

## 炭酸ガス麻酔は養殖ギンザケの活け締め時の鎮静化に効果的に利用できるのか

野知里 優希\*1・松崎 圭佑\*2・杉本 晃一\*2・本田 亮\*3・西城 俊行\*4

Carbon dioxide anesthesia: An evaluation of their effectiveness during Ikejime  
in cultured coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)

Yuki NOCHIRI\*1, Keisuke MATSUZAKI\*2, Koichi SUGIMOTO\*2, Ryo HONDA\*3 and Toshiyuki SAIJO\*4

キーワード：炭酸ガス麻酔，ギンザケ，活け締め，鎮静化，鮮度保持効果

宮城県におけるギンザケ *Oncorhynchus kisutch* 養殖は1975年に志津川湾で始まり<sup>1)</sup>、本県が養殖ギンザケの国内生産量の8割以上を占めている。2011年に発生した東日本大震災により本県のギンザケ養殖は壊滅的な被害を受けたが、2018年の養殖生産量は約1万6千トンとなり震災以前の水準を超える生産量まで回復した<sup>2)</sup>。近年、活け締めによる鮮度保持処理を施した養殖ギンザケを「みやぎサーモン」として出荷しており、2017年からは農林水産省の地理的表示 (GI) 保護制度の認証を受け、他の養殖ギンザケとの差別化を図っている<sup>3)</sup>。

活け締めとは、漁獲後延髄に切れ込みを入れ即殺して血抜きを行う処理である<sup>4)</sup>。魚が苦悶死すると直ちに死後硬直が始まるが、活け締めを行うことで死後硬直を遅らせることができる。特に、魚介類では死直後から完全硬直までを「生き」の状態と称し、市場では活魚とほぼ同等の価値があるとされている<sup>5)</sup>。そのため、養殖ギンザケに活け締めを施すことにより、高鮮度かつ高品質な生食用のギンザケとして市場に出荷することが可能となる。

水揚げ現場では効率的に活け締めを行うため、暴れる魚を鎮静化する手法がとられる。魚類養殖の現場ではワクチンの接種時や雌雄鑑別時に麻酔剤としてオイゲノールを有効成分とするFA100 (DSファーマアニマルヘルス株式会社) が用いられる。ただし、魚類の場合は出荷前

に7日間の休薬期間が必要であり<sup>6)</sup>、活け締め時の鎮静化に利用することができない。そのため、宮城県のギンザケ水揚げ現場では、主に棍棒による殴打や電気タモ等による電気ショックによりギンザケの鎮静化を図っている。しかし、棍棒による殴打の場合、1尾ずつ殴打した後に活け締めを行うため、作業効率が悪く、大量処理には向かない。また、電気タモでは、電圧の調整が難しく、ギンザケが骨折するなど、適正に使用するための条件検討が必要となる。

一方、炭酸ガス (二酸化炭素) を用いて活魚搬送する魚を麻酔する試みも行われており、ニジマス *Oncorhynchus mykiss*<sup>7,8)</sup> で麻酔効果が報告されて以来、サケ科魚類ではマスノスケ *Oncorhynchus tshawytscha*<sup>7)</sup> やシロサケ *Oncorhynchus keta*<sup>9)</sup> でも効果が報告されている。使用方法は水中に炭酸水素ナトリウムと硫酸を規定量添加させる方法<sup>7)</sup> や炭酸ガスボンベから炭酸ガスを水中に通気させる方法<sup>8,9)</sup>、ドライアイスを追加する方法<sup>9)</sup> などがあり、一部のギンザケ水揚げ現場では、炭酸ガスを水中に通気させる方法で麻酔液を作製し、活け締め時の鎮静化を図っている。

そこで、本報告では炭酸ガス麻酔を導入し、活け締めを行っているギンザケ水揚げ現場に赴き、ギンザケが横たわり鎮静化するまでの時間、活け締め時の1尾あたり

\*1水産技術総合センター内水面水産試験場, \*2水産技術総合センター, \*3水産林政部水産業振興課, \*4仙沼地方振興事務所水産漁港部

の処理時間を調べ、炭酸ガス麻酔がギンザケの活け締め時の鎮静化手法として効果的に利用できるのかを検討した。また、ギンザケが炭酸ガス麻酔の浸漬中に死亡することで十分に脱血が行われない可能性が懸念されるため、予備試験として麻酔状態にしたギンザケと苦悶死させたギンザケに脱血処理を施し、脱血量の差とその様子から、炭酸ガス麻酔導入現場でギンザケが十分に脱血されているのかを検証した。

さらに、炭酸ガス麻酔を使用しても活け締めによる鮮度保持効果が得られるのかを確認するため、硬直指数とKi値の経時変化を内水面水産試験場で飼育しているギンザケを用いて検討した。

## 材料と方法

### 1 麻酔状態のギンザケの脱血量とその様子

2017年7月19日に女川町御前漁港の試験養殖生け簀から取り上げたギンザケ（平均体長 $449 \pm 27$ mm, 平均体重 $1286 \pm 250$ g）にフェノキシエタノールによる麻酔処理を施し、ギンザケの鰓をハサミで切断した。切断後、速やかに $19.8^\circ\text{C}$ の海水（麻酔区,  $n=5$ ）で30分間脱血した。また、空气中に暴露して苦悶死させたギンザケも同様に処理し、 $19.8^\circ\text{C}$ の海水中で30分間脱血した（死亡区,  $n=5$ ）。この時、各試験区の脱血は約15lの海水を入れたバケツ中で行い、脱血後のバケツ内の様子を観察した。さらに、個体ごとに鰓の切断前と脱血後の魚体重を測定し、その差を1尾あたりの脱血重量とし、血液の比重を1.0として魚体重100gあたりの脱血量を算出した。試験区ごとに平均値はウェルチのt検定を用いて、脱血量に差があるか検討した。

### 2 炭酸ガス麻酔導入現場における調査

2016年6月9日に女川町竹浦漁港の海面養殖ギンザケの水揚げ現場にて、炭酸ガス麻酔を用いてギンザケの活け締めを実施した。400lの海水（水温 $16.0^\circ\text{C}$ ）に分散器を用いてポンプから炭酸ガスを25l/分以上で3分間通気して、麻酔液を作製した。1回あたり約300尾のギンザケ（平均体重1.5～2kg）を麻酔液に浸漬し、鎮静化後に取り上げ、活け締め器具（図1）を用いて延髄と動脈を切断し、海水氷中に投下した。ギンザケを麻酔液に浸漬させ、

延髄と動脈の切断および海水氷中に投下までの工程を5回繰り返し、各浸漬後の麻酔液のpHと、全てのギンザケが横たわり鎮静化するまでの時間（以下、麻酔時間）を測定した。この時、1回目と3回目に延髄と動脈を切断したギンザケ（各回8尾）を約15lの海水（水温 $16.0^\circ\text{C}$ ）が入ったバケツに移した。1の試験で得られた結果をもとに、目視にて、バケツ内の海水が血液で赤く鮮明に染まったら「+」、脱血がほぼ見られず海水が透明であれば「-」とし、十分に脱血が行われているか判断した。

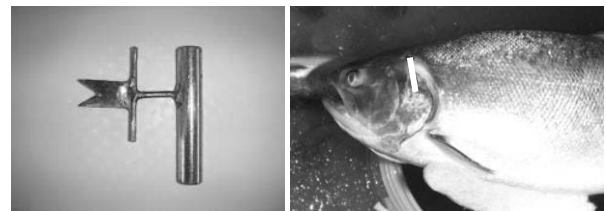
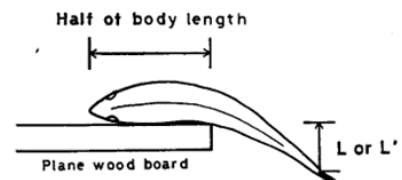


図1 活け締め器具（白線の箇所突き刺す）

また、活け締め時の1尾あたりの処理時間を計測した。処理時間は麻酔液からギンザケをすくい上げ、作業台にギンザケを置いた時点から、延髄と動脈を切断し、海水氷中に投下するまでの時間とした。測定は水揚げを通して計6回実施した。この時、活け締め作業に従事する人数は4人であった。

### 3 硬直指数の経時変化

2016年9月26日に内水面水産試験場で淡水飼育しているギンザケ（体長 $345 \pm 8$  mm, 体重 $611 \pm 43$ g）を用いて、硬直指数を測定した。100lの淡水（ $11.3^\circ\text{C}$ ）に分散器を用いてポンプから炭酸ガスを20l/分で3分間通気して、麻酔液を作製した。試験区はギンザケを麻酔液に浸漬し、鎮静化した後に延髄と動脈を切断し、 $11.3^\circ\text{C}$ の淡水で脱



L : 死直後の垂れ下がりの値  
L' : 各時間の垂れ下がりの値  
硬直指数 =  $(L - L') / L \times 100$

図2 硬直指数の測定（尾藤ら<sup>10)</sup>の図を一部修正）

## 炭酸ガス麻酔による養殖ギンザケの活け締め時の鎮静化

血した区（炭酸ガス麻酔区）、ギンザケの頭部を棍棒で殴打し、鎮静化した後に延髄と動脈を切断し、11.3℃の淡水で脱血した区（殴打区）およびギンザケを空气中に暴露して死に至らせた区（苦悶死区）とした。この時、延髄と動脈の切断は図1の活け締め器具を用いた。各区4尾のギンザケを3～5℃で貯蔵し、経時的に硬直指数を求めた。硬直指数の測定方法は尾藤ら<sup>10)</sup>の方法に従った（図2）。

## 4 Ki値の経時的变化

2016年10月26日に内水面水産試験場で淡水飼育しているギンザケ（平均体長336±7mm, 平均体重591±49g）を用いてKi値を測定した。100lの淡水（10.9℃）に分散器を用いてボンベから炭酸ガスを20l/分で3分間通気して、麻酔液を作製した。試験区は3の試験と同様とし、炭酸ガス麻酔区および殴打区は10.9℃の淡水で脱血した。各区3尾のギンザケを3～5℃で貯蔵し、貯蔵から2時間、10時間、18時間、32時間、72時間後に背肉から1gの肉片を採取し、5～7秒間電子レンジで加熱させ、肉汁を採取した。採取した肉汁を0.45μmシリンジフィルターで濾過し、蒸留水で10倍に希釈した後、Ki値連続計測用酵素センサーシステム（商品名：バイオ・フレッシュ、新日本無線株式会社製 NJZ1219）でKi値を測定した。

$$\text{Ki値} = (\text{HxR} + \text{Hx}) / (\text{IMP} + \text{HxR} + \text{Hx}) \times 100$$

HxR：イノシン, Hx：ヒポキサンチン, IMP：イノシン酸

## 結果

## 1 麻酔状態のギンザケの脱血量とその様子

麻酔状態のギンザケの脱血量の測定値を図3に示した。

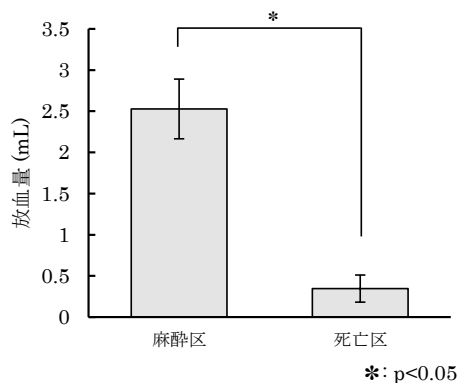


図3 各試験区の魚体重100gあたりの脱血量

魚体重100gあたりの脱血量は、麻酔区で平均2.53ml、死亡区で平均0.35mlであり、麻酔区は死亡区と比較して脱血量が有意に多かった ( $p < 0.05$ )。また、脱血時の様子を図4に示した。麻酔区はバケツ内の海水が赤く鮮明に染まり、死亡区は海水が赤く染まらず透明であった。

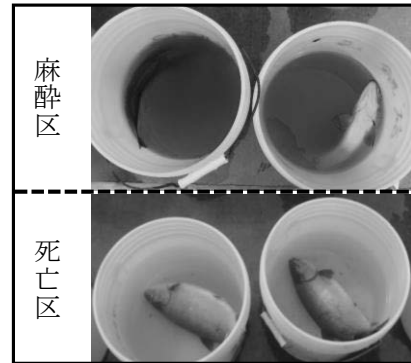


図4 各試験区の脱血時の様子

## 2 炭酸ガス麻酔導入現場における調査

麻酔液のpHの推移と麻酔時間を図5に示した。炭酸ガスを通気する前のpHは8.0であったが、通気後のpHは5.0まで低下した。ギンザケを浸漬後の麻酔液のpHは1回目が5.5であり、使用回数の増加に伴って上昇し、5回目は7.1であった。麻酔時間は1回目で1分40秒、2回目で1分20秒、3回目で2分17秒、4回目で1分36秒、5回目で1分18秒であった。

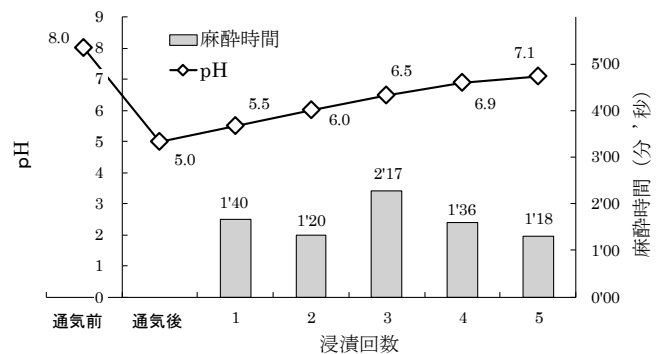


図5 麻酔液のpHの推移とギンザケの麻酔時間

1回目および3回目に延髄と動脈を切断したギンザケの様子を確認した結果、すべての個体が「+」であった（表1）。活け締め時の1尾あたりの処理時間を計測した結果を表2に示した。6回の計測を通して、1尾あたりの処理時間は0.61～1.02秒/尾であり、平均は0.91秒/尾であった。

表1 脱血の判定

個体番号	1回目	3回目
1	+	+
2	+	+
3	+	+
4	+	+
5	+	+
6	+	+
7	+	+
8	+	+

表2 ギンザケ 1尾あたりの処理時間

測定回数	処理尾数 (尾)	処理時間 (秒)	1尾あたりの処理時間 (秒/尾)
1	208	193	0.93
2	249	153	0.61
3	187	190	1.02
4	130	128	0.98
5	240	224	0.93
6	276	273	0.99
平均値	-	-	0.91

### 3 硬直指数の経時的変化

ギンザケの硬直指数の経時的変化を図6に示した。炭酸ガス麻酔区は、測定開始後2時間の硬直指数が3%となり、4時間で37%、6時間で77%、8時間で86%、10時間で88%、12時間で89%となり、完全硬直に達した。その後、32時間で26%まで低下し、47時間以降は10%を下回って推移した。殴打区は、測定開始から10時間までは、硬直指数が5%未満で推移し、12時間で13%、14時間で25%、18時間で54%、22時間で75%、26時間で78%となり完全硬直に達した。その後、55時間で23%、72時間で10%を下回

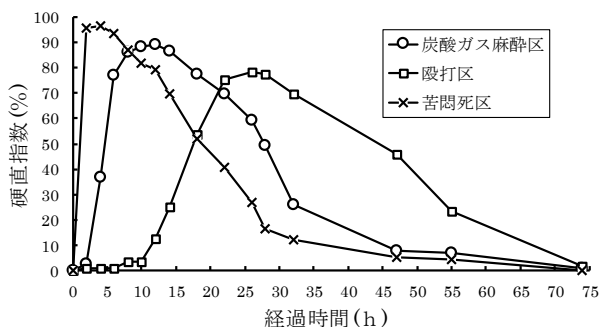


図6 各処理区の硬直指数の経時的変化

た。苦悶死区は、測定開始後2時間で硬直指数が95%に上昇し、4時間で96%となり完全硬直に達した。その後、32時間で12%まで低下し、47時間以降は10%を下回って推移した。完全硬直に達する時間は苦悶死区が4時間と最も短く、殴打区が26時間と最も長かった。炭酸ガス麻酔区の完全硬直に達するまでの時間は12時間であり、苦悶死区と殴打区の間値を示した。

### 4 Ki値の経時的変化

各試験区のKi値の経過時間ごとの推移を図7に示した。炭酸ガス麻酔区は、死後2時間で19.8%、10時間で23.7%、18時間で24.4%、32時間で30.8%、74時間で41.4%であった。殴打区は死後2時間で12.7%、10時間で19.7%、18時間で22.3%、32時間で27.6%、74時間で33.4%であった。苦悶死区は死後2時間で24.7%、10時間で30.8%、18時間で31.1%、32時間で32.9%、74時間で36.3%であった。炭酸ガス麻酔区では死後74時間で苦悶死区を上回り最大値となった。

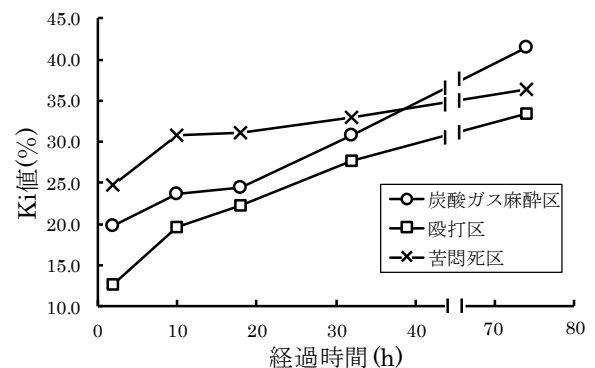


図7 各試験区のKi値の経時的変化

### 考察

#### 炭酸ガス麻酔による養殖ギンザケの鎮静化

炭酸ガス麻酔がギンザケの活け締め時の鎮静化手法として効果的に利用できるのかを検討した。本試験では正確な炭酸ガス濃度を調べることが出来なかったため、pHを炭酸ガスが水中に溶け込む目安として利用した。海水中に炭酸ガスを通気することで、pHは5.0まで低下し、酸性に傾いたことが確認された。これは、山本ら<sup>9)</sup>と同様の傾向を示しており、海水中に炭酸ガスが溶け込んだと

### 炭酸ガス麻酔による養殖ギンザケの活け締め時の鎮静化

考えられた。また、麻酔液を連続使用することで、麻酔液のpHが上昇し、麻酔時間が長くなる傾向が認められている<sup>9)</sup>。今回作製した麻酔液を連続で5回使用すると、pHの値が上昇し、麻酔時間も1回目で1分40秒、3回目で2分17秒と長くなる傾向が見られた。しかし、4回目と5回目では、それぞれ1分36秒、1分18秒となり、それ以前の使用時と比較して麻酔時間が短くなる傾向が見られた。今回の水揚げでは、生け簀内のギンザケをタモで掬いやすくするため、網を寄せており、その影響で調査の後半には生け簀内に疲弊したギンザケが観察された。すなわち、4回目と5回目の麻酔時間が短くなった原因として、生け簀内のギンザケが既に疲弊しており鎮静化しやすくなった可能性が考えられた。

活け締めは漁獲後延髄に切れ込みを入れ即殺して血抜きを行うため、生きた状態の魚を処理する必要がある。予備試験ではフェノキシエタノールで麻酔状態となったギンザケと死亡させたギンザケの鰓を切断したところ、脱血量に有意な差が認められたことから、死亡したギンザケに比べ麻酔状態のギンザケは十分に脱血できていたと考えられた。炭酸ガス麻酔を導入した水揚げ現場では、活け締め器を用いて動脈を切断しているため、麻酔方法と脱血手法が予備試験とは異なるが、脱血時のバケツ内の様子は予備試験と同様に赤く鮮明に染まっていたことから、炭酸ガス麻酔による斃死は見られず、十分に脱血できたと考えられた。

活け締め時の1尾あたりの処理時間を計測した結果、0.61～1.02秒/尾であった。麻酔液から作業台に移したギンザケに暴れる様子はなく、延髄と動脈の切断作業が手際よく行われていた。実施条件等は異なるが、生簀から作業台に移したギンザケの頭部を棍棒で殴打しながら活け締めした場合の処理時間は2.01秒/尾であり<sup>11)</sup>、炭酸ガス麻酔を使用することで、少なくとも作業効率が約2倍に向上した。電気ダモにより鎮静化させた場合の処理時間は、1.22秒/尾であり<sup>11)</sup>、同等以上の作業効率の向上が図られた。ただし、炭酸ガス麻酔の場合、生簀からギンザケを取り上げた後に、麻酔液に1度浸漬する工程があることを留意する必要がある。

これらの結果から、ギンザケの水揚げ現場において、活け締め時に炭酸ガス麻酔を使用することで、約300尾のギンザケを最長で2分17秒で鎮静化させることが可能

であり、麻酔時の斃死も見られず、十分に脱血されていたと考えられた。また、頭部を殴打する場合と比較して、作業効率が約2倍に向上することが明らかになった。このことから、炭酸ガス麻酔がギンザケの活け締め時の鎮静化において効果的に利用できると考えられた。

### 炭酸ガス麻酔を使用した場合の鮮度保持効果

硬直指数を測定した結果、殴打区は苦悶死区よりも完全硬直に達する時間が遅くなっており、過去の知見<sup>12)</sup>とほぼ同様の結果が得られた。一方で、炭酸ガス麻酔区は苦悶死区よりも完全硬直に達する時間が遅くなったが、殴打区よりも完全硬直に達する時間が早まった。さらに、Ki値を測定した結果、32時間までは炭酸ガス麻酔区は苦悶死区よりも値が低く推移したが、殴打区よりも高い値で推移した。これらの結果から、活け締め時にギンザケの頭部を殴打する方法と比較して炭酸ガス麻酔を使用することにより、活け締めによる鮮度保持効果が低減することが明らかになった。

死後硬直は魚類死後にアデノシン三リン酸 (ATP) 合成に至る代謝経路が遮断されたまま筋原繊維の働きによってATPが枯渇し、収縮性タンパク質であるミオシンとアクチンが不可逆的に結合し筋肉が弾性を失った状態であるとされており<sup>13)</sup>、マダイ *Pagrus major* ではATPの減少に伴い、硬直指数が上昇する傾向が見られる<sup>5)</sup>。このことから、炭酸ガス麻酔区は殴打区よりも完全硬直に達するまでの時間が早まっているため、硬直指数を測定する時点で既にギンザケ自身のATPが減少していた可能性がある。また、魚介類筋肉中のATPはアデノシン二リン酸 (ADP)、アデノシンリン酸 (AMP)、イノシン酸 (IMP) に速やかに分解され、さらにイノシン (HxR)、ヒポキサンチン (Hx) の順に分解されていく<sup>14)</sup>。Ki値は筋肉中のIMP、HxR、Hx中のHxRとHxの割合で示されているため、炭酸ガス麻酔区は既にATPの分解が進んでおり、殴打区よりもKi値が高く推移した可能性がある。以上のことから、炭酸ガス麻酔はギンザケのATPを低下させる、もしくは活け締め後のATPの分解を速めていると推測された。

コイ *Cyprinus carpio* に激しい運動負荷を与えた場合、運動負荷直後の筋肉中のATPが減少すると報告されている<sup>15)</sup>。また、コイに炭酸ガス麻酔を使用すると、麻酔状態

になるまでに「鼻上げ様の行動を示しながら激しく狂奔する」と報告されており<sup>16)</sup>、さらに死後直後の筋肉中のATPが即殺した個体と比較して低いことが示されている<sup>17)</sup>。実際にギンザケに炭酸ガス麻酔を使用すると、麻酔状態になるまでに激しく狂奔する様子が観察されるため、ギンザケが暴れることにより自身のATPを消費していると考えられた。ただし、三倍体ニジマスでは、炭酸ガス麻酔を使用しても死後硬直が早まる結果は認められず<sup>18)</sup>、倍数性または魚種の違いにより炭酸ガス麻酔に対する影響が異なると考えられた。

本試験では、炭酸ガス麻酔がギンザケの活け締め時の鎮静化手法として効果的に利用できるのかを検討し、さらに炭酸ガス麻酔を使用しても活け締めによる鮮度保持効果が得られるのかを検討した。炭酸ガス麻酔は炭酸ガスをボンベから通気するだけで容易に麻酔液を作製でき、短時間で大量のギンザケを鎮静化させることが可能であった。しかし、鮮度保持効果はギンザケを苦悶死させた場合より高いが、殴打による鎮静化後に活け締めした場合と比べ、劣る結果となった。そのため、炭酸ガス麻酔を使用する場合は、活け締めにより得られた鮮度保持効果を少しでも長く維持させるため、ギンザケに適した温度での貯蔵<sup>12)</sup>やギンザケフィレのアルコールブライン凍結<sup>11)</sup>など、活け締め後に適切な鮮度管理が必要となる。

## 要 約

養殖ギンザケの水揚げ現場で、炭酸ガス麻酔がギンザケの活け締め時の鎮静化手法として効果的に利用できるのかを検討した。その結果、炭酸ガス麻酔はギンザケの頭部を殴打する場合より効率的に鎮静化できることが明らかになった。しかし、炭酸ガス麻酔で鎮静化後にギンザケの活け締めを行うと、棍棒で殴打した後に活け締めを行った個体と比較して、完全硬直までの時間が早く、 $K_i$ 値が高い値で推移していた。これらの結果から、炭酸ガス麻酔はギンザケの活け締め時の鎮静化に効果的に利用できるが、頭部を殴打する鎮静化手法と比較して、鮮度保持効果が低減することが示唆された。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、快く調査に御協力して頂いた宮城県漁業協同組合の皆様には、厚く御礼申し上げます。また、本研究の推進にご協力いただいた内水面水産試験場職員ならびに水産加工開発部職員に心から感謝申し上げます。本研究は平成28～29年度宮城県養殖振興プラン推進事業にて実施した。

## 参考文献

- 1) 石田信正 (1986) 銀鮭養殖ハンドブック, 13, 北海道, 北海道北海水産新聞社, 167pp.
- 2) 農林水産省 (2019) 農林水産統計 平成30年漁業・養殖業生産統計.37-41
- 3) 地理的表示 (GI) 保護制度登録の公示 (登録番号第31号), 農林水産省HP ([http://www.maff.go.jp/j/shokusan/gi\\_act/register/31.html](http://www.maff.go.jp/j/shokusan/gi_act/register/31.html))
- 4) 竹内俊郎・中田英明・和田時夫・上田宏・有元貴文・渡部終五・中前明・橋本牧 (2017) 水産海洋ハンドブック, 第3版, 316, 東京, 生物研究社, 662pp
- 5) 山中英明 (2002) 魚介類の死後変化と品質. 日水誌, **68** (1), 5-14.
- 6) 農林水産省 (2019) 水産用医薬品の使用について. 第32報.
- 7) Fish, F. F (1943) The anaesthesia of fish by high carbon dioxide concentrations. Trans. Am. Fish. Soc., **72**, 25-29
- 8) Bernier, N. J. and D. J. Randall (1998) Carbon dioxide anaesthesia in rainbow trout: effects of hypercapnic level and stress on induction and recovery from anaesthetic treatment. J. Fish Biol., **52**, 621-637
- 9) 山本岳男・渡辺研一・今井智・大貫努・飯田真也・細川隆良・中島歩 (2008) サケ親魚に対する炭酸ガスの麻酔効果-ドライアイスとボンベを用いて-. SALMON情報, **2**, 8-10.

## 炭酸ガス麻酔による養殖ギンザケの活け締め時の鎮静化

- 10) 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. 東海区水産研究所研究報告, 109, 89-96.
- 11) 黒川忠英・栗田潤・熊谷明・戸川富喜・井出伸一郎・菊池潔・高橋義文 (2018) 東日本大震災からの宮城県産養殖ギンザケ復活への取り組み. JATAFFジャーナル, **6** (3), 40-44.
- 12) 尾形政美・小林徳光・湯沢麻美 (1994) 養殖ギンザケの水揚げ方法と鮮度変化について. 平成3・4年度宮城県水産加工研究所事業報告, 宮城県水産加工研究所. 72-75.
- 13) 渡部終五・糸井史郎 (2004) 水産物の品質・鮮度とその高度保持技術. 水産学シリーズ141, 初版, 11-12, 東京, 恒星社厚生閣, 147pp
- 14) 松岡英明・渡邊悦生 (1999) 鮮度を測る. 化学と教育 **47** (10), 674-677.
- 15) Sugita, T., Shimeno, S., Nakano, N., Hosokawa, H. and Masumoto, T. (2001) Response of enzyme activities and metabolic intermediate concentrations to a long burst of exercise and following resting in muscle and the hepatopancreas of carp. *Fish Sci*, **67**, 904-911.
- 16) 竹田達右・板沢靖男 (1983) 二酸化炭素麻酔の活魚輸送への応用可能性の検討. 日水誌, **49** (5), 725-731
- 17) Yokoyama, Y., Kawai, F. and Kanamori, M. (1993) Effect of Cold-CO<sub>2</sub> Anesthesia on Postmortem Levels of ATP-Related Compound, pH, and Glycogen in Carp Muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59** (12), 2047-2052.
- 18) 前田譲 (2016) 売れるマス類生産技術開発事業 大型ニジマスの鮮度保持. 平成25年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 1-4.