

原著論文

飼育下におけるカタクチイワシの高温側水温耐性と 水温別低酸素耐性に関する研究

小田憲太郎^{*1}・橋本 博^{*2}・増田賢嗣^{*3}・今泉 均^{*3}・薄 浩則^{*4}・照屋和久^{*5}

Resistance of japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in captivity to high water temperature and hypoxia

Kentaro ODA, Hiroshi HASHIMOTO, Yoshitsugu MASUDA,
Hitoshi IMAIZUMI, Hironori USUKI and Kazuhisa TERUYA

Live japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, is one of the most important baits used in pole and line skipjack tuna fishing. To maintain anchovy alive in good condition in onboard cages is expensive, as the appropriate ambient water temperature should be maintained. In response to the current need for reducing fishing operational costs, reliable minimal conditions for maintaining sound live bait fish onboard should be clarified. We studied the tolerance of *E. japonicus* to high temperature and hypoxia. The median lethal temperatures for *E. japonicus* after exposure for 24 and 48 h to high ambient temperature were 28.5 °C and 27.3 °C, respectively. Vigorous swimming behavior associated with acute hypoxia was observed at a dissolved oxygen concentration of 1.12–2.36 mg/L (13.9–35.1% oxygen saturation) in a water temperature range of 15–30 °C. These results suggested that *E. japonicus* could be maintained in cages onboard in good condition, even though water temperature would be 5–10 °C higher than the currently mandated water temperature of 15 °C until the fish are used, reducing fuel consumption for lowering water temperature.

キーワード：カタクチイワシ, かつお一本釣り漁業, 高水温耐性, 低酸素耐性

2016年6月13日受付 2018年1月26日受理

カタクチイワシ *Engraulis japonicus* は、サハリン・沿海州から日本・韓国・台湾および中国の南部に広く分布し（落合・田中 1986）、我が国周辺では太平洋系群、瀬戸内海系群および対馬暖流系群の3つの系群に分けて評価・管理されている。本種は、旋網、定置網、曳網な

どで漁獲され、乾物、しらす干しなどで食用されるほか、かつお釣りの活餌としても利用されている（益田ら 1984）。

カタクチイワシを活餌として利用する遠洋かつお一本釣り漁船は、漁場となる熱帯から温帯海域において長期

*1 国立研究開発法人水産研究・教育機構開発調査センター

〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3クイーンズタワー B棟15階

Marine Fisheries Research and Development Center (JAMARC), Marine Fisheries Research and Education Agency,

15F Queen's Tower B, 2-3-3 Minatomirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa 220-6115, Japan

oda@jamarc.go.jp

*2 国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所まぐろ増養殖研究センター

*3 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所ウナギ種苗量産研究センター

*4 国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所

*5 国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所亜熱帯研究センター

間（40～50日）操業する。活餌は、旋網、定置網で漁獲された後、海上生簀（餌場）で畜養され漁船に販売されている。漁船に積み込んだカタクチイワシは、国内の餌場から漁場に向かう間の水温上昇による活性の減退や死亡が懸念される。そのため、カタクチイワシの船上飼育水としてポンプで取り込まれる海水は、冷却機で約15℃まで冷却されるのが通例であり、冷却にかかる燃油コストが漁業経営を圧迫している（木村ら2009）。一方、船上飼育に適切な水温や溶存酸素量についての検討は、十分になされていない。

そこで、本研究では遠洋かつお一本釣り漁業経営の安定化に資するべく、活餌となるカタクチイワシを最小限の燃油コストで、安全に船上飼育するための指標を得る目的で基礎的な2つの試験を行った。試験1ではカタクチイワシの高温側水温耐性を把握し、試験2ではカタクチイワシの水温別低酸素耐性および酸素消費速度を求めた。

材料と方法

試験1 高温側水温耐性試験

供試魚 試験には、2009年11月に長崎県佐世保湾で捕獲された平均被鱗体長 92.3 ± 5.0 mm（平均値±標準偏差）、体重 7.1 ± 1.2 g（ $n=100$ ）の実際の漁業現場で使われるサイズであるカタクチイワシを用いた。これらのカタクチイワシを活魚車により水産総合研究センター志布志庁舎（当時）へ輸送後、自然海水温（13.8～14.4℃）で準備した80 kL八角型コンクリート水槽（実

水量70 kL）へ収容した。給餌は、遠洋かつお一本釣り漁船での給餌量と同量とし、魚体重1 gあたり0.006 gの配合飼料（いわし大漁、日清丸紅）を毎日3回に分けて行った。収容後20日以上自然海水温にて飼育し、ハンドリング等による擦れやストレスによる死亡が落ち着いてから試験に供した。

試験区の設定 遠洋かつお一本釣り漁業で使用されているカタクチイワシの飼育水温15℃（木村ら2009）を対照区とし、20℃、25℃、30℃および35℃の合計5試験区を設けた。

試験には、200L黒色ポリエチレン水槽（実水量175L、サミットタンク、サミット樹脂工業株式会社）を用い、試験区ごとに2水槽の繰り返し区を設けた。

飼育水として、13.8～14.4℃の砂ろ過海水を海水電解装置（送水量50 kL/時、殺菌塩素濃度0.55 ppm、セルフレッシャーCS80、ヤンマー船用システム株式会社）で処理した滅菌海水を用いた。滅菌海水は、そのまま（新鮮滅菌海水）、または、一旦2 kLのFRP水槽へ溜めて20℃に加温した後に、水中ポンプ（CSL-100L、テラダ）を用いてそれぞれの試験水槽へ注水した（図1）。

試験開始前日に、供試魚を遠洋かつお一本釣り漁船で実際に積み込まれている密度13 kg/kL（小田ら2011）で各試験水槽に380尾ずつ収容した。この時の各水槽の水温は20℃とした。給餌を止めて1日の馴致期間を置いた後、各試験水槽に新鮮滅菌海水または前述の加温滅菌海水を注水し、0.5℃/時間の速度で降温または加温して各設定水温に調整した。各試験水槽の飼育水温が設定水温に到達した時点を試験開始とし、120時間後まで飼

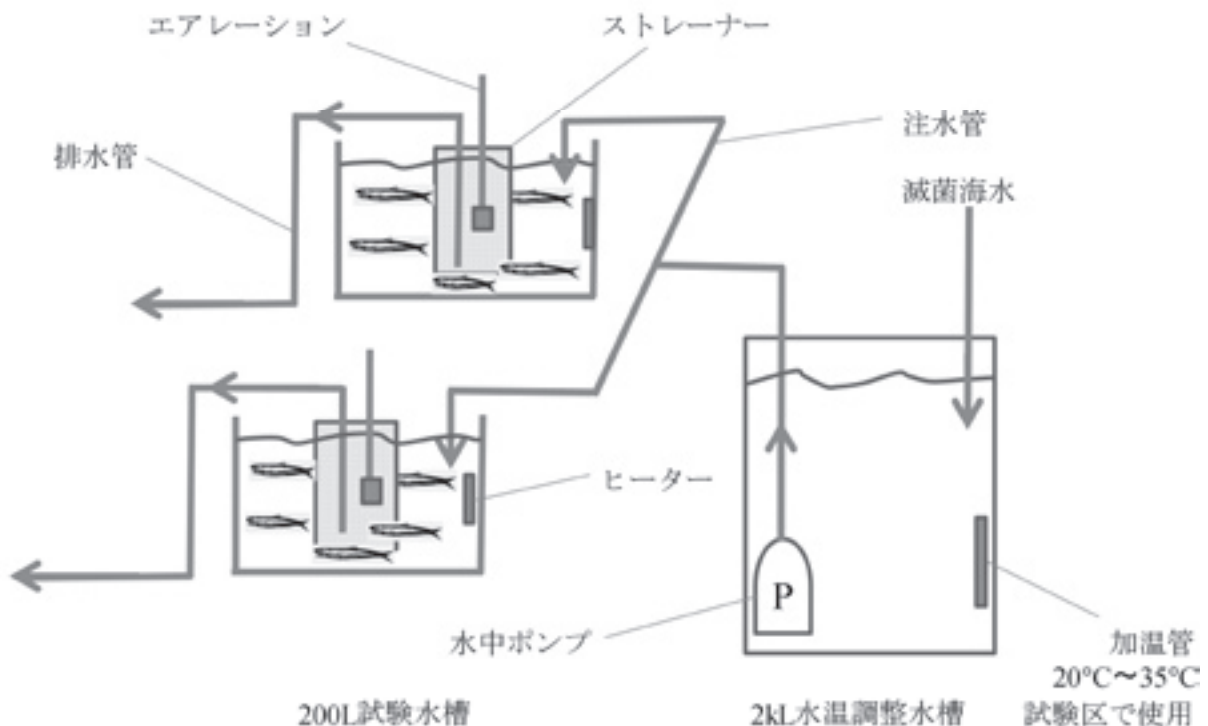


図1. 水温調整水槽から試験水槽への配管図

育して生残状況を観察した。なお、試験期間中は無給餌とした。換水率は一般の遠洋かつお一本釣り漁船に準じて4,200%/日(木村ら 2009)とし、各水槽には500Wヒーター(パワーセーフプロ 500, NISSO)1本を取り付け、飼育水温を調整した。通気は、エアーストーン(セラミックエアーストーン AS-80, nitto)1個を用いて1.4L/分の強さで行った。日長は、遠洋かつお一本釣り漁船での飼育方法に準じ、24時間連続照明とした。この時の試験水槽の水面照度は、照度計(T10Ws, コニカミノルタ)を用いて測定したところ700~1,900lxの範囲であった。DOの測定には蛍光式溶存酸素計(HQ-30d, HACH)をpHの測定にはベーシックpH計(PB-11, ザルトリウス)を使用した。

カタクチイワシの致死状況の把握 試験期間中、毎日1時、7時、13時および19時の6時間おきに死亡魚を取り出し計数するとともに、水温、DO、pHの値を記録した。また、24、48時間後の高温側半数致死温度は、直線回帰を求めるプロビット法(Goldstein *et al.* 1976)により算出した。その際、25°Cと30°Cの試験データを用い、温度と死亡率を変数とした。

試験2 水温別低酸素耐性試験および水温別酸素消費速度の調査

試験区の設定 水温別低酸素耐性試験においては、15°C、20°C、25°Cおよび30°Cの4試験区を設けた。供試魚には、80 kL八角型コンクリート水槽にて20日間以上水温20°Cで飼育した試験1と同じ由来のカタクチイワシを用い、馴致用の200L黒色ポリエチレン水槽(ストック水槽)8基に13kg/kLの密度で一旦収容した。ストック水槽は、移送元の水槽で飼育していた時と同じ水温20°Cに予め調整し、エアーストーン1個を用いて1.4L/分の通気を行うとともに、前述した滅菌海水により4,200%/日の割合で換水した。ストック水槽8基のうち2基は20°Cに維持、2基は試験魚収容直後より0.5°C/時間の速度で25°Cになるまで加温、2基は30°Cになるまで加温、さらに2基は収容2日後から15°Cになるまで0.5°C/時間の速度で降温した。調温は、新鮮滅菌海水の注水または500Wヒーター1本をそれぞれのストック水槽に取り付け行った。ストック水槽が設定温度に到達するまでの間は給餌飼育を行い、設定温度に達した後は給餌を止め、その後24時間以上馴致させた後に試験魚を試験水槽に移した。

試験水槽には75L白色ポリエチレン水槽(実水量50L, ポリタル, スイコー株式会社)を各水温区2基ずつ用いて試験を行い、これを2回繰り返した。試験開始直前に試験水槽にエアーストーン1個を用いて純酸素を通気し、飼育水中の溶存酸素量(DO)を過飽和状態となる10mg/L近くまで上昇させた。その直後に、各試験水温に馴致したカタクチイワシを2基の試験水槽へそれぞれ100尾ずつ速やかに収容した。DO測定のため蛍

光式溶存酸素計のプロープを水槽底に設置した後、通気も換水も行わず、試験水槽内の水面と空気が接触しないように透明のビニールシートで水面全体を覆った。さらにビニールシートと水槽壁面との間にプロープによる隙間ができないように自作の留め具(外径8mmのビニールチューブに太さ2mmのステンレスの棒を通し、直径47cmのリング状にしたもの)と水槽壁面の間にビニールを挟んで固定した。各水槽には500Wヒーター1本を取り付け、水温調整を行った。DOは蛍光式溶存酸素計を用いて3分ごとに計測した。日長は、試験1と同じく恒明とし、試験水槽の水面照度は1,400~1,800lxの範囲であった。

カタクチイワシの致死状況の把握 試験開始後、土田ら(1997)の方法に従い、目視により3分間隔で積算死亡尾数を計数し、時間経過及びDO低下に伴う生残率を求めた。

酸素消費速度の計算 上記の試験結果をもとに、各水温における試験魚1kgあたり、1時間あたりの酸素消費速度を下記の式より計算した。なお、試験水槽への収容直後は試験魚が狂奔状態にあったため、遊泳行動がほぼ落ちついた試験開始6分経過後から、低酸素の影響によって狂奔する個体が出現するまでの時間内のDOデータを使用した。

$$X = 60000 (DO_6 - DO_n) V / (n-6) / S_n / W$$

X: 酸素消費速度 (mL/kg/h)

DO₆: 試験開始より6分後のDO (mg/L)

DO_n: 試験開始よりn分後のDO (mg/L)

V: 水量 (L)

S_n: n分後の生残尾数 (= 収容尾数)

W: 平均体重 (kg)

酸素飽和度の計算 試験期間中の気圧は1気圧、使用した滅菌海水の塩分濃度32の値を用いてTruesdaleの式によりその水温tにおける酸素飽和度100%の値Kを求めたのち、下記の式により計算した。

$$K \text{ (mg/L)} = 14.161 - 0.3943t + 0.007714t^2 - 0.0000646t^3 - 32(0.0841 - 0.00256t + 0.0000374t^2)$$

その水温における酸素飽和度(%) = DO(mg/L)/K (mg/L)

結 果

試験1 高温側水温耐性試験 試験期間中の水温、DO、pH、試験開始時と終了時の被鱗体長および試験終了時の生残率を表1に、生残率の変化を図2に示した。

試験期間中15°C、20°Cおよび25°C区でのカタクチイワシの死亡はほとんど見られず、試験終了時の生残率は97%以上を示した。一方、30°C区では試験開始直後から死亡する個体が観察され、66時間後には全個体が死亡した。さらに、35°C区では加温中の31.5°Cまでに

表 1. カタクチイワシの水温耐性試験

試験区	試験水槽数 (容量175L)	水温 (°C)	DO (mg/L)	酸素飽和度 (%)	pH	試験開始時			試験終了時(5日後)		
						収容尾数 (尾)	平均被鱗体長 (n=50) (mm)	平均体重 (n=50) (g)	平均被鱗体長 (n=30) (mm)	平均体重 (n=30) (g)	平均生残率 (%)
15°C区	2基	15.4±0.6	6.86±0.48	76.3~99.3	8.15±0.02	380	92.3±5.0	7.1±1.2	92.4±5.9 ^a	6.8±1.3 ^A	99.3±0.5
20°C区	2基	20.5±0.3	6.29±0.36	78.0~96.4	8.10±0.02	380	92.3±5.0	7.1±1.2	93.2±5.2 ^a	7.0±1.2 ^A	97.6±1.3
25°C区	2基	25.2±0.3	5.77±0.22	80.2~92.6	8.07±0.02	380	92.3±5.0	7.1±1.2	92.8±5.3 ^a	6.7±1.1 ^A	98.3±0.6
30°C区	2基	30.1±0.3	5.78±0.95	62.7~107	8.08±0.15	380	92.3±5.0	7.1±1.2	-	-	0*
35°C区	2基	-	-	-	-	380	92.3±5.0	7.1±1.2	-	-	0**

* 飼育開始後66時間後に全滅

** 水温上昇中に全滅

同一アルファベット間において有意差無しを示す ($p > 0.05$)

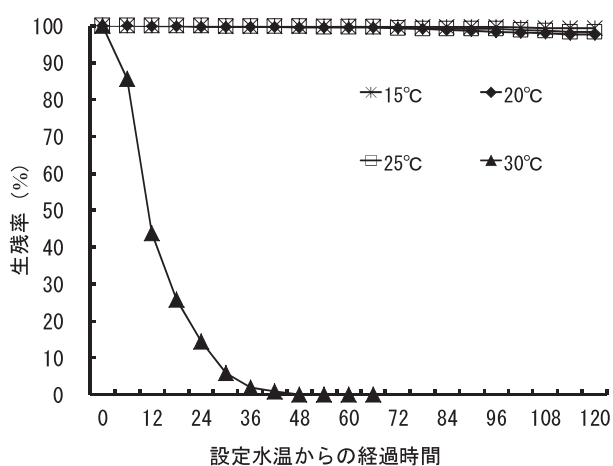


図 2. カタクチイワシの水温別経過時間生残率

全個体が死亡した (図 2)。

プロビット法により算出した 24, 48 時間後の高温側半数致死温度の値は、それぞれ 28.5°C, 27.3°C であった。

試験 2 水温別低酸素耐性試験および水温別酸素消費速度の調査 試験期間中の平均水温, 試験開始時の DO, 被鱗体長および体重, 試験終了時の DO および平均経過時間を表 2 に, DO と生残率の変化を図 3 に示した。

水温が高い区ほど DO が急速に減少し, 死亡個体の出現までの時間も短くなった。最も水温の低い 15°C 区では比較的ゆるやかに DO が減少し, 試験開始から 81 分後 (DO=1.12mg/L, 酸素飽和度 13.9%) には狂奔して死亡する個体が出現し, 107 分後 (DO=0.72mg/L, 酸素飽和度 9.0%) には全個体が死亡した。

一方, 最も水温の高い 30°C 区では, 狂奔・死亡個体の出現は 15°C 区の場合のほぼ 3 分の 1 の経過時間にあたる 27 分後 (DO=1.92mg/L; 酸素飽和度 30.9%) であり, 全個体の死亡も 15°C の 2 分の 1 以下の経過時間である 41 分後 (DO=1.39mg/L; 酸素飽和度 22.3%) であった。全試験区を通じ, 狂奔・死亡個体が現れる DO は 1.12 ~ 2.36mg/L (酸素飽和度 13.9% ~ 35.1%), 全個体が死亡した時の DO は 0.72 ~ 1.39mg/L (酸素飽和度 9.0% ~ 22.3%) の範囲であり, 水温が高いほど低酸素耐性が低下することが確認された。(図 3)。

表 2. カタクチイワシの水温別貧酸素耐性試験

試験区	試験水槽数 (容量50L)	平均水温 (°C)	収容尾数 (尾)	試験開始時				狂奔個体出現時		試験終了時(全滅時)		
				DO (mg/L)	酸素飽和度 (%)	平均被鱗体長 (n=100) (mm)	平均体重 (n=100) (g)	DO (mg/L)	酸素飽和度 (%)	DO (mg/L)	酸素飽和度 (%)	平均経過時間 (分)
15°C-1区	2基	14.9±0.2	100	10.08±0.11	126	93.0±5.8	8.0±1.4	1.12	13.9	0.72±0.01	9.00	102.0±4.2
15°C-2区	2基	14.8±0.2	100	10.43±0.03	130	92.7±5.9	7.8±1.5	1.25	15.6	0.72±0.00	9.00	112.5±6.4
20°C-1区	2基	20.4±0.2	100	10.28±0.26	141	90.9±6.8	7.4±1.7	1.54	21.1	0.89±0.06	12.2	73.5±2.1
20°C-2区	2基	20.7±0.1	100	10.25±0.23	140	91.7±6.5	7.5±1.6	1.76	24.1	0.86±0.02	11.8	76.5±6.4
25°C-1区	2基	24.7±0.2	100	10.58±0.11	157	91.4±6.7	7.1±1.6	1.76	26.2	0.92±0.03	13.7	55.5±2.1
25°C-2区	2基	25.1±0.1	100	10.32±0.18	154	89.7±7.2	6.8±1.6	2.36	35.1	1.00±0.04	14.9	64.5±2.1
30°C-1区	2基	30.1±0.8	100	10.42±0.11	168	90.8±6.5	7.4±1.5	1.92	30.9	1.39±0.04	22.3	37.5±2.1
30°C-2区	2基	30.0±0.5	100	10.65±0.04	171	90.3±6.2	7.1±1.5	2.02	32.5	1.35±0.00	21.7	43.5±2.1

1区は1回目試験, 2区は2回目試験を指す

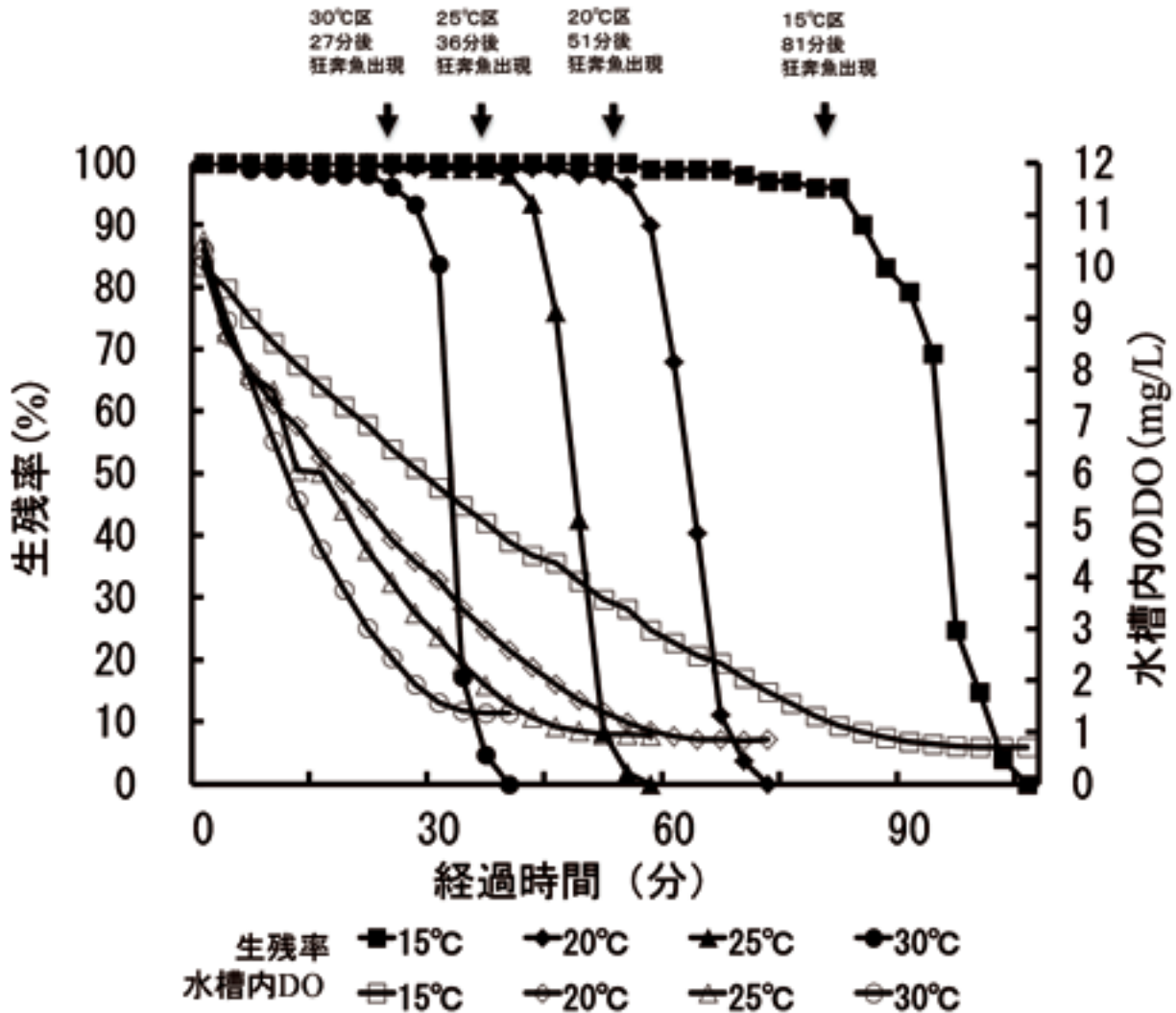


図3. 水温の違いによるカタクチイワシの生残率と水槽内DOとの関係

次に、DOと酸素消費速度の関係を水温別に示した(図4)。試験水槽内のDOが5mg/L以上の範囲では各試験区の酸素消費速度の平均値に大きな変化は無かった。しかしながら、5mg/L未満の範囲ではDOの減少とともにその平均値は減少した。

15°C、20°C、25°Cおよび30°Cの試験区におけるカタクチイワシの酸素消費速度を試験開始6分後から低酸素の影響によって狂奔する個体が出現するまでの時間内のデータを使用し計算した結果、それぞれ396mL/kg/h、702mL/kg/h、810mL/kg/hおよび1,092mL/kg/hであった。

考 察

遠洋かつお一本釣り漁業におけるカタクチイワシの船上飼育水は冷却コストをかけて15°C(木村ら2009)に保持されていることが通例である。しかしながら、日本周辺海域に分布するカタクチイワシは、主に15~30°Cの水温帯に生息する(鶴田2006)とされている。この

ことより、著者らは船上飼育水温を15°Cより高く設定しても飼育が可能でありコスト削減に繋がるのではないかと考えた。そこでまず、カタクチイワシの生息可能な上限水温を把握することを目的とし、高温側水温耐性試験を行った。

遠洋かつお一本釣り漁船での一航海(40~50日)におけるカタクチイワシの斃死率は13~27%(木村ら2011)であり、言い換えるならば積み込み総量の73~87%程度の生残が必要である。本試験の結果から、カタクチイワシは25°Cの飼育温度で5日目でも98%が生残し、27.3°Cでは2日後に半数が死亡すると推察された。これらのことから、遠洋かつお一本釣り漁業におけるカタクチイワシの飼育温度は25°C以下であることが望ましいと言える。また、本試験の35°C試験区では加温作業中の31.5°Cの水温で全個体が死亡した。土田(2002)は20°Cで馴致後のカタクチイワシの高温側死亡温度は32.7°Cと報告している。

水温別低酸素耐性試験では、DOは1.12~2.36mg/L

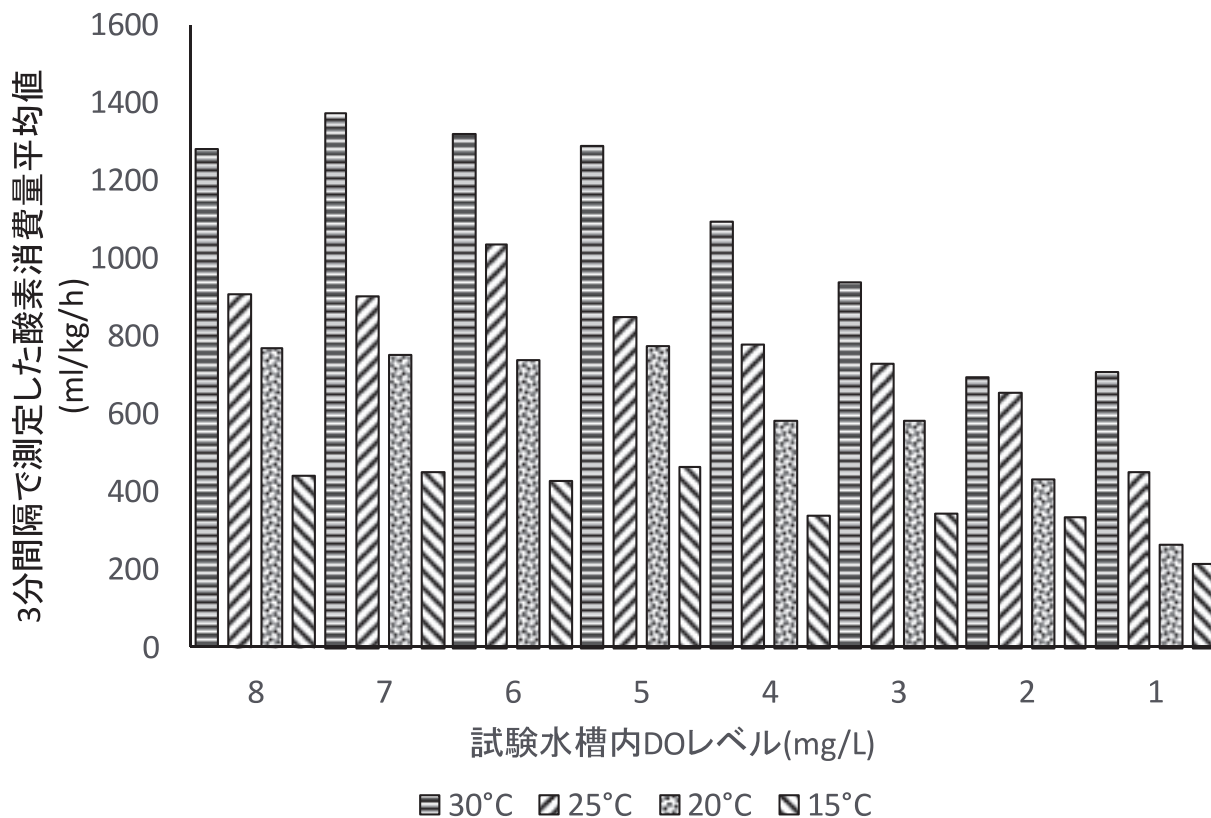


図4. カタクチイワシの水温別酸素消費速度とDOの関係
DOレベルは中央値を示している 例として、4なら3.5以上4.5未満を意味する

(酸素飽和度 13.9 ~ 35.1%) で全ての試験区でカタクチイワシが狂奔し始めた。従って輸送時のDOは2.36mg/L以上に保つ必要があると考えられた。また、試験開始時から試験終了時まで3分間隔で酸素消費速度のデータをみると、飼育水のDOが5mg/Lの値より少なくなると酸素消費速度が減少する傾向にあった(図4)。これは、DOの低下あるいはそれに伴う水質の変化によって、カタクチイワシの生理性状が変化したことを示唆している。したがって、5mg/Lが水槽内のDOの目安になると考えられる。一般的に養殖魚では、健全に生活するために要する最小のDOは海水の酸素飽和量の50%であると言われている(下茂ら2004)。本試験の水温範囲における海水の酸素飽和量は約6.2mg/L(30°C)~8.0mg/L(15°C)(半谷1964)であり、その50%は約3.1~4.0mg/Lとなる。遠洋かつお一本釣り漁業現場における船上飼育時のDOは、4.7~8.1mg/L(木村ら2011)との報告があるが、この値は今回の試験結果および既知の知見からカタクチイワシの適正範囲であることが確認できた。

以上、今回行った2つの試験結果より、現状におけるカタクチイワシの船上飼育時の水温、DOは大きな問題が生じる状況でないと考えられる。一方で、カタクチイワシの高温側水温耐性およびDO耐性が明らかになったことにより、現状よりもさらに高い水温での飼育を行うことで冷却コストを削減できる可能性も示唆された。

飼育水温については、20~25°Cの範囲内でカタクチイワシの斃死はほとんど見られないため、現行の飼育水温15°Cから5~10°C上げられる可能性があり、海水冷却に要する燃料費の削減が期待できる。

DOについては、酸素消費速度に変化が見られた5mg/L以上、酸素飽和度については15°Cなら62.3%、20°Cなら68.4%、25°Cなら74.4%、30°Cなら80.4%以上を保持することにより、カタクチイワシの大量斃死を防ぐとともに操業の効率低下を抑制できる可能性がある。

以上述べてきたように、今回実施した陸上水槽での試験結果により、高温側水温耐性試験が5日間、水温別低酸素耐性試験が2時間以下という短い期間のものであるものの、遠洋かつお一本釣り漁業のコスト削減が見込まれた。木村ら(2015)によれば、換水率4,200%/日、飼育水温20°Cにて40日間船上で飼育した時のDOは4.6~8.3mg/Lとの報告がある。この値は、15°C飼育時のDOと大差がないことから換水率を変更することなく飼育水温を5°C上げられることを示唆している。実際の試験操業時に、漁場水温20°C前後の海域において、餌用のカタクチイワシを飼育する海水冷却用の冷凍機(15°C設定)を停止し、5°C高い漁場水温で飼育した場合、一般的な遠洋かつお一本釣り漁船(499トン型)では、1航海あたり約10キロリットルの燃油が削減可能と報告されている(木村ら2015)。さらに、同型漁船の年間

平均航海数は 6.5 航海であることから、年間では燃油約 65 キロリットルの削減が可能となる（木村ら 2015）。2017 年 11 月の A 重油価格約 70 円/L を用いて試算すると、船上の飼育水温を 5°C 上げることにより、同型漁船の燃油経費を年間 455 万円程度削減することが期待できる。したがって、本研究の成果は、遠洋かつお一本釣りにおける漁業経営の安定化に寄与するものと考えられる。

謝 辞

本試験を進める際に、試験に協力していただいた志布志栽培漁業センター（現：増養殖研究所志布志庁舎）の職員の皆さま、また、遠洋かつお一本釣り漁船の各種データを提供していただいた開発調査センターの木村拓人氏に、この場を借りて厚くお礼申し上げます。

文 献

Goldstein A (1976) 生物検定法入門（木村正康・渡辺和夫・木村郁子訳）。南江堂，東京，pp. 140-150.
 木村拓人・澤田克彦・大島達樹・伏島一平（2009）平成 20 年度海洋水産資源開発事業報告書（資源対応型：遠洋かつお釣く太平洋中・西部海域）。独立行政法人水産総合研究センター開発調査センター，横浜，pp. 33-37.
 木村拓人・橋ヶ谷伊久生・澤田克彦・大島達樹・伏島一平（2011）平成 21 年度海洋水産資源開発事業報告書（資源対応型：

遠洋かつお釣く太平洋中・西部海域）。独立行政法人水産総合研究センター開発調査センター，横浜，pp. 29-30.
 木村拓人・上原崇敬・江藤宗義・佐谷守明・大島達樹・伏島一平（2015）平成 25 年度海洋水産資源開発事業報告書（遠洋かつお釣く太平洋中・西部海域）。国立研究開発法人水産総合研究センター開発調査センター，横浜，pp. 46-47.
 益田 一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝瀾・吉野哲夫（1984）日本産魚類大図鑑＜解説＞。東海大学出版会，東京，p. 20.
 落合 明・田中 克（1986）新版魚類学（下）。恒星社厚生閣，東京，pp. 502-503.
 小田憲太郎・橋本 博・増田賢嗣・今泉 均・薄 浩則・照屋和久・木村拓人・黒坂浩平・橋ヶ谷伊久生・大島達樹・山下秀幸・伏島一平・小河道生・岡 雅一（2011）カタクチイワシ *Engraulis japonicus* のアンモニア濃度耐性～かつお一本釣り漁業のコスト削減のために～。栽培漁業センター技報，**13**，独立行政法人水産総合研究センター，横浜，pp. 10-17.
 下茂 繁・秋本 泰・高浜 洋（2004）海生生物の水質環境耐性について：総説。海生研研報，**6**，8-16.
 土田修二・田端重夫・永井 彰（1997）宮城県万石浦産ニシン幼魚の温度選好と温度耐性。東海大学紀要海洋学部，**43**，117-129.
 土田修二（2002）沿岸性魚類の温度選好に関する試験的研究。海生研研報，**4**，11-66.
 鶴田義成（2006）カタクチイワシの成熟・産卵特性から産卵調査を設計する。水産総合研究センター研究報告別冊第 4 号，43-46.
 半谷高久（1964）溶存酸素ガス測定法—総論（主として飽和溶解量について）—。分析化学 vol.13，**6**，567-572.