくまでも死に至らしめた魚が 0°C 付近に厳密に保存された場合のことである。つまり、漁労現場やその後の流通の過程で仮に魚の死後ごく短い時間であったとしても一旦魚体温が 20°C 近くにもなるような状況におかれてしまうと、とくに秋サケでは急激な速さで種々の鮮度低下に関わる酵素が働いてしまい、短時間のうちに鮮度低下して即殺の効果はほとんどなくなるということである。

この点においては魚を先ず低温におく海水水法は最も根本的な鮮度保持の手段であり、確実性の高い方法であると言える。海水水法の実態は当実験で行ったような魚が遊泳できるほどの余裕をもったものではなく、魚を過密に詰めて苦悶を強いる状態にある。しかし、魚の活動はそれほど活発でなく、川村ら³⁾が示しているように死後 6-7 時間で K 値が苦悶魚と即殺魚の間で 10 程度の差しか見られない。

したがって、まだまだ多くの地域で漁獲魚の低温管理すら充分でない現状を考えると、先ずは一貫して魚を海水水もしくは水氷で低温管理することが秋サケの品質保持の基本条件であるといえよう。しかる後にはじめて即殺条件の差も意味をもつようになる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、御援助賜った北海道定置漁業協会専務理事の高間貞敏氏、並々ならぬ御協力を賜った当学部食品製造学講座の川合祐史氏、北海道立稚内水産試験場の菅原 玲氏、茂辺地漁協ならびに鹿部漁協の方々に感謝の意を表する。

文 献

- 1) 岡 弘康, 大野一仁, 二宮順一郎 (1990). 養殖ハマチの致死条件と冷蔵中における魚肉の硬さとの関係. 日水誌, **56**, 1673-1678.
- 2) 川村 満, 山内寿一, 福田 裕, 島田俊雄, 柞木田善治, 石川 哲 (1983). ブナサケ魚肉利用加工研究 [II]. 青森県水産加工研報告, 24-57.
- 3) 川村 満, 山内寿一, 福田 裕, 島田俊雄, 柞木田善治, 石川 哲 (1984). ブナサケ魚肉利用加工研究 [III]. 同誌, 61-99.
- 4) 上村俊一, 草場隆一, 武智文子 (1985). ブナサケの利用加工に関する研究. 昭和 57-59 年指定調

- 査研究総合助成事業 (利用加工). 報告書, 1-58.
- 5) Poluter, R.G., Curran, C.A. and Disney, J.G. (1981). Chilling storage of tropical and temperate water fish differences and similarities. p. 111-123. In international institute of refrigeration (ed.). *Advances in technology in the chilling, freezing processing, storage and transport of fish, especially underutilized species*. Paris.
 - 6) 岩本宗昭, 井岡素子, 山中英明 (1985). マダイの死後硬直と貯蔵温度との関係. 日水誌, **51**, 443-446.
 - 7) Iwamoto, M., Yamanaka, H., Watabe, S. and Hashimoto, K. (1987). Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *paralichthys olivaceus* muscle. *J. Food Sci.*, **52**, 1514-1517.
 - 8) Iwamoto, M., Yamanaka, H., Abe, H., Ushio, H., Watabe, S. and Hashimoto, K. (1988). ATP and creatine phosphate breakdown in spiked plaice muscle during storage, and activities of some enzymes involved. *Ibid.* **53**, 1662-1665.
 - 9) 豊原治彦, 志水 寛 (1988). 魚体の死後硬直現象と魚肉の物性の関係, 日水誌, **54**, 1795-1798.
 - 10) Watabe, S., Ushio, H., Iwamoto, M., Kamal, M., Ioka, H. and Hashimoto, K. (1989). Rigor-mortis progress of sardine and Mackerel in association with ATP degradation and lactate accumulation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 1833-1839.
 - 11) 岩本宗昭, 山中英明, 阿部宏喜, 渡部終五, 橋本周久 (1990). 二, 三海産魚における死後変化の進行と貯蔵温度の影響. 日水誌, **56**, 93-99.
 - 12) 岩本宗昭, 山中英明, 渡部終五, 橋本周久 (1990). 天然および養殖ヒラメの死後硬直の進行の比較. 同誌, **56**, 101-104.
 - 13) 岩本宗昭, 山中英明, 渡部終五, 橋本周久 (1991). 種々の貯蔵温度におけるイタヤガイ閉殻筋中の ATP 関連化合物の消長. 同誌, **57**, 153-156.
 - 14) Ando, M., Toyohara, H., Shimizu, Y. and Sakaguchi, M. (1991). Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1165-1169.
 - 15) 岩本宗昭, 山中英明 (1991). 魚の“生き”の保持. 化学と生物, **29**, 282-283.
 - 16) Ando, S., Kodama, H., Kawai, Y. and Hatano, M. (1988). Analysis of purine nucleotides by high performance liquid chromatography. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **39**, 142-150.
 - 17) Ushio, H., Watabe, S. and Hashimoto, K. (1989). Purification and characterization of carp sarcoplasmic reticulum. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 1641-1648.
 - 18) Gornall, A.G., Bardawill, C.J. and David, M.M. (1949). Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *J. Biol. Chem.*, **177**, 751-766.
 - 19) Bligh, E.G. and Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, **37**, 911-917.
 - 20) 金田尚志・植田伸夫 (1987). 過酸化脂質の測定. p. 61. 金田尚志・植田伸夫 (編) 過酸化脂質実験法. 245 p. 医歯薬出版, 東京.
 - 21) Vyncke, W. (1970). Direct determination of the thiobarbituric acid value in trichloroacetic acid extraction of fish as a measure of oxidative rancidity. *Fette, Seifen, Anstrichm.*, **72**, 1084-1087.
 - 22) 佃 信夫 (1974). カロチノイドの分離と定量. p. 103-104. 斎藤恒行・内山 均・梅本 滋・河端俊治 (編) 水産生物化学・食品学実験書. 509 p. 恒星社厚生閣, 東京.
 - 23) 黒木敏郎 (1955). 電戦活用より見た淡水・海水と魚との関係. p. 24. 電戦漁法. 第1版. 189 p. 技報堂, 東京.
 - 24) 尾藤方通, 山田金次郎, 三雲泰子, 天野慶之 (1983). 魚の死後硬直に関する研究-I. 東海水研報, **109**, 89-96.
 - 25) 千葉 惇, 浜口雅光, 小坂政明, 朝井俊治, 徳野達也, 秩父志行 (1989). ³¹P-NMR を用いた魚に対する電気ショックの影響. 医学と生物学, **118**, 279-281.
 - 26) van Waade A. and Kesbeke, F. (1983). Gold fish muscle energy metabolism during electrical stimulation. *Comp. Biochem. Physiol.* **75B**, 635-639.