

クロマグロ種苗生産技術開発試験

増養殖環境課 鈴木 怜

1 はじめに

本県西部に位置する大月町地先海域はクロマグロ養殖漁場としての好適条件を多く備えている（年間を通して水温16℃以上と温暖、急峻な海底地形のため海岸から比較的近い距離で水深30m以上になる、河川水の影響をほとんど受けない、外洋に面して潮通しが良い等）。こうした漁場としての優位性やクロマグロ需要の増大を背景に、本県クロマグロ養殖は昭和50年代に大月町柏島地区で始まって以降、現在では3地区5漁場まで拡大しており、生産量は平成23年の955トンから平成27年の1,517トンまで増加している。また、本県では、平成24年度に策定した産業振興計画第2期計画において「企業活力を活かした養殖業の振興」に取り組んでおり、平成33年度の目標として年間2,000トンの生産を掲げている。

しかし、近年のクロマグロ資源の悪化を受けて農林水産省は資源管理を強化しており、平成24年10月から漁場数や生簀台数を制限して天然種苗の活込尾数に上限を設けている。また、平成26年12月に開催された中西部太平洋まぐろ類委員会（WCPFC）第11回年次会合では、30kg未満の小型魚の漁獲を平成14～16年までの年間平均漁獲実績から半減する措置が採択され、平成27年1月から導入されている。クロマグロ養殖は種苗の多くを天然に依存していることから、これら規制の強化によって、現状でも不足が続いている種苗の確保がこれまで以上に困難になる可能性があり、また、生産規模の拡大を図っていくためには、制限の適用外である人工種苗の導入が不可欠な状況である。

本事業は、クロマグロ人工種苗生産の技術を開発し、それらを供給することで県内クロマグロ養殖業者の生産規模の拡大、競争力の強化、経営の安定に資することを目的として実施した。

2 方法

(1) 親魚養成

平成26年6月から道水中谷水産株式会社に委託して行った。

1) 養成施設

大月町橋浦地先（図1）に設置した円型生簀（高密度ポリエチレン製、直径50m、網の深さ約15m）を使用した。

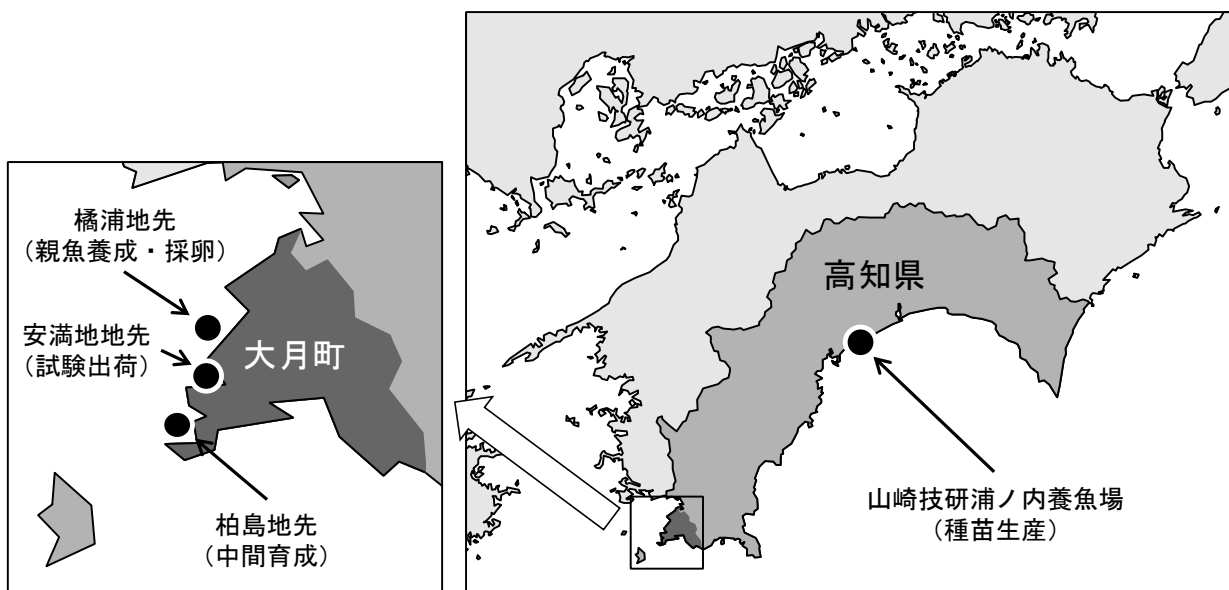


図1 試験実施地点

2) 親魚

平成 23 年に対馬・五島列島周辺及び紀伊水道等で漁獲され、大月町地先海域で養成された 4 歳魚 150 尾を用いた。平成 27 年 6 月時点での推定体重は 108kg であった。

3) 給餌

給餌は週 6 回（日～金曜日）、午前中に行い、飽食量与えた（750kg/日程度）。

餌には主にサバ、イワシを用い、5～8 月は卵質の向上を図るためにイカの給餌（30kg/日程度、毎回）及びビタミン類の添加（隔回）を行った。ビタミン類の添加は国立研究開発法人水産研究・教育機構 西海区水産研究所で行っている方法^{1,2)}を参考に、ヘルシーミックス-2（DS ファーマアニマルヘルス株式会社）40 に対して、モアビット C-70（Meiji Seika ファルマ株式会社）を 2、ユベシータウ（Meiji Seika ファルマ株式会社）を 1、トーアラーゼ AQUA（東亜薬品工業株式会社）を 5 の割合で混合し、給餌直前に餌重量の約 0.5% を添加した。

(2) 産卵確認及び採卵

株式会社山崎技研、道水中谷水産株式会社、高知県宿毛漁業指導所及び高知県土佐清水漁業指導所と協力・連携して行った。

1) 成熟状況及び産卵調査

5 月 19 日から、親魚と同海域で飼育された道水中谷水産株式会社の出荷魚（3 歳）の生殖腺を調べ、成熟状況を調査した。また、5 月 26 日からは目視による親魚の体色変化及び追尾・産卵行動の観察、簡易採卵ネット等を用いた卵の確認（図 2）を行った。

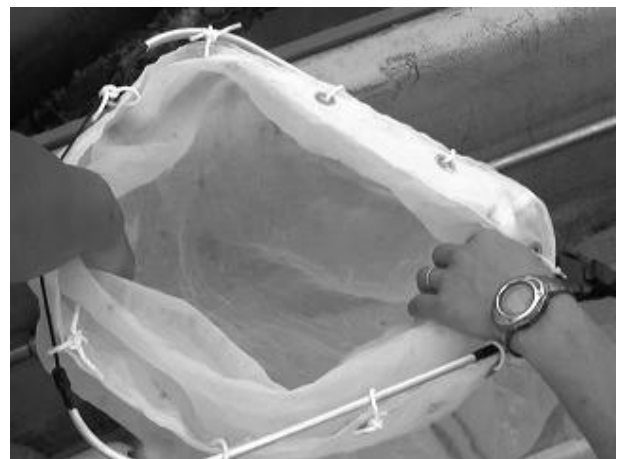


図 2 簡易採卵ネットによる産卵確認

2) 産卵時刻の確認

6 月 2 日午前 6 時から翌 3 日午前 6 時にかけて、目視による産卵行動の観察及び簡易採卵ネットを用いた受精卵の確認を連続して行った。

3) 採卵

6 月 7 日から 8 月 22 日にかけて行った。産卵行動を確認すると、採卵ネット 2 基〔開口部 125cm×75m・側長 200cm・目合い 600 μ m（図 3）及び開口部 150cm×100cm・側長 300cm・目合い 600 μ m〕を生簀内表層で曳き（図 4）、海面に浮上した受精卵を採取した。採卵ネットにはゴミやクラゲ等の混入を防ぐために、1 基には開口部を覆うようにモジ網を、もう 1 基にはモジ網で作成したクラゲ抜きを取り付けた（図 5）。

採取した受精卵は、船上でただちに洗卵（図 6）及び浮上卵の分離（図 7）を行った。その後、うなぎ袋に収容し（10～15 万粒/10L）、水温上昇を防ぐために日陰に設置した大型の発泡スチロール箱内で保管した。



図3 採卵ネット



図4 採卵作業

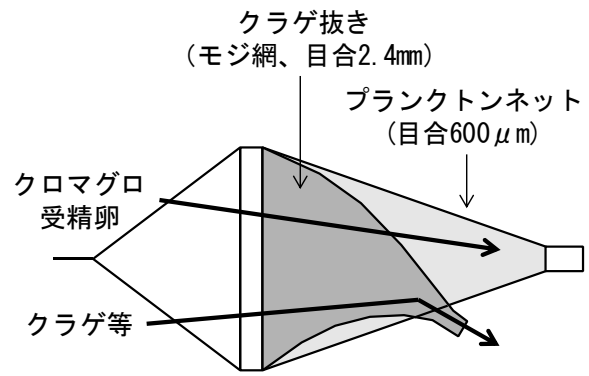
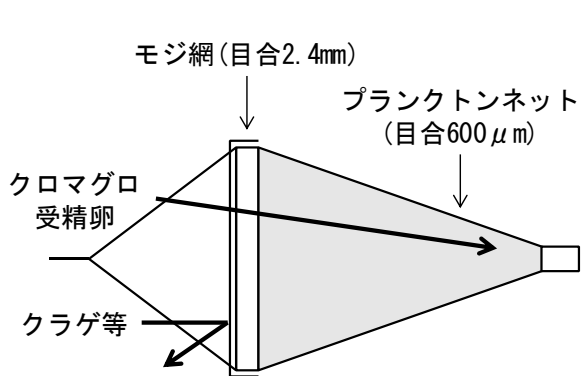


図5 採卵ネットのクラゲ等混入対策



図6 洗卵 (異物の除去)



図7 浮上卵の分離

4) 受精卵の輸送

採取した受精卵は、発泡スチロール箱に梱包または断熱材で覆った 300L タンクに收容し、車で3時間かけて山崎技研浦ノ内養魚場 (須崎市浦ノ内) へ輸送した (図1)。

(3) 種苗生産

株式会社山崎技研と協力・連携して、6月30日から9月8日にかけて行った。

1) 種苗生産施設

山崎技研浦ノ内養魚場の55~90トン長方形水槽をのべ13面使用した (表1)。

表 1 使用した水槽の容量及び受精卵・ふ化仔魚の収容数

回次	使用水槽容量 (トン)	受精卵・ふ化仔魚収容数	収容方法
1R	70	12万尾	ふ化水槽からふ化仔魚
2R	70・70 (移槽)	80万粒	卵を直接
3R	90	198万尾	ふ化水槽からふ化仔魚
4R	90・64・55 (分槽)	70万粒	ふ化水槽からふ化直前の卵
5R	70	70万粒	ふ化水槽からふ化直前の卵
6R	70	39万粒	ふ化水槽からふ化直前の卵
7R	70・70 (移槽)	70万粒	卵を直接
8R	58・55 (分槽)	266万粒	卵を直接

2) 受精卵・ふ化仔魚の収容

採取した受精卵は、直接又は7トン水槽内に設置したゴースネット(450L)内でふ化若しくはふ化直前まで管理した後に種苗生産用の水槽に収容した。ふ化管理には紫外線殺菌海水を使用し、水温は25~26℃に調整、比重も調整した。種苗生産用水槽への収容数は12~266万尾・粒とした(表1)。

3) 飼育

飼育水には紫外線殺菌海水を使用し、ワムシ給餌期間中はマリングロス及びすじこ乳化油を、アルテミア給餌期間中はマリングロスを添加した。水温は、一部の回次では25℃に冷却し、残りは27℃を下回らないように加温した。

餌料は、ワムシ、アルテミア、ふ化仔魚・魚卵(マダイ、イシダイ、イサキ、カタクチイワシ、クロマグロ)、配合飼料(日清丸紅飼料株式会社製 鮪心ほか)、生餌(イカナゴ)等を、成長段階に応じて与えた。

8回次の種苗生産を行い、その中で飼育環境(水温、比重、流速、夜間照明等)、餌料(餌料系列、切り替えのタイミング、給餌方法等)及び移槽・分槽方法(時期、移槽・分槽先の飼育環境等)等の検討を行った。

4) 種苗の取り揚げ及び輸送

8月2日及び8月29日に種苗を取り揚げ、中間育成施設へ輸送した。取り揚げは、水槽に取り網を入れて種苗を集めた後(図8)、バケツ(図9)、サイフォン(図10)等を用いて行い、運搬船の魚倉に収容した(図11)。

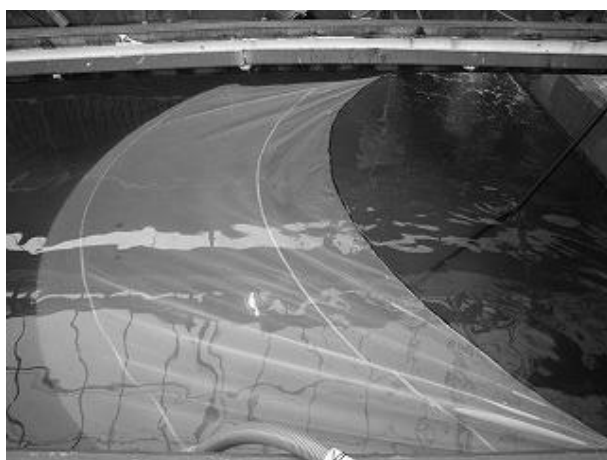


図 8 取り網で種苗を集める様子



図 9 バケツによる種苗取り揚げ

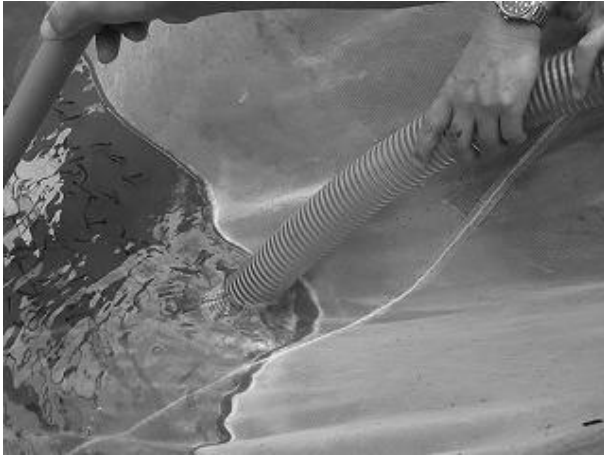


図 10 サイフォンによる種苗取り揚げ

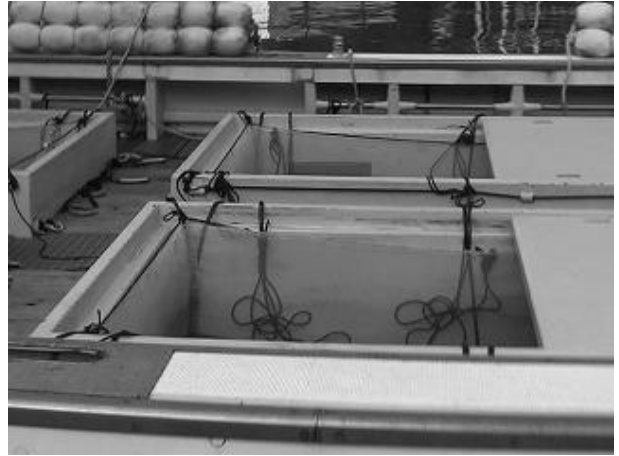


図 11 種苗を收容した魚倉

(4) 中間育成

株式会社山崎技研と協力・連携し、8月2日から11月9日にかけて実施した。

1) 中間育成施設

大月町柏島地先(図1)に設置した角型生簀(鋼管製、8×8m、網の深さ6m)3面を使用した。生簀網は、1回次は飼育5日目まで120径モジ網、6日目以降24節無結節網(角目)を使用し、2、3回次は24節無結節網(角目)のみを使用した。

2) 種苗の輸送及び收容

種苗は19t型活魚運搬船を用いて輸送し、輸送中は適宜給餌を行った。運搬船から生簀への積み下ろしはバケツ(図12)または水タモ(図13)を用いて行った。



図 12 バケツによる種苗積み下ろし



図 13 水タモによる種苗積み下ろし

3) 飼育

環境測定は毎日、午前8時、11時及び午後3時に行った。測定項目等は表2のとおりとした。

表 2 環境測定

測定項目	測定機器	測定水深
水温	ハンディDOメーター ID-150 (飯島電子工業株式会社)	表層、4m層
溶存酸素	ハンディDOメーター ID-150 (飯島電子工業株式会社)	表層、4m層
比重	標準比重計	表層

給餌は毎日、午前8時から午後4時にかけて行い、餌には生餌（イカナゴ）及び配合飼料（日清丸紅飼料株式会社 鮪心等）を使用した。給餌方法及び給餌頻度は表3から5のとおりとした。手撒きによる給餌は飽食量を与えた。

表3 給餌方法

回次	飼育日数	給餌方法
1R	2～36日	手撒き（生餌、配合飼料）
	37日～	手撒き（生餌、配合飼料）＋自動給餌機（配合飼料）
2R	2～9日	手撒き（生餌、配合飼料）
	10～54日	手撒き（生餌、配合飼料）＋自動給餌機（配合飼料）
	55日～	手撒き（生餌、配合飼料）
3R	2～9日	手撒き（生餌、配合飼料）
	10～54日	手撒き（生餌、配合飼料）＋自動給餌機（配合飼料）
	55日～	手撒き（生餌、配合飼料）

表4 給餌頻度（手撒き）

回次	飼育日数	頻度（回/日）	給餌時刻
1R	2～3日	6	8時、10時、11時、13時、14時、15時
	4日	5	8時、10時、11時、14時、15時
	5日～	3	8時、11時、15時
2R	2～4日	6	8時、10時、11時、13時、14時、15時
	5日～	3	8時、11時、15時
3R	2～4日	6	8時、10時、11時、13時、14時、15時
	5日～	3	8時、11時、15時

表5 給餌頻度（自動給餌機）

回次	給餌時刻及び給餌量		
1R	16～19時	500g	
2R	16～19時	500g	
3R	飼育10～16日目	16～4時	1,000g
	飼育17～54日目	8～16時	1,000g、16～4時 1,000g

4) 夜間照明

種苗生産を行っている大半の機関では、輸送直後の大量へい死を防止するために夜間照明を使用しているが、小西ら³⁾は、その効果は明瞭でないと報告している。また、Nakamura *et al.*⁴⁾及び Miyazaki *et al.*⁵⁾は、クロマグロは緑色及び青色がよく見えるように進化していると報告している。そこで、夜間照明の有無、使用期間、照度及び色によって成長、生残等に差が生じるか調査した。条件は表6のとおりとし、夜間照明には緑色及び白色のLED水中灯を使用した。

表6 中間育成時の夜間照明

回次	使用の有無	使用期間	色
1R	有	1～15日目	1～8日目：緑、8～15日目：白
2R	無	—	—
3R	有	1日目～試験終了	緑色

(5) 試験出荷

中間育成で全長300mm程度まで飼育した後、その後の成長の把握及び種苗の評価を目的として県内のクロマグロ養殖業者に試験出荷を行った。

1) 第1回

中間育成1回次の種苗に関して、10月中の試験出荷を目指して作業を進めていたが、出荷前に全滅したため中止した（詳細は後述）。

出荷を予定していた種苗には、10月8日に個体識別のための標識を装着した。標識には長さ80mmのダート型タグ（図14）を使用し、作業台には、ゴムを貼り付けた雨樋（図15）又は海水に浸したスポンジ製担架（図16）を使用した。種苗を1尾ずつ釣り上げた後、作業台上で第2背鰭付近に標識を装着した（図17）。

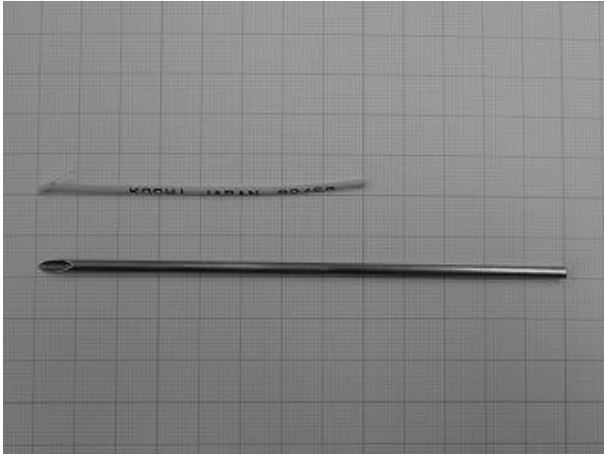


図14 使用したタグ及び装着器具



図15 作業台（雨樋）



図16 作業台（スポンジ製担架）

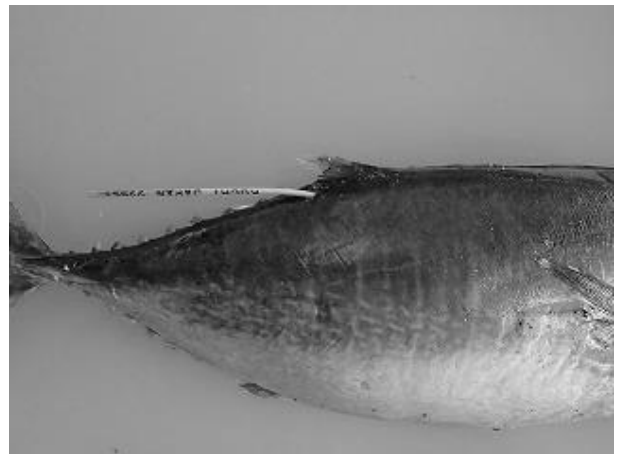


図17 標識装着部位

2) 第2回

11月9日に中間育成2、3回次の種苗の試験出荷を行った。輸送は、角型生簀（鋼管製、8×8m、網の深さ6m）2基を船2隻で挟み込み（図18）、出荷先のキョクヨーマリンファーム株式会社所有の生簀（大月町安満地地先、図1）まで曳いて行く方法で行った。輸送中に網が吹かれることを防止するため、網の進行方向前面内側に20kgの沈子を生簀1基当たり5個、進行方向後面外側に8kgの沈子を生簀1基当たり4個取り付けた（図19）。

3 結果と考察

(1) 産卵及び採卵

1) 産卵確認

出荷魚の成熟状況調査では、調査を開始した5月19日時点で多くの個体から成熟の指標である卵黄球期に達した卵巣内卵（直径300 μ m以上）¹⁾が確認され（表7）、成熟が進行していることが確認された。

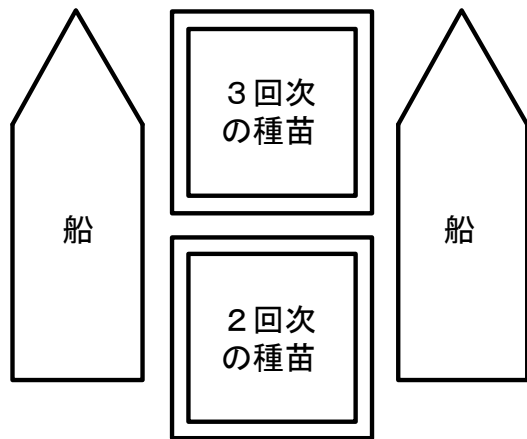


図 18 輸送方法

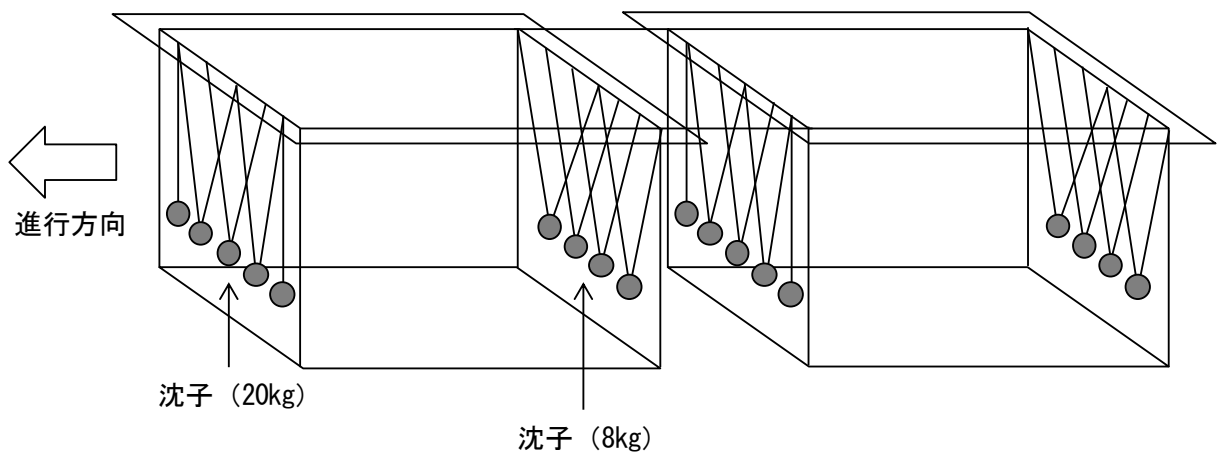


図 19 沈子の取り付け方

表 7 出荷魚（3歳）の卵巣成熟状況調査結果

調査日	重量 (g) ※	卵径 (μm)			
		平均±標準偏差	最大	最小	測定数
5月19日	435	485 ± 66	575	350	10粒
	310	270 ± 51	375	200	10粒
	245	268 ± 35	325	200	10粒
	150	238 ± 48	325	175	10粒
	125	195 ± 35	250	125	10粒
5月26日	200	270 ± 40	325	200	10粒
	155	265 ± 37	325	200	10粒
	135	233 ± 28	300	200	10粒

※一対の卵巣の片側の重量

目視による親魚の観察では、6月2日に追尾・産卵行動が見られ、産卵行動直後に簡易採卵ネットで生簀内表層を掬ったところ、卵が採取された。得られた卵をインキュベーター内でふ化させたところ、黒色素胞の分布パターン等からクロマグロの卵であることを確認した。当日の水深 10m 層の日平均水温は 23.2℃であり、升間⁶⁾が報告しているクロマグロの産卵開始水温（約 24℃）と同程度であった。

2) 産卵時刻の確認

6月2日は、観察を開始した午前6時時点ですでに産卵行動が始まっており、午後9時45分まで続いた（図20）。翌3日は、周囲が明るくなり始めた午前4時31分から産卵行動が始

まり、観察を終了した午前6時まで続いた（図20）。以上より、本試験で養成している親魚は、午前4時30分頃から午後10時頃まで産卵していると考えられた。

産卵行動は、小規模なものも含めると281回/日に上り、早朝、昼前及び夕方方の3回のピークが見られた（図20）。しかし、全ての産卵行動で実際に産卵しているかどうかは不明であり（水面に水飛沫が上がった回数全てを産卵行動として計数）、また、採卵ネットで卵を確認された場合も、生簀内を漂っていた卵のみが採取された可能性は否定できない。

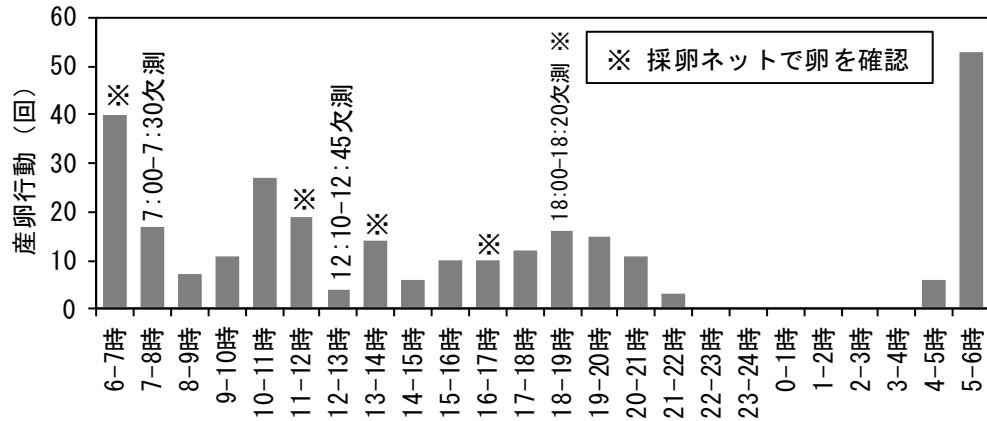


図20 各時刻の産卵行動回数

3) 採卵

採卵は6月7日から開始したが、当日は追尾・産卵行動が見られず、受精卵を得ることができなかった。その原因としては、6月2日に梅雨入りしたことによる水温の低下が考えられ、産卵を確認した6月2日に23.2℃あった水温は、翌日23.9℃に達したのを境に、7日には22.6℃まで低下していた（図21）。

産卵が再開したのは約3週間後の6月25日であり、当日の10m層の日平均水温は22.9℃であった。採卵は6月30日から開始し、その後、22回の採卵（作業を行ったが受精卵を得られなかった日も含む）で約6,607万粒の受精卵を採取した。一日当たりの最高採卵数は8月11日の1,210万粒で、水温が高くなるほど採卵量が増加する傾向見られた（図22）。また、給餌中もしくは給餌直後の産卵が多いことから、摂餌が刺激となって産卵している可能性ある。

本年度の産卵期間は、中断期間を含めて6月2日から8月16日であった。

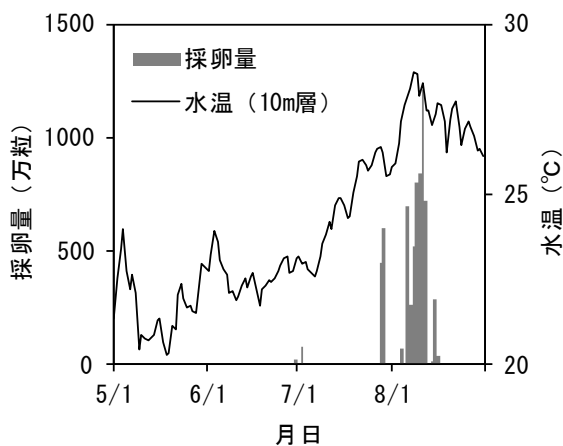


図21 水温及び採卵量の変動

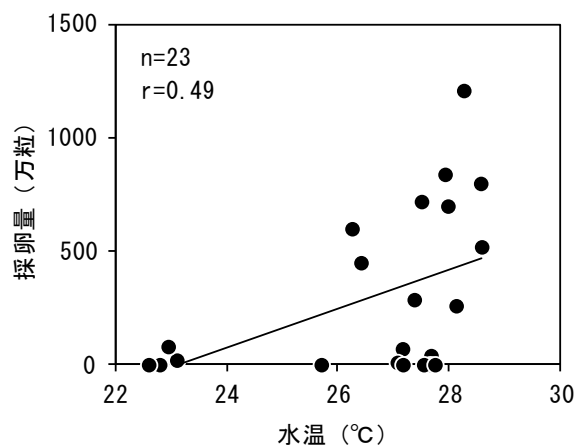


図22 水温と採卵量の相関

(2) 種苗生産

採取した受精卵6,607万粒の内、805万粒を種苗生産に用いた。正常ふ化率は6～9割であった。採卵時に白く濁った卵が少数確認されたことがあったが、生産に影響はなかったことか

ら、前年度問題になった卵黄白濁症^{7,8)}かどうかは不明であった。

生残率（0日齢の生残率＝100％）は、10日齢で0～31.4％であり（表8）、前年度の同日齢（0～33.3％）と同程度であった。しかし、9日齢までの生残率は前年度を大きく上回っており、多くの回次で30％を超えていた（表9）。10日齢以降は、餌料用ふ化仔魚不足によって激しい攻撃行動が発生し、生残率が急激に低下した（表8）。

表8 種苗生産結果（生残率）

回次	生残率（％）			備考
	10日齢	20日齢	30日齢	
1R	生産中止			
2R	31.4	0.0	0.0	日齢20で移槽
3R	17.9	0.0	0.0	
4R	5.4	0.0	0.0	
4R-2	—	—	—	日齢11で約3,000尾分槽
4R-3	—	—	—	日齢14で500～1,000尾分槽
5R	生産中止			
6R	生産中止			
7R	11.8	0.0	生産中止	日齢16で移槽
8R	0.0	生産中止		
8R-2	—	—	—	日齢8で約10,000尾分槽

表9 9日齢時の生残率の比較

H27			H26		
生産場所	回次	生残率（％）	生産場所	回次	生残率（％）
浦ノ内	1R	生産中止	浦ノ内	1R	21.1
	2R	43.7		2R	0.0
	3R	32.1		3R	0.0
	4R	8.1		4R	15.8
	5R	生産中止		5R	0.0
	6R	生産中止		6R	生産中止
	7R	35.3		7R	11.0
	8R	31.3		8R	生産中止
				9R	0.0
				10R	0.0
				11R	33.3
			古満目	1R	1.8
				2R	9.1

全長は、0日齢 3.2mm、10日齢 6.4mm、20日齢 20.7mm、30日齢 49.0mm であり、10日齢頃までの成長は比較的緩やかで、11日齢以降成長速度が上がった（図 23、24）。10～11日齢頃はクロマグロ稚魚が餌料用ふ化仔魚を摂餌し始める時期にあたることから、成長が促進されたと考えられた。

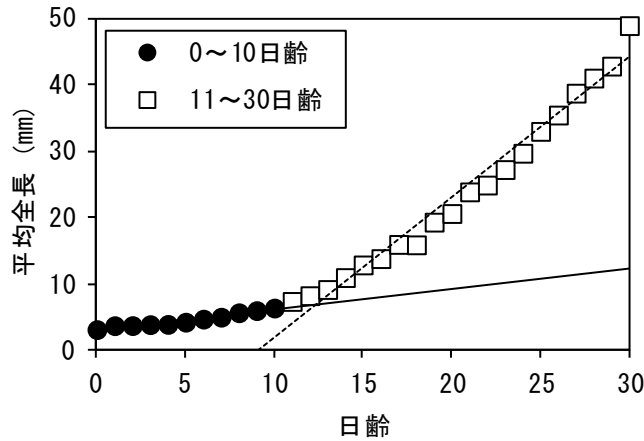


図 23 種苗生産期間中の全長（1～8回次平均）

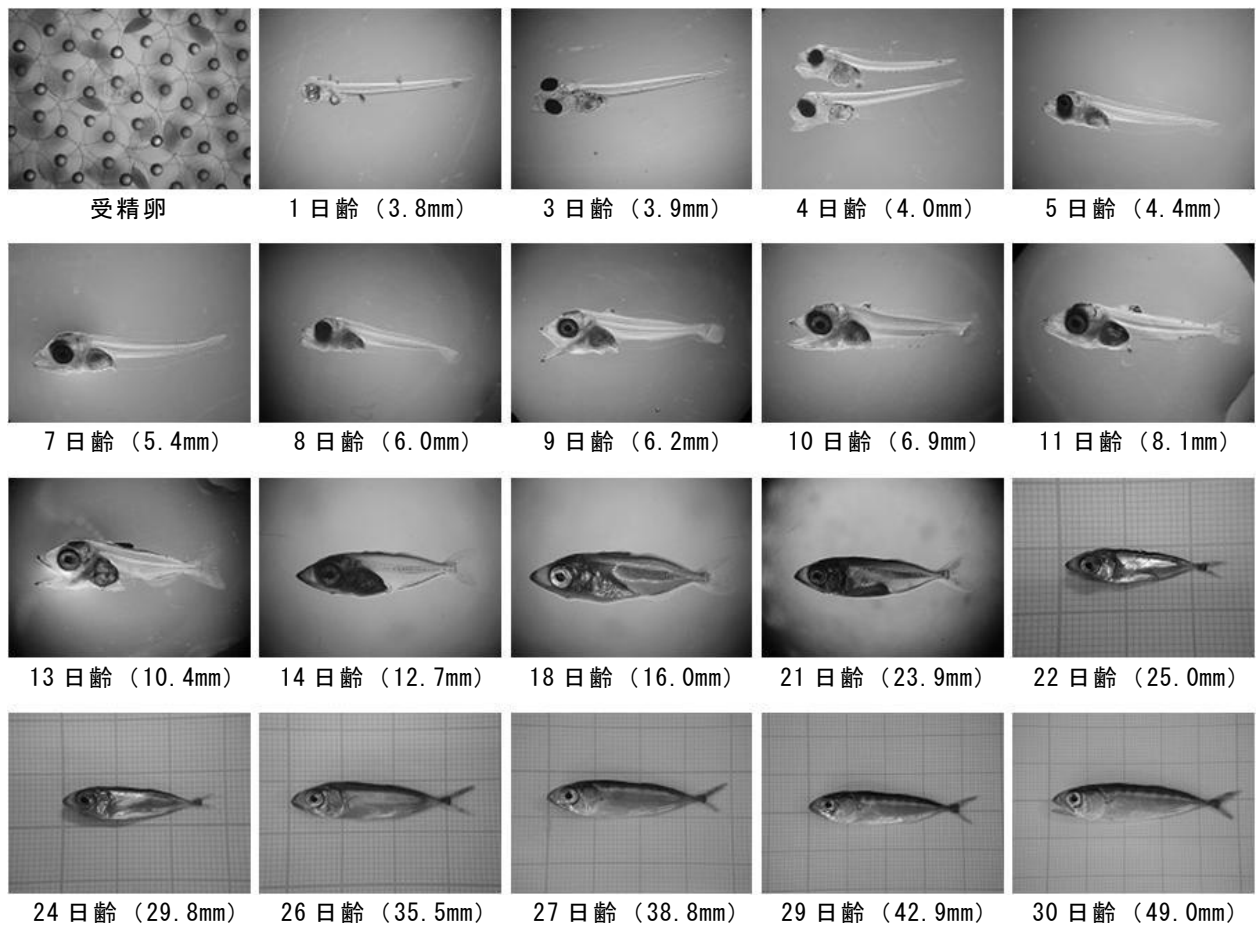


図 24 種苗生産期間中のクロマグロの成長

開鰓に関して、Takashi *et al.*⁹⁾は3日齢の夜までに多くの仔魚が開鰓する、澤田¹⁰⁾は3日齢から開鰓を始め、全ての個体が開鰓するには数日を要すると報告している。しかし、本試験では開鰓が始まるのが遅く、開鰓率も15日齢で60%程度に止まっていた(図25)。浮上死防止用のフィードオイルを使用していない回次でも同様の結果であったことから、オイルの影響ではないと考えられた。前年度の試験では、浦ノ内養魚場での生産個体は、今年度同様開鰓が遅く、開鰓率も低かったが、山崎技研古満目事業所(大月町古満目)での生産個体は、報告にあるように3日齢頃から開鰓個体が確認され、開鰓率も高かった。以上より、浦ノ内養魚場には何らかの開鰓阻害要因が存在する可能性が示唆されるが、クロマグロ仔魚は、昼間75～

85%の個体が鰾容積0となるとの報告もあり¹¹⁾、本試験の開鰾確認は日中に行っていることから、確認時刻が影響している可能性がある。

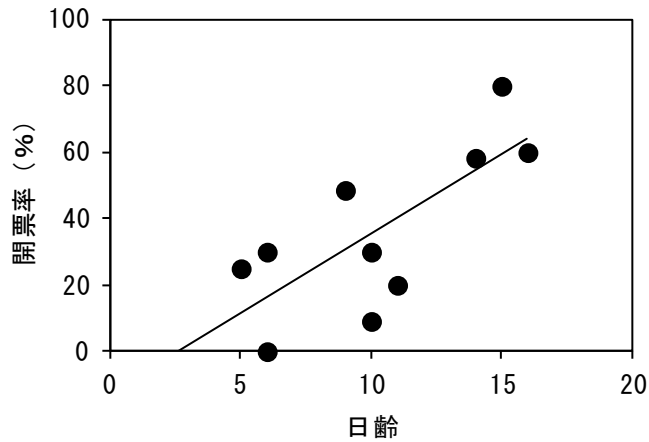


図 25 開鰾率

本年度は8回の生産を行い、その内3回の生産から合計1,045尾の種苗を取り揚げた(表10)。取り揚げ尾数は前年度(49尾)の21倍と大幅な増加であった。途中で生産を中止した事例を除く種苗生産段階の生残率は0.033%(0.014-0.112%)であり、これも前年度(0.010%)を上回った。

表10 種苗生産結果(取り揚げ)

回次	取り揚げ			
	月日	日齢	尾数(尾)	全長(mm)
1R	生産中止			
2R	8/2	30	418	48.3 (37.7-77.2)
3R	8/29	31	242	51.4 (40.0-57.6)
4R	8/29	30	385	40.8 (32.8-56.9)
4R-2	生産中止			
4R-3	生産中止			
5R	生産中止			
6R	生産中止			
7R	生産中止			
8R	生産中止			
8R-2	生産中止			

(3) 中間育成

1) 種苗の輸送及び収容

中間育成施設への輸送にかかった時間は8~9時間であった。施設到着時のへい死尾数は、1回次(種苗生産時:2回次)は69尾、2回次(種苗生産時:3回次)は1尾、3回次(種苗生産時:4回次)は7尾であった(表11)。1回次のへい死尾数が他の回次と比較して多かった原因は、輸送途中で別魚種を積み込んだ影響と考えられた。

2) 飼育

① 環境

中間育成期間中、水温は21.9~30.2℃、溶存酸素は5.0~10.0mg/L、比重は1.0210~1.0266の間で変動した(図26)。

表11 輸送によるへい死

中間育成	回次 (種苗生産時)	到着時へい死尾数 (尾)	生残率 (%)
1R	(2R)	69	83.5
2R	(3R)	1	99.6
3R	(4R)	7	98.2

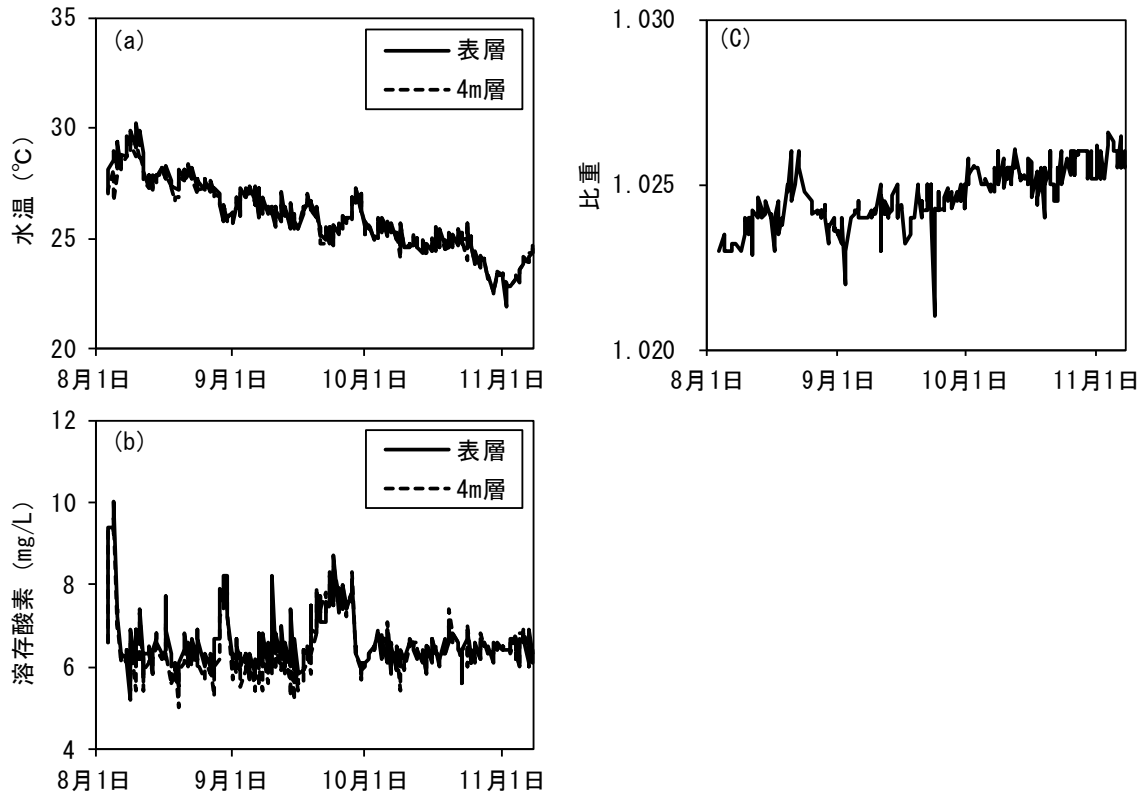


図 26 中間育成期間中の水温(a)、溶存酸素(b)及び比重(c)の変動

②生残

試験は1回次 349 尾、2回次 241 尾、3回次 378 尾で開始した。

へい死魚(変形個体の処分及び標識装着等によるへい死を除く)は輸送から1週間程度の間
に多く確認された(図 27)。

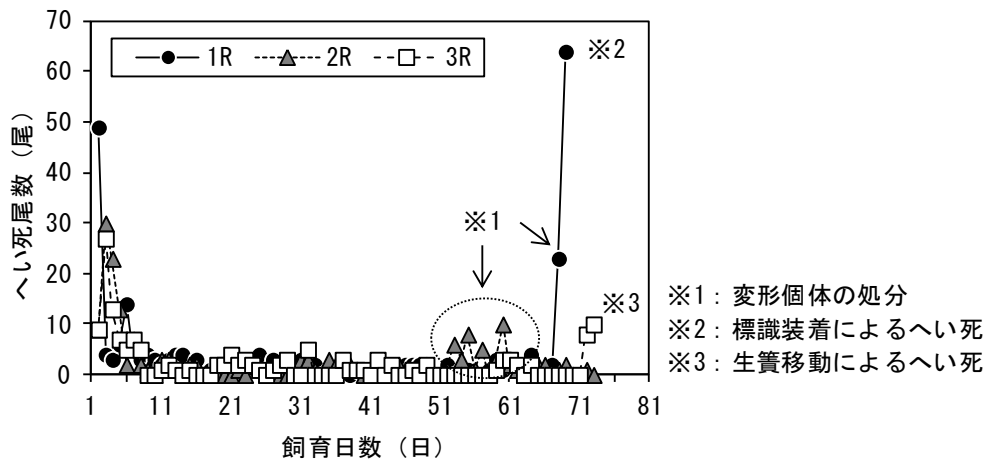


図 27 中間育成期間中のへい死尾数

生残尾数は、試験開始時の収容尾数から日々のへい死尾数を減じていく方法では、実尾数との乖離が大きかった。例えば、1回次飼育 67 日目の生残尾数は、計算上は 188 尾となっていたが、計数したところ実尾数は 86 尾であった。これは、飼育初期のへい死個体が生簀網外から魚によって食べられ、回収率が低かったことが原因と推測された。実際、給餌中に網底に落ちたイカナゴは、その多くが生簀網外から食べられていた。そこで、計数によって尾数を確定させた日から、日々のへい死尾数を加えて逆算していく方法で生残尾数及び生残率の推移を求めた。計算は、へい死個体が網目を抜けなくなり、全てが回収されたと考えられる飼育 15 日目（全長約 100mm）まで行った。

飼育 15 日目の生残率は、1回次 40.7%、2回次 58.9%、3回次 31.7%で、最も生残率の高かった2回次と最も低かった3回次の間には倍近い差があった（図 28）。また、比較可能な最後の日数である飼育 68 日目の生残率は、1回次 18.3%、2回次 26.1%、3回次 18.0%で、15 日目同様2回次の生残率が最も高く、1、3回次は同程度であった（図 28）。なお、飼育 68 日目の生残率は、1、2回次が変形魚を除去した正常個体のみのものであり、3回次は全個体（正常個体+変形個体、ただし目視で観察した限り変形個体は少ない）の値である。

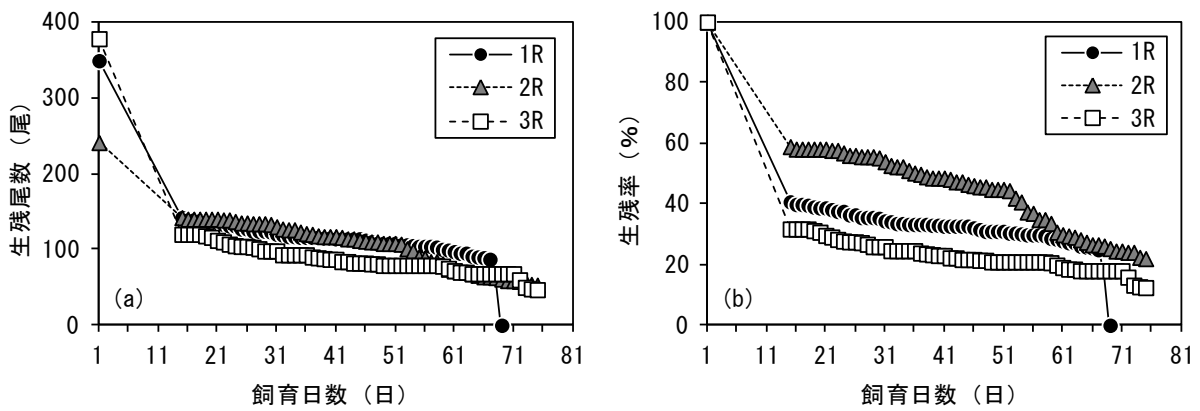


図 28 中間育成期間中の生残尾数 (a) 及び生残率 (b)

③成長

正常個体は、飼育 66~69 日目に出荷サイズの全長 300mm、体重 400g に達した（図 29、30）。しかし、下顎変形個体は摂餌が十分にできないため、正常個体と比較して全長は 6~9 割程度、体重は 2~6 割程度にとどまっていた（図 29、30）。また、回次間で成長に大きな差はなかった（図 31）。

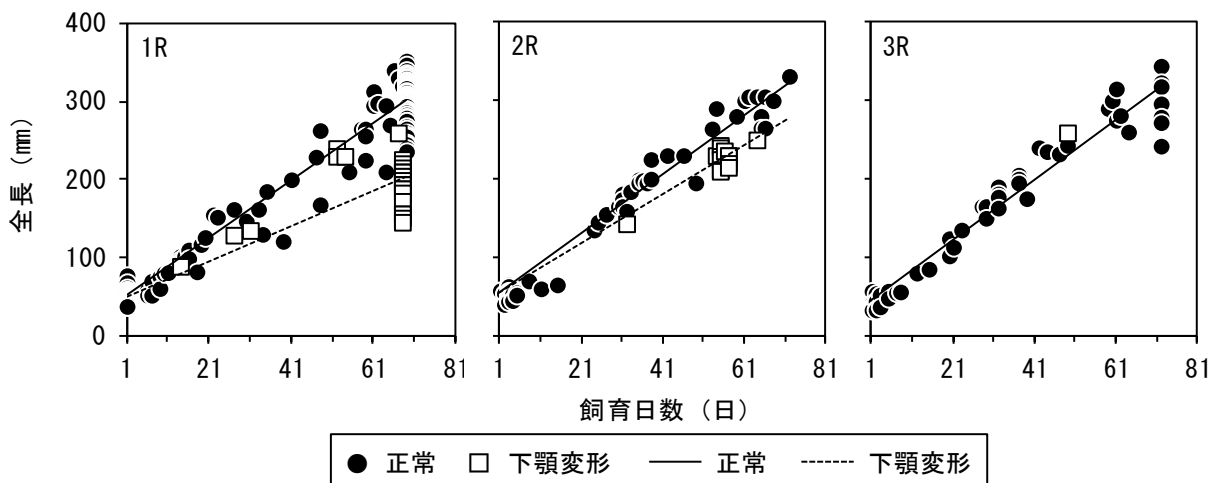


図 29 中間育成期間中の全長

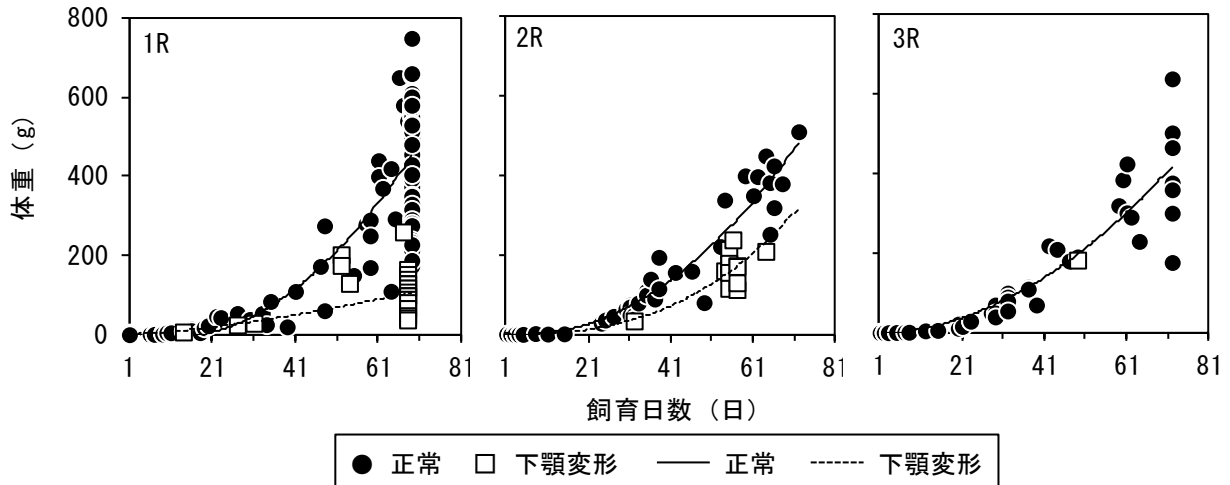


図 30 中間育成期間中の体重

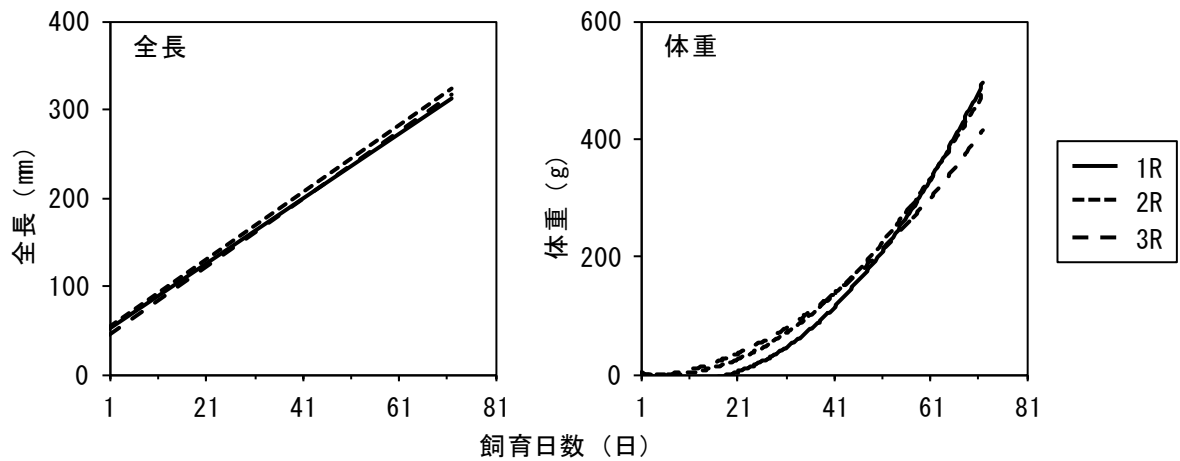


図 31 回次間の成長の差 (正常個体)

本試験で生産した種苗の健苗性を評価するために、天然ヨコワの肥満度^{12,13)}(=健康度)との比較を行った。その結果、本試験で生産した種苗と天然ヨコワとの間に差は見られず、健苗性に問題はないと考えられた(図 32)。なお、天然ヨコワに関しては尾叉長のデータしか記載されていなかったため、本試験で作成した尾叉長と全長の相関(図 33)から全長を求めた。

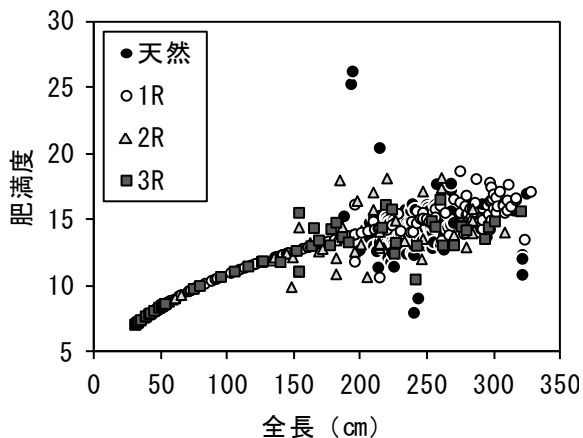


図 32 肥満度の比較

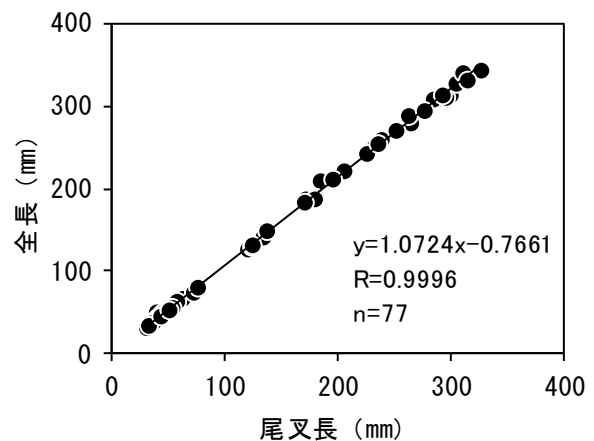


図 33 尾叉長—全長の相関

④給餌

給餌量、生残尾数及び魚体重の推移（図 34）から各回次の日間給餌率を求めた。その結果、魚体重 20～50g では平均 55.4%（平均水温 26.2℃）、魚体重 50～100g では平均 37.6%（平均水温 26.2℃）、魚体重 100～200g では平均 36.1%（平均水温 25.3℃）、魚体重 200g～では平均 29.9%（平均水温 23.9℃）であった（表 12）。3 回次の初期の日間給餌率が他の回次と比較して高いのは、生簀内の種苗の収容量に関係なく、配合飼料を自動給餌機で一定量与え続けたためと考えられた。

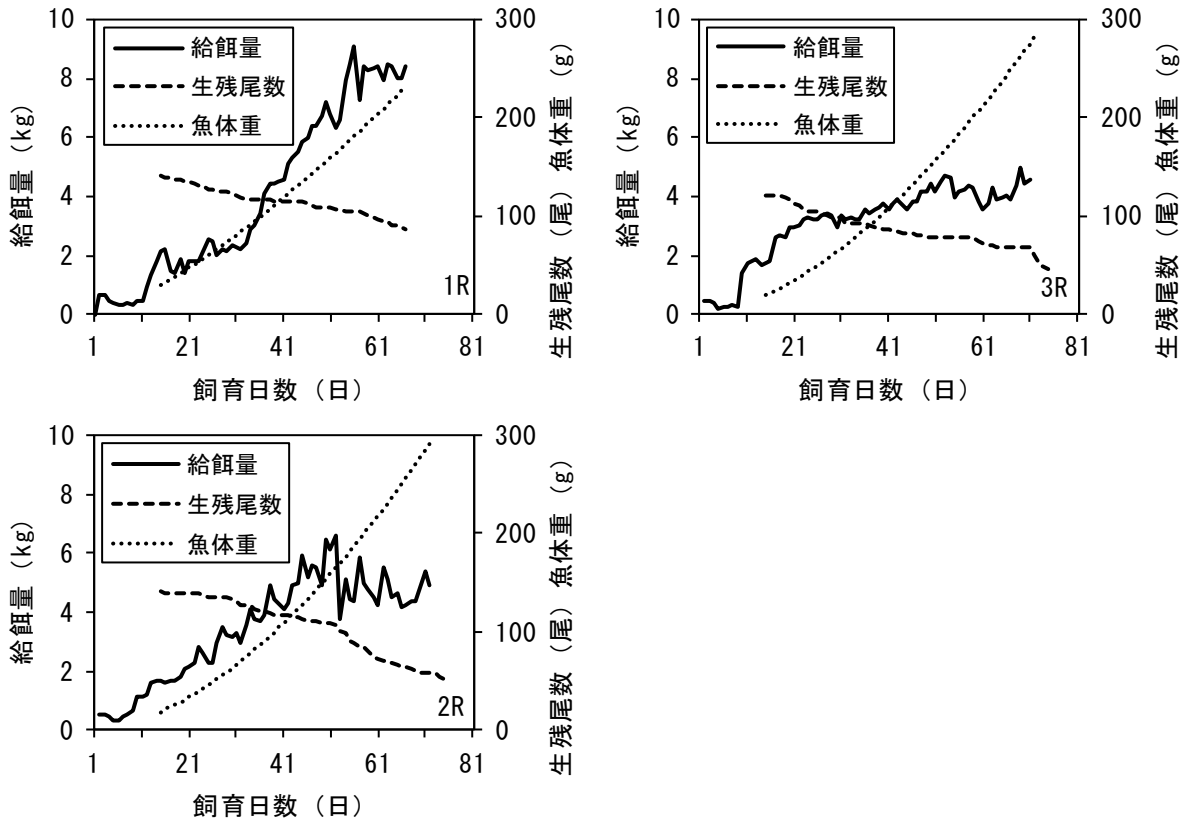


図 34 中間育成期間中の給餌量、生残尾数及び魚体重の推移

表12 中間育成時の日間給餌率

		魚体重 (g)			
		20～50	50～100	100～200	200～
1R	日間給餌率 (%)	23.5～51.4	21.8～33.4	34.1～47.9	39.4～42.6
	水温 (°C)	26.8～28.1	26.0～27.7	24.9～26.9	25.0～25.7
2R	日間給餌率 (%)	35.0～63.9	33.0～46.4	22.1～41.4	25.8～34.6
	水温 (°C)	24.9～26.7	25.3～26.9	24.6～25.5	22.6～24.1
3R	日間給餌率 (%)	62.9～90.9	41.5～61.4	28.0～41.7	22.8～27.7
	水温 (°C)	24.9～26.7	25.3～26.9	24.6～25.5	22.6～24.1
平均	日間給餌率 (%)	55.4	37.6	36.1	29.9
	水温 (°C)	26.2	26.2	25.3	23.9

生餌を与えたハマチの日間給餌率に関しては、水産養殖ハンドブック¹⁴⁾では、魚体重 10～50g で 40～60%（水温 15～22℃）、魚体重 50～100g で 30～50%（水温 18～24℃）、魚体重 100～200g で 20～30%（水温 20～25℃）、魚体重 200～400g で 15～20%（水温 23～26℃）と報告されており、水産増養殖データ・ブック VOL.2¹⁵⁾では、魚体重 50g で 28%（水温 25℃。以下同じ。）、魚体重 100g で 20%、魚体重 200g で 14.5%、魚体重 300g で 12%と報告され

ている。また、EP を与えたカンパチの日間給餌率に関しては、魚体重 127~284g では 3.25% (水温 26.0~29.8℃)、魚体重 58~168g では 1.68%、魚体重 353~744g では 1.76% (水温 18.2~27.9℃) 等の報告がある。¹⁶⁻¹⁸⁾ 本試験では、生餌と配合飼料を併用したが、日間給餌率は生餌を与えたハマチと同等、若しくはやや高い値であった。

3) 夜間照明の効果

①成長

1、2回次は日中のみの給餌、3回次は照明を使用し、日中に加えて夜間も給餌(配合飼料)を行ったが、成長にほとんど差は見られなかった(図 31)。その理由としては、3回次の飼育 55 日目に夜間給餌をやめたところ、日中のイカナゴの給餌量が大幅に増加したことから(図 35)、夜間給餌により日中の給餌量が減少し、1日の総給餌量が同程度になるためと考えられた。

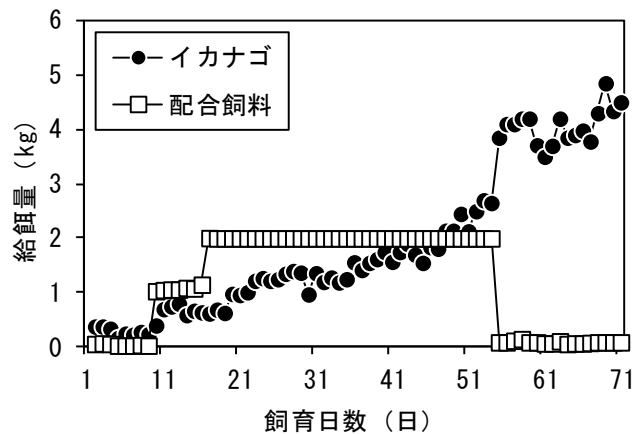


図 35 中間育成期間中の給餌量 (3回次)

②生残

前述のとおり、生残率は飼育 15 日目、68 日目ともに夜間照明を使用しなかった 2 回次が最も高く、期間をとおして夜間照明を使用した 3 回次が最も低かったことから(図 28)、小西ら³⁾の報告と同様、本試験でも夜間照明によるへい死防止効果は認められなかった。ただし、試験で使用した種苗は全て生産回次が異なることから、生残率の差は健苗性の差異に起因する可能性がある。

③下顎変形 (図 36)

下顎変形率は、1 回次飼育 68 日目は 25.6%、2 回次飼育 53 日目は 21.0%、3 回次は不明であるが、目視観察では、1、2 回次より低いと見られた。また、1、2 回次は、飼育 16 日目頃(全長約 100mm)から口先のスレ及び下顎変形が見られ始めたが、3 回次では 1 週間程度遅く、症状も軽かった。

以上より、夜間照明を長期間(1 か月程度)使用することで下顎変形を軽減できると考えられた。

④照度

夜間照明には照度を調節する装置が取り付けられており、約 3,000 ルクス(測定機器:セコニック社製 i-346、測定条件:光源から 30cm)で生簀内を照らしたところ、種苗は網際を遊泳したことから、網面に接触・衝突するおそれがあると考えられた。そこで、約 1,000 ルクスまで照度を低下させたところ、種苗は水中灯近くの生簀中央を遊泳し始めたことから、網面への接触・衝突の危険性が低下した。

以上より、夜間照明の照度は、種苗の遊泳状態等を確認しながら、生簀の規模等にあわせて調節する必要があると考えられた。



図 36 下顎変形個体

⑤色

1 回次の夜間照明は、飼育 1～8 日目は緑色、9～15 日目は白色の水中灯を使用した。それぞれの期間でへい死尾数等に大きな差は見られず、色の違いによる差は認められなかった。

(4) 試験出荷

1) 第 1 回

標識を装着するにあたり中間育成 1 回次の種苗を全て釣り上げたところ、生簀内の生残尾数は 86 尾であった。その内の正常個体 64 尾に標識を装着した。

標識の装着は雨樋とスポンジの二種類の作業台を用いて行ったが(図 37、38)、両者とも装着直後から種苗の活力が急激に低下した。この活力の低下によって、当日夕方の給餌量は前日同時刻の 1/10 以下にまで減少し、翌日の朝には全ての個体がへい死していた。外観に顕著なスレ症状は確認されず、軟エックス線撮影(ハイテックス社製 HX-70)等による検査でも、骨折痕は確認されなかった。以上より、種苗は標識装着時のハンドリング等によってへい死に至ったと推測され、以降の試験出荷個体には標識装着を行わないこととした。



図 37 標識装着作業(作業台:雨樋)



図 38 標識装着作業
(作業台:スポンジ製担架)

2) 第 2 回

輸送直前の生残尾数は、中間育成 2 回次の個体が 58 尾、3 回次の個体が 55 尾であった。午前 6 時 30 分に中間育成施設を出発し、午後 2 時に出荷先の安満地地先に到着した。輸送にかかった時間は 7 時間 30 分、輸送距離は約 6 km であった。途中、進行方向前側(3 回次の種苗を収容)の生簀網前面及び各生簀網の側面が吹かれたため、事前に設置していた沈子に加えて、20kg または 8 kg の沈子を計 10 個程度増設した。

安満地到着時、進行方向前側の生簀では 5 尾のへい死が確認され、後側の生簀(2 回次の種

苗を収容) ではへい死は確認されなかった。へい死の原因は吹かれた網に衝突・接触した影響と推測され、網の吹かれ方が大きかった前側の生簀でへい死尾数が増加したと考えられた。

輸送の2日後に、輸送に使用した角型生簀から飼育用の円形生簀(連結フロート方式、直径30m)へ種苗を収容した。当日朝までのへい死尾数は、2回次が合計5尾(10日:4尾、11日:1尾)、3回次が合計3尾(10日:2尾、11日:1尾)であり、輸送の影響によるへい死は収束に向かっていた。種苗の移動は、それぞれの生簀網を縫い合わせ(図39)、餌で誘導する方法で行った(図40)。餌による誘導で移しきれなかった種苗は、輸送用の生簀網を端から寄せていって移動させた。飼育用生簀に収容した尾数は、2回次53尾、3回次47尾、計100尾であった。



図39 生簀網の縫い合わせ作業

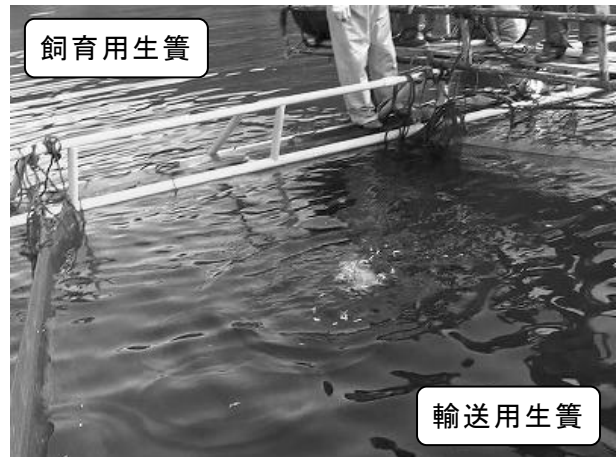


図40 餌の誘導による種苗の移動

飼育用生簀に収容した後、種苗のへい死は再び増加し、収容7日目の生残率は53%であった(表13)。へい死尾数の推移やキョクヨーマリファーム株式会社の担当者への聞き取りから、出荷した種苗の大半がへい死したと推測された。へい死の原因には、輸送時や生簀移動時に受けた傷害やストレス、およびサイズの異なる別の人工種苗を混ぜた影響が考えられたが、特定には至らなかった。

表13 試験出荷後のへい死

	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17	11/18
へい死尾数(尾)	11	1	6	11	10	5	3	以降不明
生残尾数(尾)	89	88	82	71	61	56	53	
	※1		※2					

※1 飼育用生簀収容後のへい死尾数

※2 別業者が生産した人工種苗と混養開始

4 まとめ

- 1) 産卵期間は6月2日から8月16日
- 2) 22回の採卵で6,607万粒の受精卵を採取
- 3) 805万粒の受精卵から1,045尾の種苗(40~50mm)を沖出し
- 4) 沖出しまでの生残率は0.033%(途中で生産を中止した事例を除く)
- 5) 中間育成段階の生残率は20~30%
- 6) 出荷サイズでの変形率は20~25%
- 7) 中間育成後、100尾の種苗(300mm)を試験出荷

5 謝辞

本試験は株式会社山崎技研、道水中谷水産株式会社、キョクヨーマリファーム株式会社、高知県宿毛漁業指導所、高知県土佐清水漁業指導所との共同で実施した。

6 参考文献

- 1) 升間主計. クロマグロ・キハダの親魚養成と産卵生態に関する研究. 近大水研報 2013 ; 13 : 37-236.
- 2) 森岡泰三. 私信. 2014.
- 3) 小西恭介, 升間主計, 中井彰治, 高橋範行, 村田 修, 宮下 盛. 沖出し後のクロマグロ稚魚の生残・成長に及ぼす夜間の照明効果. 日本水産増殖学会第 14 回大会プログラム 2015 : 490.
- 4) Nakamura Y, Mori K, Saitoh K, Oshima K, Mekuchi M, Sugaya T, Shigenobu Y, Ojima N, Muta S, Fujiwara A, Yasuike M, Oohara I, Hirakawa H, Chowdhury VS, Kobayashi T, Nakajima K, Sano M, Wada T, Tashiro K, Ikeo K, Hattori M, Kuhara S, Gojobori T, Inouye K. Evolutionary changes of multiple visual pigment genes in the complete genome of Pacific bluefin tuna. *PNAS* 2013; **110(27)** : 11061-11066.
- 5) Miyazaki T, Kohbara J, Takii K, Ishibashi Y, Kumai H. Three cone opsin genes and cone cell arrangement in the retina of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Fish. Sci.* 2008; **74(2)** : 314-321.
- 6) 升間主計. 成熟と産卵. 「クロマグロ養殖業－技術開発と事業展開」(熊井英水, 有元 操, 小野征一郎編) 恒星社厚生閣, 東京. 2011 ; 42-52.
- 7) Ishimaru K, Iida N, Okada T, Miyashita S. *Ichthyodinium* infection in the embryos and yolk sac larvae of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Fish. Pathol.* 2012; **47(4)** : 143-146.
- 8) 鈴木 怜. クロマグロ種苗生産技術開発試験. 平成 26 年度高知県水産試験場事業報告書 2016 ; **112** : 150-158.
- 9) Takashi T, Kohno H, Sakamoto W, Miyashita S, Murata O, Sawada Y. Diel and ontogenetic body density change in Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* (Temminck and Schlegel), larvae. *Aquacult. Res.* 1994; **37** : 1172-1179.
- 10) 澤田好史. 外部形態と器官の発育. 日本水産学会誌 2006 ; **72(5)** : 945-946.
- 11) 倉田道雄, 片桐 良, 本領智記, 田村慶希, 澤田好史. クロマグロ仔稚魚鰾容積の日周変化及び光環境が鰾容積に及ぼす影響. 平成 28 年度日本水産学会春季大会公演要旨集 2016 : 158.
- 12) 海洋資源課. 日本周辺クロマグロ調査. 平成 4 年度高知県水産試験場事業報告書 1994 ; **90** : 113-147.
- 13) 海洋資源課. 日本周辺クロマグロ調査. 平成 5 年度高知県水産試験場事業報告書 1995 ; **91** : 101-138.
- 14) 「水産養殖ハンドブック」(大島泰雄編) 水産社, 東京. 1969 ; 282.
- 15) 「水産増養殖データ・ブック VOL.2」(全国漁業協同組合連合会沿岸漁場開発対策室監修) 水産出版, 東京. 1976 ; 98.
- 16) 渡辺 貢, 黒原健朗. 養殖技術向上化試験. 平成 23 年度高知県水産試験場事業報告書 2013 ; **109** : 108-128.
- 17) 黒原健朗, 渡辺 貢. 養殖技術向上化試験. 平成 24 年度高知県水産試験場事業報告書 2014 ; **110** : 122-148.
- 18) 黒原健朗. 養殖技術向上化試験. 平成 25 年度高知県水産試験場事業報告書 2015 ; **111** : 144-161.