

簡易冷水製造装置および低水温 活魚蓄養試験について

本多真壽・小野為義・遠藤克彦・佐藤忠勝

Test on the Live Fish Keeping of Low Temperature by the Simple Plant of Cold Water Making

Shinju HONDA, Tameyoshi ONO, Katushiko ENDO and Tadakatsu SATO

まえがき

限られた魚船容積に、可及的多量に活魚を収容すれば、槽内の水は魚の呼吸によって、容存酸素量が減少し、同時に炭酸ガス、アンモニア、魚の吐出物、粘質物により懸濁し、バクテリアが繁殖するなど、水質汚濁の要因を招き蓄養環境を悪化する。^{1) 2) 3)}

この対策の一環として、低水温蓄養により魚の代謝量を抑え、酸素消費量を少なくして、可及的蓄養量を増す手段として、今回小型漁船(5 ton級)を対象として、冷水製造装置である小型冷凍機を駆動する方法として、補機等を増設しないで、主機を駆動源として不規則変動運転による利用可否、および低水温によるカレイ類の酸素消費量測定、並びに活魚船への蓄養許容量の推測を行ったので、その概要を報告する。

実験ならびに調査方法

漁船活魚船蓄養の実態調査

調査地区は、活魚を扱う中核漁協である県中央以北の請戸、鹿島、原釜、新地の主として新しい5 ton船を選んで調査した。

調査方法は、乗船調査および陸上調査で、当業船の運航実態調査には、請戸、鹿島漁協の6隻について通常の操業状態で乗船し、その実態を調査した。陸上調査は聞き取りおよび実測を行った。

チューリングユニットの陸上実験

1. 使用実験施設の概要

1.1 圧縮機	型式	開放型 8/B-O W	所要出力	0.75 KW
	冷凍容量	1.25 Kcal/h	冷媒	R-12
	吐出量	6.75 m ³ /h	回転数	720 rpm
1.2 原動機	型式	ダイヤibvc-1a (船用主機関用)		
	常用出力	4 ps	回転数	1,000 rpm

1.3 被冷却水槽および凝縮器用水槽 試用水槽は既存のもので、木製、大きき横170 cm×縦85 cm×深さ50 cm、内容積0.722 m³、ただし冷却水量は中仕切を施して0.35 m³とした。

被冷却水槽の外部は、発泡スチロール材(50 mm)によって、全面を被覆し断熱施工を構じた。凝縮器用水槽は単に開放し、断熱処理は行なわず圧縮機運転中は、水道水を流して溝槽とし水温が上らないようにした。

2. 冷却方法および放熱方法 海水冷却方法は、被冷却水槽に直接蒸発管を配管する直接冷却方式とし、放熱方法は別の水槽に凝縮管を直接配管する簡単な方法とした。

また今回のテストでは、受液器を省いた仮の施設とした。

3. 冷水製造試験

3.1 定速運転 原動機を一定の回転とし、冷凍機は全出力の定速運転で約7時間冷却した。

被冷却水は清水で、水量は漁船活魚蓄養艙の標準水量である0.35 m³とした。外気温は約20℃であった。

3.2 変速運転 原動機と圧縮機の回転数関係は、次のように設定した。圧縮機を規定回転数の570 rpmのとき、原動機の回転数を790 rpmとした。

船の往復航時には全速航走となるので、主機関規定回転数の1,000 rpmで運転すると、圧縮機は950 rpmとなり約126%の過負荷となる。また漁労中や作業待期中は、低速回転の約550 rpmであるので、約60%の負荷で軽負荷となる組合せに設定した。実験時の原動機回転数は、先に小型漁船の運航実態調査を実施した鹿島漁協花園丸(5 ton)の記録に、出港から入港までの主機回転数が、克明に記載されているので、これを利用し、これと全く同じ回転数で駆動した。被冷却水量は0.35 m³とし、外気温は約20℃であった。

低水温によるカレイ類の酸素消費量測定および漁船活魚蓄養最大許容量の推測

既往文献などに、魚類の酸素消費量測定は、多くの研究者による資料があるが、¹⁾²⁾³⁾今回必要とするカレイ類の10℃以下における測定値は、知ることができなかったため、先ずこの値を止水式で計測し、これを参考にして、漁船活魚艙に蓄養できる最大許容量を推算してみた。

1. 水温10℃におけるヒラメの酸素消費量測定 測定する海水50ℓをポリエチレン袋に入れ、これをポリ容器に収容した。この容器を10℃の冷水槽に浸し、試水表面を露出して24時間静止しておいた。冷水槽の水は常に10℃になるよう冷凍機を使い調温した。測定方法は、試水を入れたポリエチレン袋に、水温計の感温部と試水取出し用の細いビニールホースを差込んだ後、空気を完全に抜き密閉した状態で5時間連続測定を実施した。

これに試魚のヒラメ体重2.8 Kgのものを、別の活魚槽の常温21℃の海水に活かしておき、刺激を与えないよう配慮しながら取出し、温度差11℃低い試水に急に移入した。

2. 水温5℃におけるイシガレイの酸素消費量測定 前回の水温10℃における測定には、ヒラメを用いたので、同魚種を試用したかったが入手困難のため、止むを得ずイシガレイを用いた。

同じ要領でポリエチレン袋に、測定する海水50ℓ、水温5℃のものを入れる。これを予め用意しておいた冷水5℃の水槽に浸し、これらの海水の温度は、常に5℃前後に保つよう冷凍機により調整した。次に試魚のイシガレイ体重900 gのものを、別の水槽で水温9.8℃の海水に活かしておき、刺激を与えないよう静かに取出し、水温5℃の試水に移入し、前回と同じ方法で連続7時間測定を実施した。

結 果

漁船活魚蓄養の実態調査

1. 蓄養魚種、魚量、時間 活魚を漁獲する漁船は、約5 tonの底刺網漁業が主で、魚種はイシガレイ、ヒラメ、ババガレイ、スズキ、アナゴ、イナダ、アイナメ、メバル、コチ、タイ、フグ、カニ、タ

コなど多種におよんでおり、主として底棲性魚類のイシガレイ、ヒラメで約半数を占めている。

蓄養量は、一般的には50Kg内外、最大500Kg位活かすこともある。蓄養時間は、操業開始から市場水揚げまで、約3時間～6時間で、平均4時間位になっている。

2. 斃死量 漁場で漁獲された活魚をできるだけ死なせないで、活力のある魚を生産地市場に水揚げすることが理想であるが、漁獲工程および狭い魚艙の蓄養など、過酷な条件と急激な環境変化により死魚も多くなっている。夏期にヒラメ、スズキなどをつい無理して多量に蓄養したときなどは、全死することもしばしばである。これら運搬上に起因して、止むなく死魚として水揚げせざるを得ないと推測される量は、およそ3～4割になるものと思われる。

3. 活魚艙 活魚艙は、主として船甲板中央に大型のもの1艙と、この前面に同型または小型のもの1艙を設けるのが一般的である。また両サイドに小型のもの2艙を加えている船もあるが、この場合は中央のものがやゝ小型となっている。水量は大型のもので吃水線下約0.5 m^3 位である。

4. 換水 換水方法は、艙底に設けた数個の換水孔から航走時の流圧による自然換水、および主機関冷却水ポンプや散水ポンプを用いて、強制排出による換水をしている船もある。

FRP船になってからは、船底部形状を任意に成形できるようになったので、換水孔部分を流入し易い形状となし、注水を非常によくしている船もある。しかしこれは、あくまでも航走時のみ有効であり、最も必要とする漁労中など長時間にわたる停船時には、ほとんど換水がなく、かつカレイ類が換水孔を被覆し、密栓状態となり水の出入を止め、水質の悪化を促している。

5. 酸素ポンプによる曝気 冬期以外は酸素ポンプによる曝気を行うが、この消費量はポンプ(7 $\text{m}^3 \times 150\text{Kg}$)1本を約1～2日で消費し、経済的負担が大きい。またポンプの積み下ろし作業は、重量物のため煩勞であり、かつ作業甲板面積を占有し、漁労作業の活動行程を阻害している。

酸素ポンプの所要経費は、1隻年間およそ15万円位になるものと推定される。

6. 蓄養水温と氷の利用 蓄養水温は、冬期で外海水そのまゝの水温の10 $^{\circ}\text{C}$ 前後、夏期は通常氷を使用して水温を下げている、外海水温より3 $^{\circ}\text{C}$ ～4 $^{\circ}\text{C}$ 低い22 $^{\circ}\text{C}$ 前後となっている。

氷の使用量は、外海水温、気温、漁獲量によって異なるが、連日67Kg～135Kg位積んでいる。

氷は漁がなくとも、休漁してもそのまま解氷してしまい浪費が多い。

氷の消費量は、就業状態や氷艙構造などにより相違するが、年間1隻当りおよそ15万円程度とみられている。

チューリングユニットの陸上試験

1. 冷水製造試験

1.1 定速運転 図1に示すとおり冷却開始水温14.8 $^{\circ}\text{C}$ より開始し、7時間後には5.0 $^{\circ}\text{C}$ に下がった。この降温速度は、12.0 $^{\circ}\text{C}$ ～14.8 $^{\circ}\text{C}$ 台では2.4 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、10.0 $^{\circ}\text{C}$ 台では2.0 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 、また6.0～7.0 $^{\circ}\text{C}$ 台では1.0 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ と低温になるにつれて降温速度が遅くなっている。

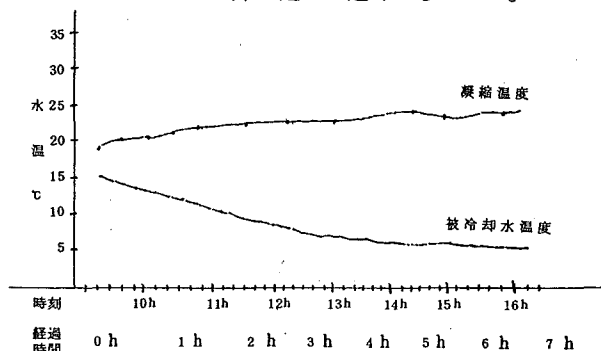


図1. 冷水製造試験温度変化 定速運転

1.2 変速運転 降温経過は図2に示すとおり、冷却開始水温は18.2℃より始まり、全運転時間の10時間35分で2.7℃まで下がっている。これを実際の漁船運航に当ててみると、出港準備とともに主機関を起動し、圧縮機が運転され、漁場着揚網開始まで1時間20分位経過するが、このときの温度は3.4℃降温して14.8℃になる。その後は連続揚網作業が繰返され、漁獲された活魚は活魚艙に投入蓄養される。出港後約3時間30分で8.6℃下り、蓄養の目標水温である10.0℃に達することになる。さらに冷却を続ければ操業終了時の約9時間30分経過後には、15.4℃下がって水温は2.8℃まで降温するが、しかし漁船で実際に蓄養する場合の水温は、多分に10℃前後と考えられこの設定水温で自動的に調温されるので、このような低温に下がることは起こらない。またこの陸上試験と漁船で実用の場合では、諸条件が違うので、降温経過も幾分異なるものと考えられる。

蓄養の許容低温は魚種によって相違し、カレイ類は広温性であり下限水温も相当低くできることから検討すれば、この供試機の冷却能力の1,250 Kcal/hではやや不足である。

またハマチなどのような温帯性魚類で、余り低温にできないものの蓄養には、十分な能力である。実際漁船では、各魚種の複合蓄養が多いので、標準水温を10.0℃～15.0℃位にするとすれば、もう少し余力のあるものが必要となる。

次に圧縮機の急激な不同回転、連続繰返し運転による冷凍サイクルへの障害は、今回の実験では特にみられなかったが、実用上の問題点として、チラーの運転操縦、保守管理について、漁民が或る程度の知識を要し、また取扱い作業の煩わしさが残された問題である。

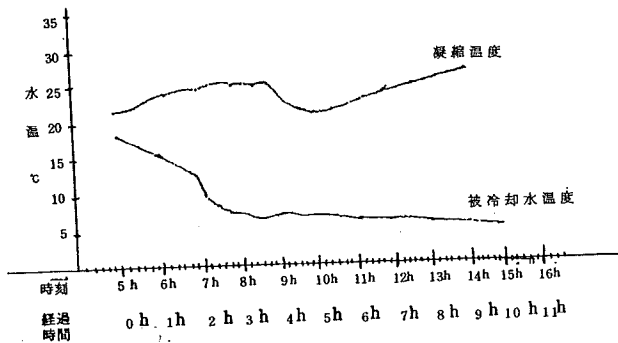


図2. 冷水製造試験温度変化 変速運転

低水温によるカレイ類の酸素消費量測定および漁船活魚艙蓄養の最大許容量の推測

1. 水温10℃におけるヒラメの酸素消費量測定および活魚艙蓄養の最大許容量
 溶存酸素の変化をみれば(表1図3)試水のDOは当初5.34 ml/lあり、全水量の酸素量は267 mlであったが、5時間後ではDO 1.73 ml/lとなり、全水量の酸素量は8.65 mlに減少し、5時間で180.5 ml消費したことになり、この値から単純にヒラメの酸素消費量を算出すれば、12.89 ml/Kg hとなる。

また呼吸頻度の変化をみると、当初の28回/分から次第に減少を示し、3時間経過後で最少の17回/分となり、その後急に増加し、以後は22回/分とほぼ一定線を示した。一方えらぶたの開閉振幅が大きく動き、苦悶現象がみられた。

この試験は止水密閉式で行ったので、漁船活魚艙のように水面露出の場合とは違い、かなり厳しい条件下の測定といえる。この測定値から蓄養可能な活魚量を推定してみる。

近年のFRP 5 ton型漁船活魚艙の大きさは、吃水線下で約0.5 m³あり、10℃海水のDOは凡そ6.4 ml/lとすれば0.5 m³水量の酸素量は約3,200 mlとなる。次に蓄養許容のDO耐容量を推察してみる。

このテストによれば、DO 1.2ml/lでも致死量に至ってない実験が得られているので、仮りにこれよりゆるい値の1.5ml/lを生息許容値とすれば、0.5 m³の水量では消費可能酸素量は2,450mlとなり、ヒラメの単位酸素消費量を12.89ml/Kghとしたとき、平均蓄養時間を3時間と仮定すると63.3Kgの活魚を蓄養できることになる。

表 1. 低水温活魚蓄養試水のDO変化および活魚の呼吸頻度

時刻 時 分	経過時間 時分	水温 ℃	溶存酸素		呼吸頻度 回/分	備 考
			%	ml/l		
常温水収容 13.00		21.0		5.30	38	「えらぶた」運動大 密封開始 試水PH 8.05 「えらぶた」運動小
低水温収容 13.52		10.0	70.0	5.34	28	
57	05	11.8		4.26		
14.02	10	//			26	
07	15	//	63.9	4.87	25	
12	20	//		4.77	25.5	
22	30	11.9		4.63	31	
27	35	//			//	
32	40	//		4.53	27	
37	45	12.1			25	
42	50	11.9	62.2	4.73	//	
47	55	//			//	
52	1.00	11.8		4.07	24	
57	05	//			//	
15.02	10	//	55.1		22	
07	15	11.7	11.7		20	
12	20	//		3.77	//	
17	25	//			21	
22	30	//	48.5	3.71	19	
27	35	//			20	
32	40	//			18	
37	45	//			20	
42	50	11.5		3.79	19	
52	2.00	//			17	
57	05	11.3			23	
16.02	10	11.0	43.0	3.34	24	
12	20	//			22	
22	30	//		2.97	//	
27	35	10.8			//	
42	50	10.7	39.0	2.13	//	
52	3.00	10.4	28.0	2.27	//	
17.10	18	10.3			//	
25	35	//			//	
55	4.03	10.0			21	
18.05	15	9.8	21.7	1.73	//	

試験年月日 昭和 46年 9月 13日

天候 半晴 気温 23.5℃

気圧 1014.0mb

測定場所 水産試験場内

供試水の種類、水量 海水 50ℓ

試験水温 10℃台

試験方式 止水密閉式

供試魚種 ヒラメ

体重 2.8Kg

体長 54.5cm

体高 22.0cm

全長 62.0cm

試魚の酸素消費量 12.89ml/Kgh

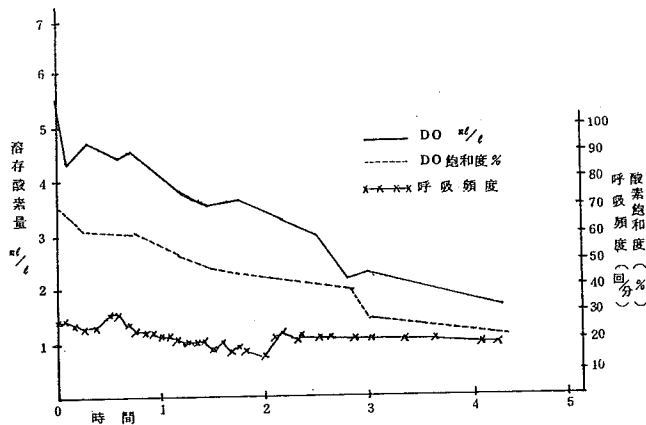


図3. 低水温活魚蓄養試水のDO変化および活魚の呼吸頻度

試水温度	10.0℃台 (11.8~9.8℃)	体長	54.5 cm
試水種類	海水	体高	22.0 cm
水量	50 l	試水塩素量	18.78 %
供試魚種	ヒラメ	試魚の酸素消費量	12.89 ml/Kg h
体重	2.8 Kg		

2. 水温5℃におけるインガレイの酸素消費量測定および活魚船蓄養の最大許容量

試水の溶存酸素量の経時変化を表2図4からみると、当初DO 6.58 ml/lであったが、測定終期の7時間後には5.32 ml/lに減少している。全水量の酸素量は当初 $6.58 \text{ ml/l} \times 50 \text{ l} = 329 \text{ ml}$ であったものが、7時間後には、 $5.32 \text{ ml/l} \times 50 \text{ l} = 266 \text{ ml}$ となり、試魚の消費した酸素量は63 mlとなる。

これをもとにインガレイの水温5℃における酸素消費量を、単純計算により求めれば、 9.99 ml/Kg h となる。次に魚体の運動をみると、10℃の場合と同様低温の試水に移入と同時に活動は静止し、終始ほとんど遊泳しない。呼吸頻度は、移入前35回/分であったが、移入後は26回/分と約9回減少し、えらの振幅も極く小さくなった。その後の呼吸は、漸次増加し約2時間経過の頃より、約35回/分となって以後ほぼ安定値が続いている。

この測定から魚船蓄養の最大許容量を推算してみる。

蓄養前の魚船海水のDOは、船の動揺により飽和値に等しいものと考えておよそ7.1 ml/l、魚船水量0.5 m³の全酸素量は約3550 mlとなる。インガレイの生息許容DO値は、今回測定した別の実験事例によれば、DO値0.66 ml/lでも未だ活着している事実があり、短時間であれば非常に少ないDO値でも生息可能であることがわかった。このDO値より非常にゆるい値の1.5 ml/lを短時間の生息許容耐容度とすれば、0.5 m³の水量で消費可能酸素量は2800 mlとなる。

水温5℃におけるインガレイの酸素消費量は、10.00 ml/Kg hであり、平均蓄養時間を3時間と仮定すれば、93 Kgの活魚を蓄養できることになる。

また試水pHの変化をみると、はじめpH 8.00であったが、最終計測の7時間後には、pH 7.35と

ほぼ直線的な低下がみられた。これは試魚の呼吸によつての酸素消費と炭酸ガス増加が促進されたことによるものであろう。

以上は蓄養の主要条件である魚類の酸素消費量をもとに、単純に試算したものであり、総合的な蓄養環境を検討しなければ妥当性に欠けるむきもあるが、一応の傾向と概要をとらえ得た。

表2. 低水温活魚蓄養試水のDO変化および活魚の呼吸頻度

時 刻	経過時間	水 温	溶 存 酸 素		呼吸頻度	備 考
			%	ml/l		
10.00		5.2	93.0	6.58	26	pH 8.00
20	20	〃	91.3	6.48	30	
40	40	5.1	89.3	6.32	32	
11.00	1.00	〃	87.3	6.20	〃	pH 7.82
20	20	5.0	86.6	6.15	〃	
40	40	〃	85.9	6.10	33	
12.00	2.00	〃	82.0	5.82	34	pH 7.8
20	20	〃	81.0	5.78	36	
40	40	〃	80.8	5.74	〃	
13.00	3.00	〃	80.6	5.70	〃	pH 7.8
20	20	〃	80.0	5.68	〃	
40	40	〃	79.7	5.66	〃	
14.00	4.00	〃	79.4	5.64	34	pH 7.8
20	20	〃	78.6	5.58	36	
40	40	〃	78.0	5.55	34	
15.00	5.00	〃	77.9	5.53	35	pH 7.5
20	20	〃	77.5	5.50	〃	
40	40	〃	77.2	5.48	34	
16.00	6.00	〃	76.1	5.40	36	pH 7.4
20	20	〃	75.6	5.37	35	
40	40	〃	75.2	5.34	34	
17.00	7.00	〃	74.9	5.32	〃	

試験年月日 昭和47年2月17日

供試魚種 インガレイ

天候 半晴 気温 6.8℃

体重 900 g

気圧 1014.2 mb

体長 54.5 cm

試験場所 水産試験場内

体高 22.0 cm

供試水の塩素量 18.76‰

全長 62.0 cm

試験水温 5℃台

試魚の酸素消費量 12.89 ml/Kg h

試験方法 止水密閉式

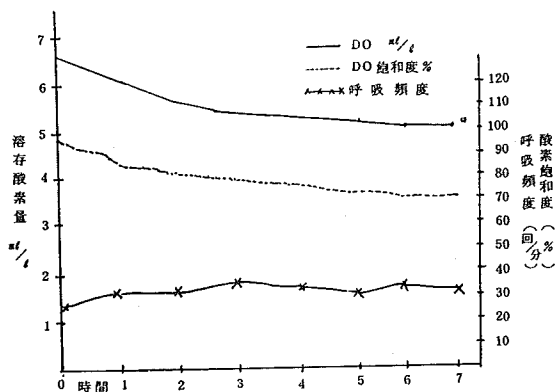


図4. 低水温活魚蓄養試水のDO変化および活魚の呼吸頻度

試水温度	5.0℃台 (5.2~5.0℃)	体長	32.6 cm
試水種類	海水	体高	13.3 cm
水量	50 ℓ	試水塩素量	18.76 ‰
供試魚種	インガレイ	試魚の酸素消費量	9.99 ml/Kg h
体重	0.9 Kg		

要 約

1. 活魚を漁獲する漁船が、活魚を産地市場まで蓄養搬送するとき、特に夏期の水温上昇、溶存酸素量の不足など蓄養水質環境の悪化により、斃死魚を多くしている。この対策の一環として、主機駆動による低水温製造装置の陸上実験および、カレイ類の低水温蓄養による酸素消費量を測定した。
2. 活魚を漁獲する漁船は、約 5 ton 船の、主として底刺網漁業で採り、魚種はインガレイ、ヒラメ、スズキ、イナダなどで通常 50 Kg 内以をおよそ 4 時間蓄養するが、夏期には斃死量が多いので歩留りをよくするため当業船では、酸素ポンプによる曝気および氷を使用して蓄養水温を下げる配慮をしている。
3. 簡易冷水製造装置の陸上実験を、船用主機関直結で、漁船の日常運航の主機回転数と同じように変速運転よっての冷水製造装置の性能実験および、冷凍サイクルにおよぼす影響について実験したが、当該供試機の 1.250 Kcal/h の冷水製造能力ではやや不足である。冷凍サイクルへの障害はなかったが、実用上の問題として漁民の或る程度の機器取扱知識と整備作業が要求されることになる。
4. 低水温によるカレイ類の酸素消費量測定は、止水密閉式で計測した。

水温 10℃におけるヒラメの酸素消費量は、およそ 13 ml/Kg h であった。これより漁船活魚艙の蓄養最大許容量を試算すれば、63 Kg のヒラメを活かすことができる。

また水温 5℃におけるインガレイの酸素消費量は、およそ 10 ml/Kg h であった。同じように漁船活魚艙の蓄養最大許容量を試算すれば、93 Kg のインガレイを活かすことができることになる。

文 献

- 1) 川本信之： 魚類生理生態学，17～25，13～15，恒星社厚生閣，東京（1959）。
- 2) 諸岡等： 活魚輸送，2～3，18～24，日本水産資源保護協会，東京（1965）。
- 3) 山崎隆義： 淡水魚の活魚輸送，30～47，日本水産資源保護協会，東京（1966）。
- 4) 尾崎久雄： 魚類生理学講座，Ⅱ，161～253，緑書房，東京（1970）。
- 5) 末広恭雄： 水産ハンドブック，268，東洋経済新報，東京（1962）。