

令和元年度

さけ・ます等栽培対象資源対策事業

調査報告書

さけ・ます等栽培対象資源対策共同研究機関

令和2年3月

内 容

1. さけ・ます等栽培対象資源対策事業
新規栽培対象種技術開発（魚類）調査報告書
2. さけ・ます等栽培対象資源対策事業
新規栽培対象種技術開発（二枚貝）調査報告書
3. さけ・ます等栽培対象資源対策事業
さけ・ますふ化放流抜本対策 調査報告書

令和元年度

さけ・ます等栽培対象資源対策事業
新規栽培対象種技術開発（魚類）

調査報告書

さけ・ます等栽培対象資源対策共同研究機関
新規栽培対象種技術開発（魚類）グループ

令和2年3月

目 次

ア キンメダイの種苗生産技術等の開発	1
① 親魚養成および採卵技術の開発	
② 仔稚魚の飼育技術の開発	
イ アマダイ類等の種苗生産技術等の開発	
① 山口県沖におけるアマダイ類の種苗生産技術の開発	6
② 山口県沖におけるアマダイ類の種苗量産技術の開発	11
③ 日向灘におけるアマダイ類の種苗生産技術の開発	15
④ 日向灘におけるアマダイ類の種苗量産技術の開発	22
⑤ アマダイ等の親魚養成技術の開発	24
⑥ アカムツの種苗生産技術の開発	28
⑦ アカムツの親魚養成技術の開発	34
⑧ ヒゲソリダイの種苗生産技術の開発	39
ウ ホシガレイの種苗生産技術等の開発	
① 常磐海域におけるホシガレイの種苗生産技術の開発	46
② 三陸海域におけるホシガレイの種苗生産技術の開発	49
③ ホシガレイの種苗量産技術の普及と生産体制の構築	51
エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握	
① 新潟から富山県沖のアカムツの資源・生態調査	54
② 島根県沖のアカムツ、アマダイ類の資源・生態調査	58
③ 山口県沖のアカムツの資源・生態調査	60
④ 若狭湾のアマダイ類の資源・生態調査	65
⑤ 山口県沖のアマダイ類の資源・生態調査	69
⑥ 日向灘のアマダイ類の資源・生態調査	70
⑦ 放流魚調査技術の開発	71
⑧ 常磐海域のホシガレイの資源・生態調査	76
⑨ 三陸海域のホシガレイの資源・生態調査	79
⑩ 東北太平洋海域のホシガレイ資源・生態調査	83
⑪ 放流技術情報の調査取り纏め	85
オ 検討会の開催	
① 現地検討会の開催	90

ア キンメダイの種苗生産研究等の開発

静岡県水産技術研究所
野田 浩之・永倉 靖大

【目的】

静岡県におけるキンメダイの年間水揚量は、ピーク時の 7 千トンに比べて近年は 2 千トン未満となっており、資源の減少が続いている。そのため、資源回復の一手段として、キンメダイ栽培漁業の実現による種苗放流が求められている。これまでにキンメダイは産卵期に漁獲した親魚からの人工採卵や、ホルモン処理による短期養成によって受精卵が得られた例はあるが、種苗生産技術の確立には至っていない。そこでキンメダイ栽培漁業に向けた研究の第 1 段階として、種苗生産技術を開発する。

【研究方法】

1) 産卵実態の把握

令和元年 5～11 月にかけ、水深およそ 200～300m の静岡県東伊豆町稲取沖漁場（以下、稲取沖漁場）と水深およそ 400～500m の静岡県賀茂郡南伊豆町沖漁場（以下、南伊豆沖漁場）でキンメダイ一本釣り漁船を傭船、もしくは漁に同行してキンメダイを捕獲し、捕獲個体の体長測定と精密測定を行った。

2) 人工授精技術の開発

a 船上人工授精

産卵実態の把握のために捕獲した魚のうち、捕獲時に触診により成熟状況を確認し、排精、排卵が確認できた個体は乾導法により人工授精を行った。

b 配偶子（精子）保存技術、催熟技術の開発

産卵実態の把握のために捕獲した魚のうち、捕獲時に触診により成熟状況を確認し、排精が確認できた個体からは、凍結保存による精子保存試験用に精子を採取した。

また、産卵期前の 5 月から産卵盛期の 8 月にかけ、稲取沖漁場で捕獲した魚の一部は、ホルモン処理による催熟試験用に魚槽に収容して稲取港に持ち帰り、その後活魚トラックに移し替えて静岡県水産技術研究所駿河湾深層水水産利用施設（以下、利用施設とする）に輸送した。利用施設に到着後、触診により改めて成熟状況を確認し、排精が確認できた個体は冷蔵保存用に精子を採取した。体重 400～500g 以上の個体にはホルモン処理を実施して容量 5t の池に収容し、水深 397m から取水した海洋深層水をかけ流しして飼育した。ホルモンは 5、6 月の捕獲魚にはサケ脳下垂体乾燥粉末もしくは LHRHa コレステロールペレットを使用し、7 月の捕獲魚には HCG を使用した。サケ脳下垂体乾燥粉末は 1 週間毎に最高 4 回腹腔内に注射し、LHRHa コレステロールペレットは 2 週間毎に最高 4 回背筋部に挿入した。排卵が確認できた場合は乾導法により人工授精を行った。

3) 親魚養成技術の開発

2018 年 3 月 3 日捕獲個体 2 尾、2018 年 7 月 21 日捕獲個体 1 尾、2018 年 8 月 4 日捕獲

個体 1 尾を、利用施設の容量 20 t 円形コンクリート池で水深 397m もしくは 270m から取水した海洋深層水をかけ流しして飼育した。台風の影響で一時的に注水が停止した時を除き、水温 10～14℃ の範囲を維持するよう注水量を調節した。給餌はスルメイカ、キビナゴ、マイワシ等の切り身を週 3～5 回食べるだけ与えた。2019 年 7 月 25 日に体重 542g の 2018 年 3 月 3 日に捕獲した個体と、体重 665g の 2018 年 7 月 21 日に捕獲した個体を取り上げ、麻酔後に HCG を魚体重 1kg あたり 1,000 単位を目安に腹腔内に注射し、容量 5 t 角形 FRP 水槽に収容して 397m 深層水をかけ流しして飼育した。8 月 2 日に再び HCG を魚体重 1kg あたり 600 単位を目安に注射し、以降は週 1 回取り上げて腹部を軽く指圧することで排精・排卵の有無を確認した。

4) 仔稚魚の飼育技術の開発

人工授精によって得られた浮上卵は、容量 500L のアルテミアふ化槽に収容して表層海水をかけ流しして管理した。

【研究成果の概要】

1) 産卵実態の把握

稲取沖漁場と南伊豆沖漁場における捕獲調査の概要を表 1 に示す。合計で 200 尾のキンメダイが捕獲されたが、測定できなかった個体を除き、触診時に排精、排卵した個体は雄 2 尾、雌 18 尾の合計 20 尾のみで、全体の 10%、特に排精した雄は全体の 1% と少なかった。捕獲個体の月別の尾叉長と GSI（生殖腺重量指数：生殖腺重量/体重×100）の測定結果を図 1 と図 2 に示した。尾叉長も GSI も、どちらの漁場においてもばらつきはあるが、稲取沖漁場よりも南伊豆沖漁場で尾叉長が大きく、かつ GSI の高い個体が捕獲された。また GSI については、稲取沖漁場では 8 月、南伊豆沖漁場では 7 月に最も高い個体が捕獲されており、静岡県沖におけるキンメダイの産卵盛期は 7、8 月の夏期であることが示唆された。

2) 人工授精技術の開発

a 船上人工授精

船上人工授精の結果を表 2 に示した。9 月 3 日の調査で排精する雄が 1 尾、排卵する雌が 2 尾捕獲されたため、人工授精を行った。採卵数は 2,870 粒、浮上卵率は 17.0% であったが、ふ化仔魚は得られなかった。

b 配偶子（精子）保存技術、催熟技術の開発

凍結保存による精子保存試験については、排精する個体が少なく、試験に用いるだけの精子を得られなかったため実施できなかった。

ホルモン処理による催熟試験について、試験の結果を表 3 に示した。計 64 尾を利用施設に輸送し収容した。5、6 月に捕獲した個体のうち、16 尾にサケ脳下垂体乾燥粉末、13 尾に LHRHa コレステロールペレットを使用した。排卵、排精に到った個体は無かった。7 月 20 日の捕獲魚のうち、利用施設到着時に排精が確認できた個体は 1 尾であり、精子を採取

後池に収容した。10尾にHCGを使用した結果、7月24日と7月26日に1尾ずつ排卵が確認され、人工授精を実施した。人工授精の結果を表4に示した。7月24日の採卵数は1,737粒、使用した精子は直前に雄から採取したものを使用した結果、浮上卵率35.9%、ふ化率4.5%で、28尾のふ化仔魚が得られたただけであった。7月26日の採卵数は1,506粒、使用した精子は7月20日に採取し冷蔵保存した精子を用いたが、浮上卵率37.3%で、ふ化仔魚は得られなかった。

3) 親魚養成技術の開発

体重542gの個体は、8月26日（1度目のホルモン処理から32日目）に死亡した。性別は雄でGSIは0.6であった。体重665gの個体は、9月5日（1度目のホルモン処理から42日目）から9月19日まで排精が確認できた。

4) 仔稚魚の飼育技術の開発

ホルモン投与試験においてふ化仔魚を得られたが28尾と少なく、日齢3までに死亡したため飼育条件の検討は行えなかった。

【次年度に向けた提言】

今年度は凍結保存による精子保存技術と仔稚魚の飼育技術の開発研究を行うことができなかった。これは、排精、排卵する成熟親魚、特に雄の成熟親魚の捕獲が難しいことが原因である。成熟親魚の捕獲が難しいことは、産卵実態の把握のための捕獲調査からも明らかとなった。よって来年度は産卵盛期と考えられる7、8月に、大型で成熟の進んだ個体が分布している南伊豆沖漁場で捕獲回数を増やすことで、親魚確保の機会を増やす。また、天然親魚の捕獲状況に左右されないために、これまで以上に催熟技術や養成技術の開発といった、天然親魚に頼らない種苗生産の技術開発を重点的に行う必要がある。

今年度は得られた精子や卵、受精卵が少なかったことから、精子の運動性能や卵質、受精卵の発生状況等の詳細なデータを得ることができなかった。来年度はそれらデータ収集も行い、研究にフィードバックできるようにする。

表 1 捕獲調査の概要

月日	捕獲場所	捕獲尾数	排精個体数	排卵個体数
5月11日	稲取沖	16	0	0
5月23日	南伊豆沖	23	0	0
6月1日	稲取沖	18	0	0
6月22日	稲取沖	14	0	0
6月26日	南伊豆沖	21	0	7
7月17日	南伊豆沖	0	0	0
7月20日	稲取沖	16	1	0
7月25日	南伊豆沖	14	0	1
8月24日	稲取沖	0	0	0
8月30日	南伊豆沖	10	0	6
9月3日	南伊豆沖	37	1	4
10月1日	南伊豆沖	9	0	0
10月6日	南伊豆沖	11	0	0
10月23日	南伊豆沖	8	0	0
11月21日	南伊豆沖	3	0	0
総計		200	2	18

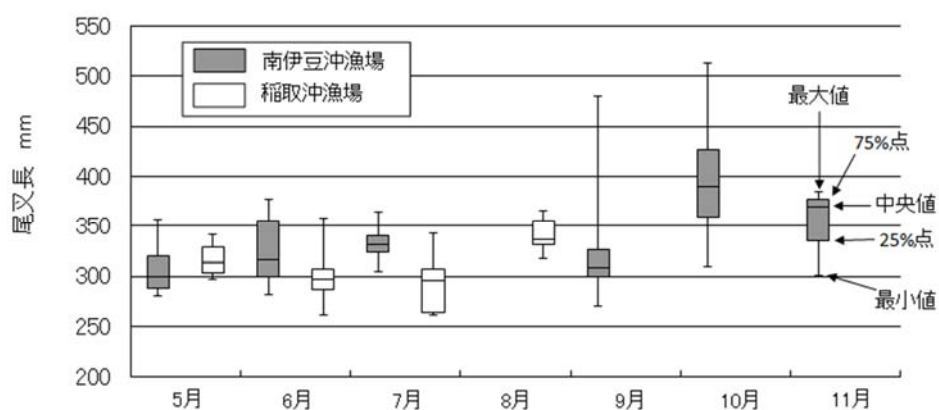


図 1 稲取沖漁場と南伊豆沖漁場における月別の尾叉長測定結果

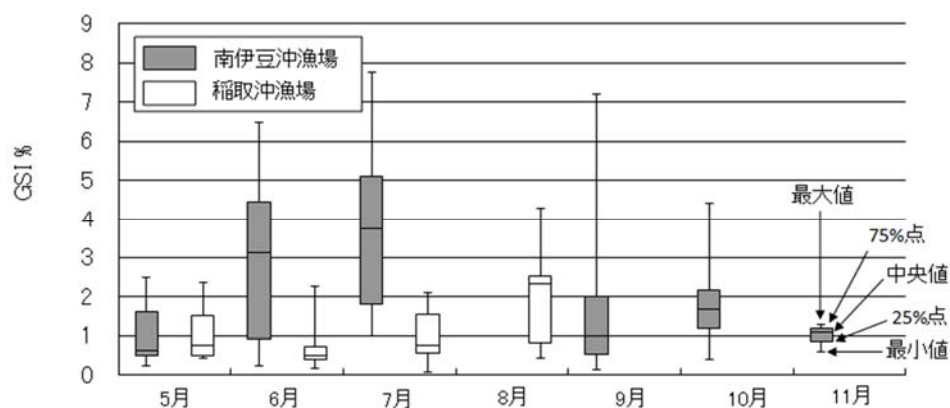


図 2 稲取沖漁場と南伊豆沖漁場における月別の GSI 測定結果

表 2 船上人工授精の結果

授精日	親魚体重 g		採卵数 粒	沈下卵数 粒	浮上卵数 粒	浮上卵率 %	ふ化仔魚数 尾	浮上卵ふ化率 %
	雄	雌						
9月3日	1,612	856 1,212	2,870	2,382	488	17.0	0	0

表 3 ホルモン処理による催熟試験結果

月日	輸送尾数	輸送時		ホルモン処理尾数		ホルモン処理後	
		排精個体数	排卵個体数	雄	雌	排精個体数	排卵個体数
5月11日	16	0	0	5	3	0	0
6月1日	18	0	0	0	8	0	0
6月22日	14	0	0	0	10	0	0
7月20日	16	1	0	2	5	0	2

表 4 ホルモン処理によって催熟させた個体を使用した人工授精の結果

授精日	親魚体重 g		採卵数 粒	沈下卵数 粒	浮上卵数 粒	浮上卵率 %	ふ化仔魚数 尾	浮上卵ふ化率 %
	雄	雌						
7月24日	625	620	1,737	1,113	624	35.9	28	4.5
7月26日	保存精子	585	1,506	945	561	37.3	0	0

イ. アマダイ類等の種苗生産技術等の開発

①山口県沖におけるアマダイ類の種苗生産技術の開発

山口県水産研究センター

内田 明

【目的】

シロアマダイは、アマダイ類の中でも希少性が高い高級魚である。山口県では、日本海と瀬戸内海に分布し、漁業者からの種苗放流の要望が強い魚種の1つである。しかし、その生態についてはこれまで殆ど明らかにされていない。

本研究では、漁獲実態調査や親魚養成試験等により基礎的知見を収集し、本種の生態把握および種苗生産技術（親魚養成・採卵技術）の開発を目的とする。

【研究方法】

1) 年齢査定

2017年8月～2019年10月までに漁獲された瀬戸内海産71尾（雄37尾、雌34尾）および日本海産40尾（雄19尾、雌21尾）から採取した耳石を用い、横断面法による年齢査定を行った。

2) 親魚確保

瀬戸内海で操業する延縄漁業者の協力を得て、2019年4～5月に試験操業を計6回実施した。揚縄速度は約30m/分に設定し、漁獲直後の個体は水圧の変化により鰾が膨張しているため、船上にて速やかにエア抜きを行った。

3) 人工採卵試験

5月25日に漁獲した雌4尾にヒト絨毛性ゴナドトロピン（HCG）を300IU/体重1kgを目安に打注した。HCGは漁獲当日の16時に打注し、その24、48、72時間後に搾卵した。搾卵後、速やかに精子を加えて攪拌し、乾導法により人工授精を行った。精子は5月23～25日に漁獲した雄7尾から採取し、人工精漿で希釈して保存したものを使用した。

4) 種苗生産試験

（公社）山口県栽培漁業公社と共同で種苗生産試験を実施した。試験には山口県外海栽培漁業センターのコンクリート製50k1八角形水槽1面を用いた。餌料は、S型ワムシを3～24日齢まで、アルテミアを15～40日齢まで、配合餌料を21日齢以降に与えた。通気は、水槽中央底の1カ所と側面底の8カ所から行った。換水率は5日齢まで止水、6日齢で10%、10日齢で30%、20日齢で50%、30日齢で150%、38日齢以降で230%とした。人工照明は3日齢から使用し、200Wの白熱電球10個を水面上に垂下した。段階的に照明の数を減らし、40日齢で全て撤去した。開鰾を促進するため、4日齢以降は水面の油膜を除去した。

5) 種苗放流試験

種苗放流は、7月29日、8月9日および11月24日に瀬戸内海で実施した。放流場所は砂泥底の漁港内を選定し、日中に岸壁から放流した。高水温期の標識装着作業は種苗に与える負荷が大きいと考え、7月29日および8月9日の放流種苗は無標識とした。11月24日の放流種苗は、標識として左腹鰭切除を施した。7月29日には、放流直後の種苗の行動を把握するため、目視および水中ドローン（Shenzhen Geneinno Technology 社製、TITAN）による観察を行った。各種苗放流後は、県内の瀬戸内海沿岸漁協に再捕報告依頼のポスターを配布した。また、放流種苗の定着状況を把握するため、9月18日および10月21日に、7月29日の放流場所付近で釣獲調査を実施した。

6) 種苗の高水温耐性試験

平均全長 50 mmの種苗を用いて高水温耐性試験を実施した。FRP 製 1k1 円形水槽 2 面を自然水温区と冷却水温区に分け、各試験区に 150 尾ずつ収容した。冷却水温区は海水冷却機を使用し、水温 25℃前後を維持した。試験は7月27日に開始し、自然水温が 25℃を下回った9月19日に終了した。両試験区は、配合餌料を1日3回飽食量給餌し、換水率は400%とした。

【研究成果の概要】

1) 年齢査定

瀬戸内海における漁獲個体の年齢組成を図1に示した。2～4歳の漁獲が多く、特に3歳の割合は全体の40.8%で最も高かった。最高齢は雄が12歳、雌が11歳であった。各年齢における平均体長は、雄が2歳で322 mm、3歳で403 mm、4歳で417 mm、雌がそれぞれ325 mm、379 mm、417 mmであった（図2）。最大体長は、雄が510 mm、雌が513 mmであった。輪紋の形成は4～6月に見られ、成熟個体の出現時期と一致した。

日本海における漁獲個体の年齢組成を図3に示した。瀬戸内海と同様に3歳の割合が高いが、6歳以上の割合は5%で瀬戸内海（同25%）よりも低く、5歳以下の若齢魚を主体に漁獲していた。年齢と体長の関係を図4に示した。3歳では、雄が雌よりも有意に大きかった（t 検定、 $p<0.05$ ）。また、雌雄ともに同年齢の瀬戸内海産個体よりも有意に小さかった（t 検定、 $p<0.05$ ）。その他の年齢ではサンプル数が少なく比較できなかった。輪紋の形成は10～11月に見られ、成熟個体の出現時期（2～4月）とは一致しなかった。

2) 親魚確保

試験操業の結果を表1に示した。6回の試験操業で確保した親魚は計30尾で、そのうち活魚は10尾（雄6尾、雌4尾）であった。これまでの試験操業で活魚が確保できた割合は、4～6月が33%（39尾中13尾）、9～11月が88%（16尾中14尾）で、4～6月は明らかに低かった。これは、産卵期の親魚は体力が低下し、漁獲に伴うダメージに耐えられなかったものと推察された。

3) 人工採卵試験

採卵試験の結果を表 2 に示した。雌 4 尾から搾卵し、計 40.5 万粒の浮上卵（受精卵）を確保した。浮上卵数が最も多かったのは 48 時間後（25.6 万粒）で、浮上卵率が最も高かったのは 72 時間後（71.3%）であった。なお、24 時間後では浮上卵が得られず、授精可能な段階まで卵の成熟が進まなかったものと推察された。

4) 種苗生産試験

50k1 水槽に収容した受精卵は 37.2 万粒で、授精から 35 時間後にふ化した。ふ化尾数は 15 万尾（ふ化率 40.3%）で、ふ化時の水温は 20.5℃であった。仔魚は 3 日齢に開口し、6 日齢の時点で 90%が開鰓した。全長と日齢の関係を図 5 に示した。平均全長は、0 日齢（ふ化仔魚）が 2.2 mm、15 日齢で 5 mm、24 日齢で 10 mm、35 日齢で 20 mm、45 日齢で 30 mm を超えた。48 日齢（平均全長 36 mm）で 8.5 万尾を取り揚げ、ふ化仔魚からの生残率は 56.7%であった。取り揚げ時の形態異常率は 1.6%で、脊椎湾曲症によるものであった。

5) 種苗放流試験

種苗放流の概要を表 3 に示した。3 回の放流で計 8.3 万尾を放流した。7 月 29 日の放流では、種苗は放流後に速やかに潜行し、放流 30 分後に水面付近に留まっていた種苗は約 50 尾であった。また、放流直後に海底を水中ドローンで観察したところ、着底した種苗が多数観察された（図 6）。このことから、放流 30 分以内にほとんどの種苗が着底したと推察された。

釣獲調査では、9 月 18 日に 2 尾（全長 9 cm）、10 月 21 日に 2 尾（全長 12、14 cm）が釣獲された。これが 7 月 29 日の放流個体であると仮定すると、放流から 85 日間は放流場所付近に留まっていたと考えられる。

6) 種苗の高水温耐性試験

各試験区の飼育水温と生残率の関係を図 7 および図 8 に示した。飼育水温は自然水温区が 24.7～30.7℃、冷却水温区が 24.4～26.0℃の間で推移した。試験終了時の生残率は、自然水温区が 90%、冷却水温区が 92%で大きな差はなく、自然水温での当歳魚の越夏飼育が可能であることが推察された。

【次年度に向けた提言】

シロアマダイは漁獲量が少ないうえ、漁獲水深が深いことで個体にかかるダメージが大きいため、活魚での確保が難しい。特に産卵期は活魚で確保できる割合が低いため、親魚の確保はさらに難しくなる。今後、受精卵を安定的に確保するためには親魚養成技術の開発が必要であり、人工生産魚の養成も含めて検討したい。

また本種は、県内では瀬戸内海と日本海に分布するが、現状では遺伝的に同一系群であるか不明である。このため、今年度の生産種苗は親魚を確保した瀬戸内海に放流したが、日本海沿岸の漁業者からも種苗放流の強い要望があるため、将来的には遺伝子解析により遺伝的な系群の差異を明らかにする必要がある。

表 1. 試験操業の結果

試験操業日	4月25日	5月7日	5月11日	5月15日	5月23日	5月25日	合計
採捕尾数	3	2	4	3	1	17	30
うち活魚	0	1 (雄)	2 (雄2)	0	0	7 (雄3/雌4)	10

表 2. 採卵試験の結果

HCG打注後の経過時間	総採卵数 (粒)	浮上卵数 (粒)	沈下卵数 (粒)	浮上卵率 (%)
24時間	136,000	0	136,000	0
48時間	470,000	256,000	214,000	54.5
72時間	209,000	149,000	60,000	71.3
計	815,000	405,000	410,000	49.7

表 3. 種苗放流試験の概要

放流日	7/29	8/9	11/24	合計
放流尾数(尾)	60,000	20,000	3,000	83,000
平均全長(mm)	50	60	110	—
標識	無	無	左腹鰭切除	—

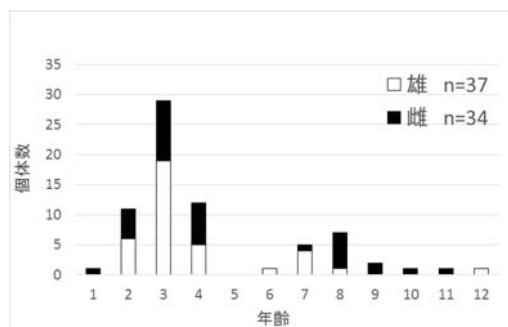


図 1. 漁獲個体の年齢組成（瀬戸内海）

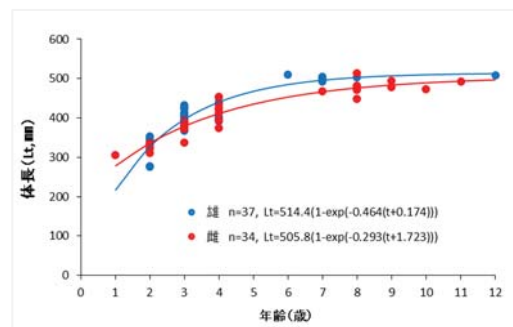


図 2. 年齢と体長の関係（瀬戸内海）

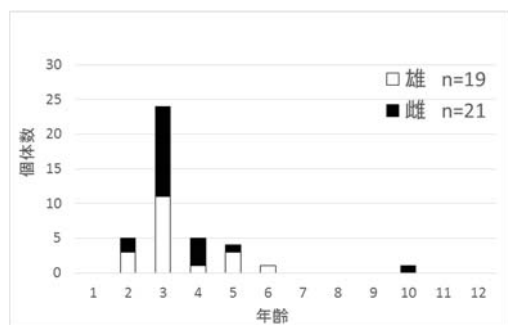


図 3. 漁獲個体の年齢組成（日本海）

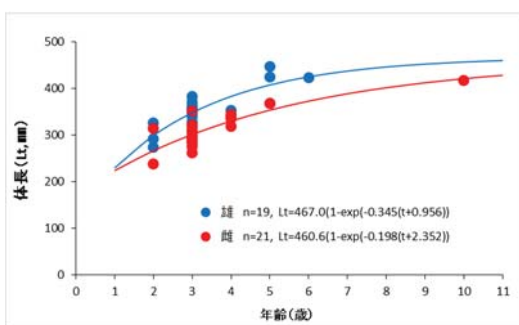


図 4. 年齢と体長の関係（日本海）

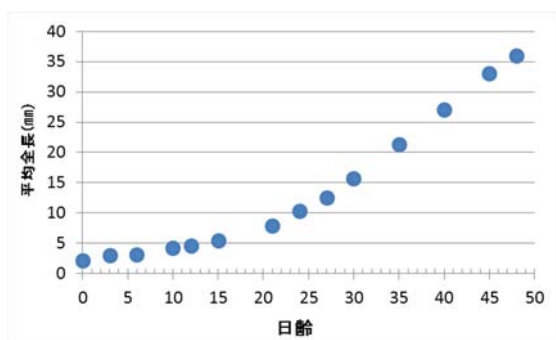


図 5. 全長と日齢の関係



図 6. 放流後に着底した稚魚



図 7. 飼育水温と生残率の関係（自然水温区）

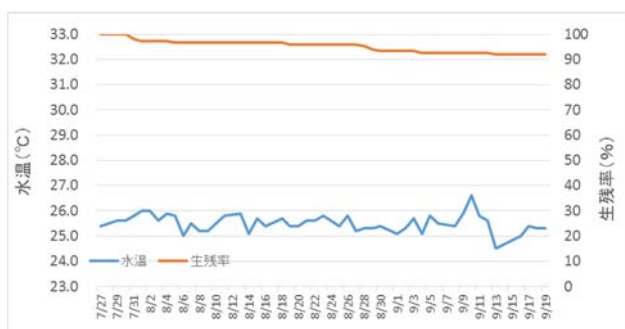


図 8. 飼育水温と生残率の関係（冷却水温区）

イ アマダイ等の種苗生産技術の開発

②山口県沖におけるアマダイ類の種苗量産技術の開発

公益社団法人山口県栽培漁業公社

桶屋 幸司

【目的】

消費者のニーズが高く、漁業者からの種苗生産に対する要望が強いアマダイ類の種苗量産技術の開発を促進させることを目的とする。

アマダイ類の種苗生産では、精子の凍結保存方法や人工授精技術、ウイルス性疾病の防除技術が開発され、数 10 万尾の生産が可能となったが、採卵用の親魚を天然魚に依存しているため必要な数量の受精卵を安定して確保できる状態にはなっていない。仔稚魚の飼育では、光条件や通気量を調整することで飼育初期の生残率をある程度高めることができるようになったが、ヒラメ等と比べて放流までの飼育期間が長いことから生産コストが高く、生産の省力化や低コスト化が求められている。

成熟個体(天然親魚)を用いて従来法による人工授精を行い、得られた受精卵から種苗生産し、全長 3cm サイズの種苗を生残率 30%以上、飼育密度 2,000 尾/ k l で安定的に生産する技術を開発するとともに、アカアマダイについては、生産した全長 3cm サイズの種苗を用いて閉鎖循環式飼育システムによる中間育成を実施し、適正な飼育密度や水温等を明らかにし、全長 7cm の種苗を高密度で飼育可能な中間育成技術を開発する。

中間育成の目標は全長 7cm サイズの放流種苗を生残率 95%以上、1,200 尾/ k l の密度で生産するシステムを開発し、生産コストを従来の 1/2 以下に削減することである。

【研究方法】

(1) 種苗生産

1) シロアマダイ

山口県水産研究センターが成熟個体(天然親魚)から人工授精により 5 月 27 日から 5 月 28 日にかけて採卵した受精卵を一晩微流水で育卵し(育卵水温 20℃)、翌日、胚体を確認した後、浮上卵を 0.5ppm の濃度に調整した電解殺菌海水で 1 分間消毒し、受精卵 372 千粒を 50 k l 八角形水槽に収容し、ふ化させた。150 千尾がふ化し(全長 2.2 mm)、ふ化率は 40.3%であった。

飼育水は、紫外線殺菌砂ろ過海水を使用した。換水は、日齢 5 から 10%で開始し、以降は注水量を徐々に増加させた。飼育水温は、自然水温とした。

通気は、水槽底面8カ所に固定したユニホース8本と水槽中央部に設置したユニホース1本から行った。また、開鰓させるため日齢4～6に水面の油膜除去を行った。

電照は、仔魚が開口した日齢3から日齢39まで24時間行った。

餌料は、S 型ワムシ、アルテミア幼生、配合飼料とした。S 型ワムシの給餌は、日齢 3 から開始し、日齢 24 に終了した。栄養強化は市販の高度不飽和脂肪酸強化淡水クロレラ

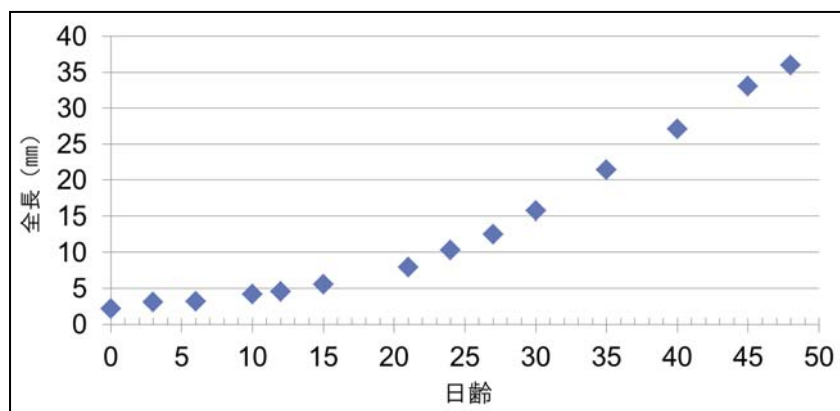
で栄養強化した。アルテミア幼生は、市販の天然の DHA を含んだシドキトリウムで 6 時間栄養強化し、日齢 15 から日齢 40 まで給餌した。配合飼料は、日齢 21 から給餌を開始し、仔稚魚の成長に応じて増量し、粒径も大きいものに変更した。

飼育水槽への藻類添加は、市販の高度不飽和脂肪酸強化淡水クロレラを日齢3から日齢40まで添加した。

ふ化仔魚収容尾数は 150 千尾で、飼育開始密度は 3,000 尾／*kl* であった。48～49 日間の飼育で平均全長 36mm の稚魚 85 千尾を取り上げた。生残率は 56.7%で、飼育密度は 1,700 尾／*kl* であった。日齢 6 における 開鰓率は 90%で、取り上げ時の形態異常率は 1.6%であった。

日齢と全長の関係を表 1 に示した。

表1 日齢と全長の関係



2) アカアマダイ

成熟個体(天然親魚)を 10 月 9 日から 10 月 11 日に雌雌 89 尾、雄雄 7 尾、10 月 28 日に雌 35 尾、雄 5 尾を購入し、雌にはヒト胎盤性生殖腺刺激ホルモン HCG(以下、HCG)を打注し、活魚簗に入れ、水温 20℃に調整した屋内コンクリート水槽に収容した。雄は精巢を摘出し人工精漿中で細片し、精巢重量の 50 倍の人工精漿で希釈し精子抽出液を作製した。精子抽出液は、冷蔵庫内に 4℃で保存した。

採卵は、HCGを打注し、48、72時間後の10月11日から10月13日、10月30日から10月31日に実施した。採卵方法は人工授精法とし、雌1尾ずつから卵を搾出後、冷蔵精子を滴下し媒精を行い、受精卵を100ℓ黒色ポリエチレンタンク水槽に収容した。2回の採卵で 1,798千粒の受精卵を得た。

浮上卵を200ℓポリカーボネート水槽に収容し、再浮上させた後、500ℓポリカーボネート水槽に収容し、0.7ℓ／分の通気をし、一晚止水で育卵した(育卵水温22℃)。翌日、胚体を確認した後、浮上卵を0.5ppmの濃度に調整した電解殺菌海水で1分間消毒し、50*kl* 八角形水槽に収容し、ふ化させた。採卵結果を表2に、卵の収容とふ化を表3に示した。

表2 採卵結果

回次	月 日	浮上卵	沈下卵	浮上率
1回次	10月11日～13日	847g	374g	69.4%
2回次	10月30日～31日	52g	27g	65.8%
計		899g	401g	69.2%

表3 卵の収容とふ化

水槽番号	収容日	ふ化日	収容卵数 (千粒)	ふ化尾数 (千尾)	ふ化率 (%)
M4	10月12日	10月13日	366	186	50.8
M3	10月13日	10月14日	425	227	53.4
M2	10月13～14日	10月14～15日	448	228	50.9
M4	10月31～11月1日	11月1～2日	104	69	66.3
計			1,343	710	52.9

飼育水は、紫外線殺菌砂ろ過海水を使用した。換水は、日齢10から20%で開始し、以降は注水量を徐々に増加させた。飼育水温は、受精卵収容時からふ化までは23℃に設定し、ふ化後は24℃に設定した。

通気は、水槽底面8カ所に固定したユニホース8本と水槽中央部に設置したユニホース1本から行い、各通気管には流量計を取り付け調整した。通気量は側面の通気を0.3～1.0ℓ/分とし、飼育水中のD0を6mg/ℓ以上に維持させるため、日齢6から酸素発生装置により酸素を供給した。また、開鰓させるため日齢4～6に水面の油膜除去を行った。

電照は、200wレフランプ電灯8基を水槽上部に設置し、仔魚が開口した日齢3から取り上げまで24時間行った。

餌料は、S型ワムシ、アルテミア幼生、配合飼料とした。S型ワムシの給餌は、日齢3から開始し、日齢26に終了した。栄養強化は市販の高度不飽和脂肪酸強化淡水クロレラで栄養強化した。アルテミア幼生は、市販の天然のDHAを含んだシドキトリウムで6時間栄養強化し、日齢16から日齢46まで給餌した。配合飼料は、日齢23から給餌を開始し、仔稚魚の成長に応じて増量し、粒径も大きいものに変更した。

飼育水槽への藻類添加は、市販の高度不飽和脂肪酸強化淡水クロレラを日齢3から日齢39まで添加した。

ふ化仔魚収容尾数は710千尾で、飼育開始密度は1,380～4,560尾/klであった。60～67日間の飼育で平均全長49.4mmの稚魚123千尾を取り上げた。平均生残率は17.3%で、飼育密度は1,040～1,420尾/klであった。10月12日に収容したM4水槽及び11月1日に収容したM4水槽はバクテリアフロックが発生し日齢5に全滅した。

種苗生産結果を表4に示した。

表4 種苗生産結果

水槽番号	飼育期間	収容尾数 (千尾)	取上尾数 (千尾)	取上全長 (平均(mm))	生残率 (%)
M 4	10 月 12 日～10 月 18 日	186	—	—	—
M 3	10 月 13 日～12 月 20 日	227	52	51.3	22.9
M 2	10 月 13 日～12 月 13 日	228	71	47.4	31.1
M 4	11 月 1 日～11 月 7 日	69	—	—	—
計		710	123	49.4	17.3

(2) 中間育成

12 月 20 日に取上げた平均全長 51.3 mm の稚魚 31 千尾を 50 k ℓ 八角形水槽(水量 30 k ℓ で飼育)へ収容し、飼育水温 18℃で飼育を開始した。閉鎖循環システムでの飼育が可能となった 1 月 9 日からは 30 k ℓ 角形水槽に平均全長 57.7 mm の稚魚 11 千尾を移槽し、閉鎖循環システムによる飼育を飼育水温 18℃で実施した。

飼育結果は、12 月 20 日から 2 月 2 日まで中間育成を行い、平均全長 71.65 mm の稚魚を 10.37 千尾取り上げた。生残率は 94.3%であった。

閉鎖循環システムでの飼育期間中は従来型の中間育成(流水飼育)と比較し、加温費用が 1/2 となった。

閉鎖循環システムについては、受け水槽と循環ポンプを設け、泡沫分離装置の能力を十分発揮できるようにした事で、前回までの問題点であった懸濁物によるろ過槽の目詰まりはなくなった。また、紫外線殺菌装置を設置したことで、疾病の発症はなかった。

【次年度以降に向けた提言】

今年度、アカアマダイ種苗生産で 2 水槽にバクテリアフロックが発生し全滅した。種苗を生産できた水槽では目標の生残率、取上時の飼育密度を達成できなかった。次年度は安定した生産ができるよう飼育方法の見直しが必要である。

中間育成では、計画していた収容密度 700～800 尾／k ℓ を達成できなかった。

アカアマダイは着底する魚種であることから使用する水槽の底面積を考慮し飼育密度を決める必要がある。当初の目標を飼育密度 1,200 尾／k ℓ としていたが、噛合いの激しい魚種であるアカアマダイでは着底期以降の飼育基準について m²当たりの収容尾数を基準にすることが妥当と思われる。

イ アマダイ類等の種苗生産技術等の開発

③ 日向灘におけるアマダイ類の種苗生産技術の開発

一般財団法人 宮崎県水産振興協会

水口 卓也

【目的】

全長 30mm のアマダイ類の種苗を飼育密度 2,000 尾/KL、生残率 30%以上で安定的に生産し、放流サイズ（全長 70mm）まで高密度で飼育する技術を開発するため、『採卵用親魚を大量確保する方法の確立』、『種苗生産技術の開発』、『中間育成技術の開発』の 3 課題について取り組む。『採卵用親魚を大量確保する方法の確立』では、昨年度と同様に繁殖盛期とされる 9 月に親魚確保を行った。『種苗生産技術の開発』と『中間育成技術の開発』では、高密度飼育における新たな問題点の抽出と昨年度発生した照度変化に起因する大量斃死の再発防止を目的とした。

【研究方法】

1. 採卵用親魚を大量確保する方法の確立

今年度はアカアマダイの親魚採捕を昨年度と同様に 9 月と 10 月に 1 回ずつ行った。9 月の親魚採捕では高水温対策として漁船に冷却海水（約 20℃）を入れたクーラーボックスを持ち込み、釣獲した活魚を収容して輸送する方法を試みた。10 月の親魚採捕では従来どおり活魚を漁船の活け間に収容し、港まで輸送した。

得られた活魚は現地でホルモン打注（HCG300IU/kg）を行い、宮崎県水産試験場に輸送し、後日採卵に供した。オスは鮮魚を購入し、精巣を摘出して精子抽出液を作製した。オスは個別に脳と網膜をサンプリングし VNN ウィルスの検査を行い、陰性個体の精子抽出液のみを媒精に使用した。採卵はホルモン打注から 48 時間、72 時間後を目安に搾出法で行い、得られた卵は受精させた後、100L アルテミアふ化槽に収容し、一晚卵管理した。翌日、胚体形成後に 0.5ppm オキシダント海水で 1 分間卵消毒を行い、ウナギ袋に収容して宮崎県水産振興協会（以下、「協会」という）に輸送した。協会到着後、水温馴致を行い 30L パンライトに移し替えた後、浮上卵と沈下卵をそれぞれ密度法で計数した。

2. 種苗生産技術の開発

1 回次は屋内 5KL 円形水槽（直径 3×0.8m、FRP 製）、2 回次は屋内 50KL 角形水槽（5×8×1.2 m、コンクリート製）を使用した。1 回次と 2 回次は共に全面を遮光幕で覆って 24 時間電照を行った。飼育水は殺菌処理したろ過海水を使用し、1 回次は 0 日齢から、2 回次は 1 日齢から注水を開始し、稚魚の成長に合わせて増量した。飼育水温は、1 回次は 23.0℃、2 回次は 23.5℃に加温調整し、徐々に設定水温を下げて自然水温とした。通気はエアーストンで行った。また、開鰓を促すため 3 日齢からエアー吹き寄せによる油膜取り装置を設置し、水面の油膜除去を行った。

餌料はS型シオミズツボワムシ（以下、「ワムシ」という。）、アルテミア幼生（（株）北村）、冷凍コペポーダ（（有）アイエスシー）及び配合飼料を稚魚の成長に合わせて給餌した（表-1）。ワムシはナンノクロプシスと油脂酵母（あすかアニマルヘルス（株））、アスタキサンチン（バイオジェニック（株））、タウリン（バイオ科学（株））で栄養強化を行い、3日齢から27日齢まで給餌した。ワムシの給餌期間中は飼育水に濃縮ナンノクロプシス（マリンクロレラ100、（株）ヒガシマル）を毎日添加した。アルテミア幼生はバイオクロミス（クロレラ工業（株））、タウリン、アスタキサンチンで栄養強化を行い14日齢から45日齢まで給餌した。冷凍コペポーダは19日齢から51日齢まで給餌した。配合飼料は19日齢から給餌を開始した。

取り揚げは昨年度と同様に取り揚げ用ネットで集めた稚魚をバケツで掬う方法で行い、水槽に設置した収容ネットに移し替えた後、小ダモですくって1尾ずつ計数した。

表-1 餌料系列

日齢	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
ワムシ(S型)		←					→						
アルテミア				←						→			
冷凍コペ					←						→		
配合飼料					←								

3. 中間育成技術の開発

取り揚げた稚魚を屋内13KL巡流水槽（2×10×0.7m、FRP製）に収容し中間育成を行った。飼育水はろ過海水を換水率24.8～35.5回転/日でかけ流し、水温は自然水温とした。また、遮光幕は設置せず、24時間電照は続けた。餌料は配合飼料を給餌した。

【研究成果の概要】

1. 採卵用親魚を大量確保する方法の確立

1回次は令和1年9月10日、11日の2日間で活魚20尾を確保した。オスは鮮魚を9尾購入し、うち4尾がVNN陰性であった。その中から活性が良かった2尾の精子を使用した。9月12日から3日間採卵を行い、9尾のメスから計66.0千粒の卵を得た。浮上卵は6.6千粒、沈下卵は59.4千粒で、浮上卵率は10.0%であった。

2回次は10月28日から3日間で活魚105尾を確保した。オスは鮮魚を15尾購入し、うち8尾がVNN陰性であった。また、採卵作業の途中で精子が不足したため活魚の中から新たにオスと思われる個体を選出し、VNN陰性であった4尾の精子を使用した。10月31日から3日間の採卵で60尾のメスから計922.0千粒の卵を得た。浮上卵は306.0千粒、沈下卵は616.0千粒で、浮上卵率は33.2%であった。

2. 種苗生産技術の開発

種苗生産結果を表-2 に示す。

1 回次は 9 月 13 日から 3 日間で計 6.6 千粒の卵を 5KL 円形水槽に収容し、1.6 千尾がふ化した。ふ化率は 24.2%、飼育開始密度は 318 尾/KL であった。1 回次は生産不調により 17 日齢で生産を中止した。

2 回次は 11 月 1 日から 3 日間で計 306.0 千粒の浮上卵を 50KL 角形水槽に収容し、205.0 千尾がふ化した。ふ化率は 67.0%、飼育開始密度は 4,100 尾/KL であった。35 日齢頃から滑走細菌症が発生したため、隣接する同型的水槽にサイフォン方式で分槽した。令和 2 年 1 月 15 日（74 日齢）に平均全長 51.6mm の種苗 35,100 尾を取り揚げた。ふ化仔魚からの生残率は 17.1%であり、取り揚げ密度は 351 尾/KL であった。

昨年度は 24 時間電照を終了したことによる照度変化が原因と思われる大量斃死が発生したため、今年度は 50 日齢頃（全長約 34 mm）から LED 電球及び遮光幕を徐々に取り除き照度変化への馴致を行った。しかし、24 時間電照を終了した翌日令和 2 年 1 月 5 日（64 日齢）に約 3.8 万尾の大量斃死が発生した。

表-2 種苗生産結果

	1回次	2回次
卵収容日	9/13～15	11/1～3
卵収容数（千粒）	6.6	306
ふ化日	9/14～16	11/2～4
ふ化率（%）	24.5	67.0
ふ化仔魚数（千尾）	1.6	205.0
開始時水槽（KL×槽）	5×1	50×1
開始密度（尾/KL）	318	4,100
取揚日齢	17日齢にて 生産中止	74
取揚平均全長（mm）		51.6
取揚尾数（千尾）		35.1
生残率（%）		17.1
取揚密度（尾/KL）		351
飼育水温（℃）	26.3～23.2	23.6～17.1
※ふ化率はふ化仔魚/卵収容数×100で計算した値		

3. 照明条件を変えた飼育試験

前述した大量斃死の原因を究明するため、無照明区・常時照明区・豆電球区の 3 試験区を設定し、夜間の照明条件を変えた飼育試験を行った。水槽は 200 L の PP 水槽（55×80×50cm）を使用し、4.5 L/分の注水を行い無通気・無給餌とした。アカアマダイ種苗は平均全長 50mm のものを 30 尾用いた。試験期間は、17：00～翌 8：00 までの 15 時間とし、試験中は防犯カ

メラ (SV3C) を用いて撮影し、後日映像解析を行った。行動解析の判断基準を図-1 に示す。防犯カメラの映像を 15 秒ごとに 5 秒間の行動を 20 映像観察した。分布域を水槽底か水面かに分けたのち、5 秒間の間に全長の約 3 倍の範囲から動いた個体を遊泳個体、その範囲内に止まっていた個体（尾鰭を動かしてホバリング状態の個体を含む）を静止個体と判定した。5 秒間の間に突発遊泳を 1 回でも行った個体は突発遊泳個体と判定した。

解析結果を図-2 に示す。全ての試験区で斃死は発生しなかった。常時照明区では、水槽の底ではほぼ静止しているかゆったり遊泳している個体が大半であったが、無照明区では、夕暮れ後に水面で立ち泳ぎをする個体が現れ、それが突発遊泳に繋がっている様であった。これらの行動は異常行動だと考えられる。斃死にまで至らなかったのは、過敏な個体は 1 月 5 日の時点で既に死んでしまったためではないかと考えられる。

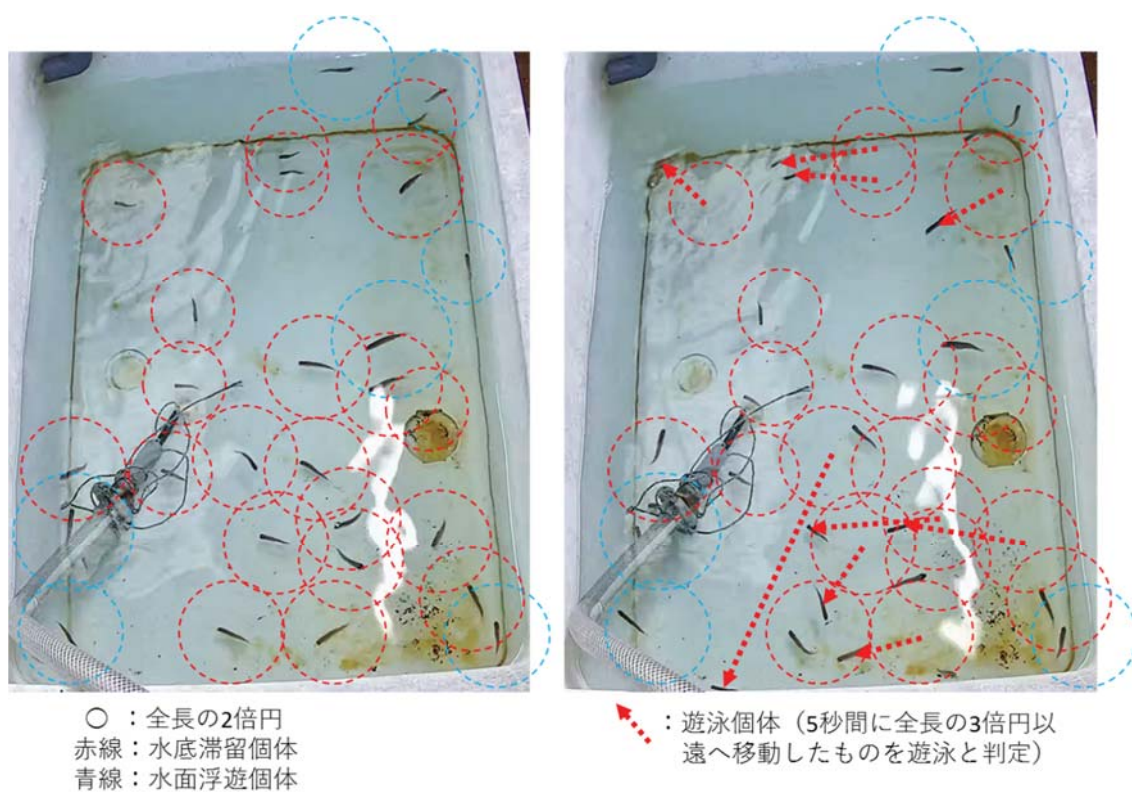


図-1 行動解析の判断基準

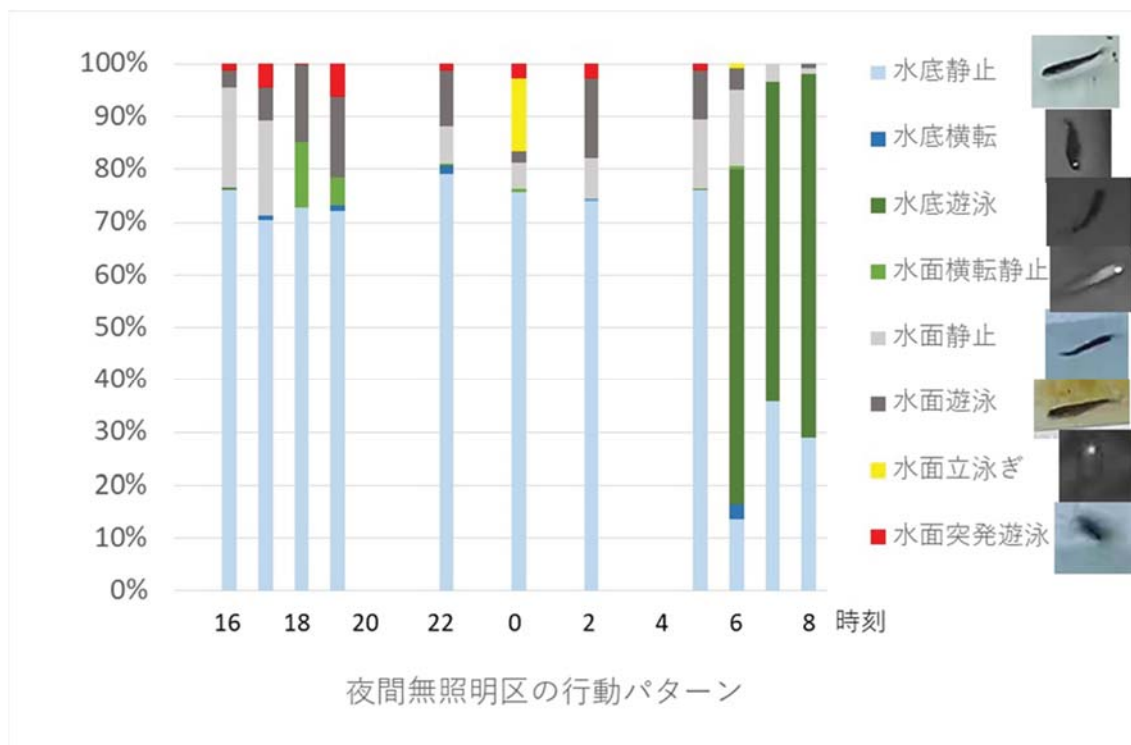
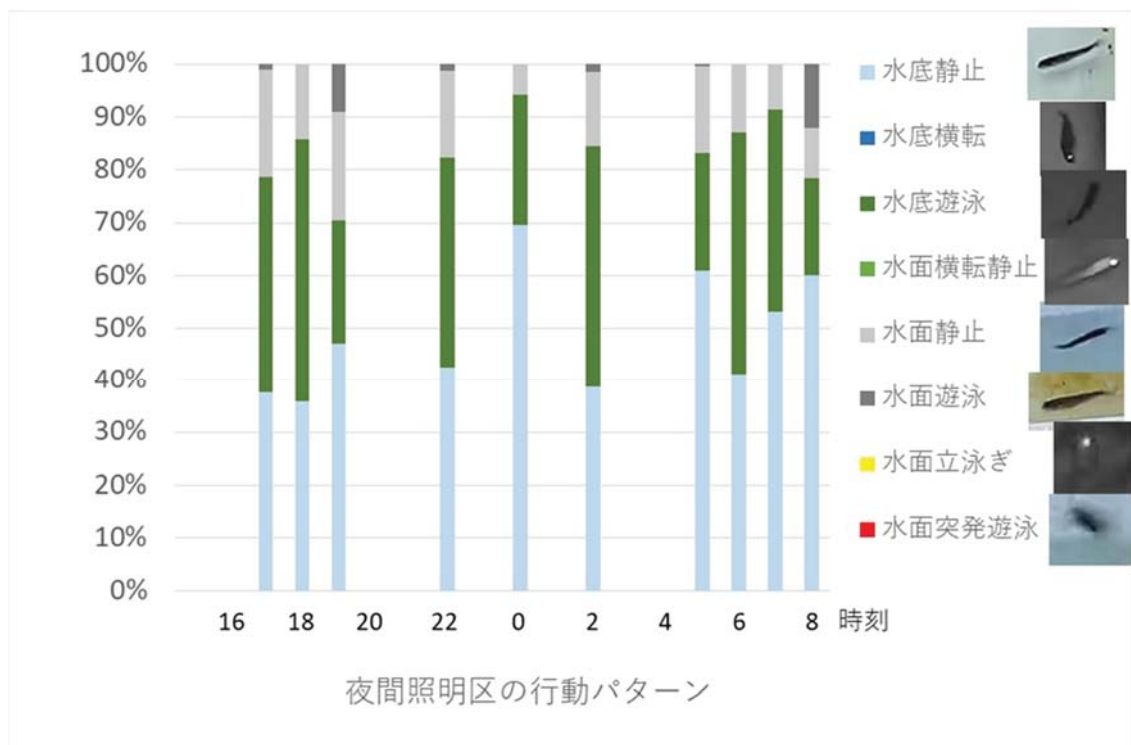


図-2 解析結果

4. 中間育成技術の開発

1 月 15 日（74 日齢）に計数した種苗を屋内 13KL 巡流水槽 3 水槽に収容密度を変えて収

容し1月16日（75日齢）から中間育成飼育を行った。収容密度は、1区：1,070尾/KL（収容尾数：9,200尾）、2区：1,570尾/KL（収容尾数：14,800尾）、3区：1,200尾/KL（収容尾数：11,100尾）とした。

中間育成結果を図-3に示す。77日齢頃から全ての水槽で滑走細菌症による斃死が発生した。1区は3日間ほどで終息したが、2・3区については10日間ほど斃死が続いた。その後も2・3区は滑走細菌症が再発したため、2月13日（103日齢）で試験を終了し分槽を行った。1区は飼育を継続し、2月17日（107日齢）で70mmに達したため試験を終了した。成長速度については各区で大きな差は見られなかった。しかし、生残率に関しては前述した通り滑走細菌症が発生したため2・3区は1区と比べて低い値となった。

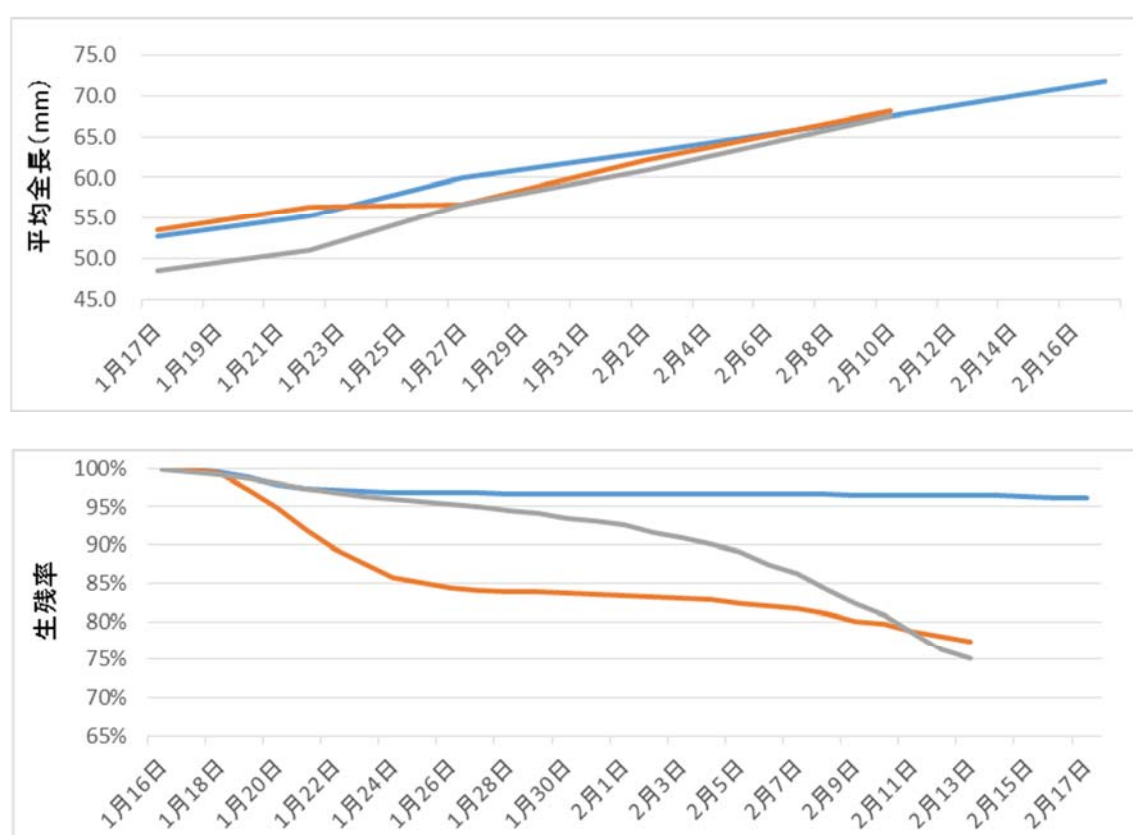


図-3 平均全長及び生残率

【次年度以降に向けた提言】

今年度は10月採卵において過去最高の受精卵数であった。しかし、依然として浮上卵の割合は低い状況にあった。来年度は再度採卵工程を見直し浮上卵率向上に努める。

今年度の照明条件を変えた飼育試験では照度変化による大量斃死の原因を究明することはできなかった。来年度は10, 15, 20, 30mmとサイズ毎に同様の試験を行い原因を究明するとともに電照を切る適正なタイミングを図る。また、映像解析を行うことで立泳ぎや突発

遊泳等の異常遊泳個体を把握し健苗性向上に努める。

中間育成試験では1,000尾/KL程度の収容密度であれば問題なく飼育できることがわかった。しかし、試験終了後から滑走細菌症による斃死が発生したことから1,000尾/KLは防疫面から過密だと考えられる。そのため、もう少し収容密度を下げ疾病の発生を抑える必要がある。

イ アマダイ類等の種苗生産技術等の開発

④ 日向灘におけるアマダイ類の種苗量産技術の開発

宮崎県水産試験場

中西 健二

【目的】

アマダイ類は、宮崎県で以前は200トン以上も漁獲されていたが、現在は10トン前後にまで減少しており資源回復の取り組みが進められており、アカアマダイは、定着性が強いことから、資源回復の方法の一つとして種苗の大量放流も考えられるが、種苗を大量に生産するためには、安定的に大量の受精卵を確保する技術や種苗の量産技術の開発が求められている。

そこで、本事業により他県・他機関と連携しながら種苗の生産・量産化の技術開発をすることを目的とした。

【研究方法】

宮崎県水産試験場では、アカアマダイの種苗生産過程において、生産効率が悪いとされている全長30mm程度から放流サイズ（全長70mm程度）までの生産効率の向上を目的として、飼育条件の検討を行った。

昨年度までの小規模試験により、収容密度1,200尾/トでの飼育が可能であることが明らかとなったことから、今年度は（一財）宮崎県水産振興協会の大型水槽を用いて実証試験を行った。

方法は、令和元年10月に日向灘産の天然親魚から採卵し、種苗生産をして平均全長50mm程度に成長したアカアマダイ種苗を、令和2年1月16日に10L順流水槽3基に収容して放流サイズまで飼育し、飼育期間中の生残率や成長の比較を行った。

収容密度は、1区：1,000尾/ト、2区：1,200尾/ト、3区：1,500尾/トとし、共通条件として、自然水温の滅菌濾過海水を掛け流しながら、市販の海産稚魚用の配合飼料を給餌した。

【研究成果の概要】

2区と3区は、1区と比べて斃死が多かったことから、放流サイズに達する前の飼育25日目まで試験を終了したが、1区は2区、3区と比べて斃死が少なく、放流サイズに達する32日目まで飼育することができた。

試験終了時の生残率は、1区：96%、2区：81%、3区：80%と1区が最も生残率が高く、各区の収容密度は1区：921尾/m³、2区：936尾/m³、3区：1,313尾/m³であった。

以上の結果から、今回の飼育条件下でアカアマダイを中間育成する場合の効率的な収容密度は900～1000尾/m³程度であると考えられた。

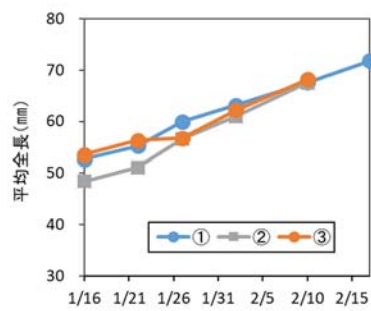


図1 平均全長の推移

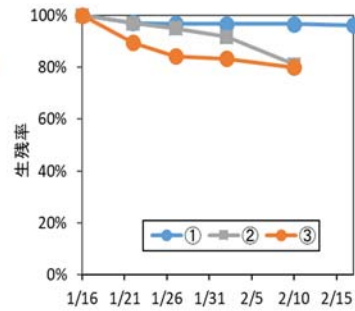


図2 生残率の推移

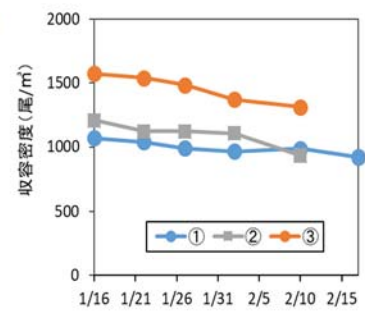


図3 収容密度の推移

表1 飼育成績

		1/16～2/17		
		1 区	2 区	3 区
開始時	平均全長 (mm)	52.7	48.4	53.6
	尾数 (尾)	9,200	11,100	14,800
	水量 (kl)	8.6	9.2	9.4
	密度 (尾／m³)	1,070	1,207	1,574
終了時	平均全長 (mm)	71.9	67.5	68.2
	尾数 (尾)	8,843	8,982	11,816
	水量 (kl)	9.6	9.6	9.2
	密度 (尾／m³)	921	936	1,313
飼育日数		32	25	25
斃死尾数		357	2,118	2,984
生産率 (%)		96.1	80.9	79.8

※2 区、3 区は飼育 25 日で終了

イ アマダイ類等の種苗生産技術等の開発

⑤ アマダイ類の親魚養成技術の開発

公益財団法人 海洋生物環境研究所

林 正裕

【目的】

アマダイ類の種苗生産に必要な受精卵を安定的に得るために、人工生産種苗および天然の未成熟個体を飼育し、成熟した親魚を養成する技術を開発する。

【研究方法】

1) 人工生産魚および天然魚の養成試験

養成試験には、人工生産魚として日本海区水産研究所宮津庁舎より譲渡された 2013 年生産魚 9 尾および 2016 年生産魚 7 尾を、天然魚として京都府伊根周辺で漁獲された 2 尾（2018 年 6 月 9 日入手個体を 1 尾、2019 年 7 月 30 日入手個体を 1 尾）をそれぞれ用いた。

養成試験は、屋外設置の 10t ドーム型水槽 2 基で実施した。2019 年 9 月 17 日に、2013 年生産魚 8 尾（体重：718±108 (SD) g）および天然魚（推定雄）1 尾（体重：713g）を水槽 1 基（水槽①）に、2016 年生産魚 7 尾（体重：459±47 (SD) g）、2013 年生産魚 1 尾（体重：931g）および天然魚（推定雄）1 尾（体重：664g）を水槽 1 基（水槽②）にそれぞれ収容した（水槽②では、成熟が認められた 2016 年生産魚が 7 尾のみだったので、試験個体数を水槽①と合わせるために、2013 年生産魚 1 尾を追加した）。

給餌は、午前に冷凍オキアミ、午後にモイストペレットをそれぞれ体重の 1%を目安に与えた。自然日長条件で、水温は 24℃を超えないように調整し、飼育水の換水率は 0.5 回転/時とした。2019 年 9 月 18 日より 10 月 31 日まで、毎日、産卵の有無、産卵数（浮上卵数、沈下卵数および総卵数）および受精卵の正常発生率を確認した。

2) アカアマダイ人工生産魚の性分化の確認

人工生産魚の性分化を確認するため、2018 年 3 月に山口県栽培漁業公社から譲渡された 2017 年生産魚（入手時は約 6 ヶ月齢）について、飼育下で 18 ヶ月齢、21 ヶ月齢および 24 ヶ月齢に達した際に一部の個体をサンプリングし、生殖腺の組織学的観察を行った。

また、6 ヶ月齢以前の人工生産魚の性分化を確認するため、日本海区水産研究所宮津庁舎から 2018 年生産魚の固定試料を定期的（2 ヶ月齢、3 ヶ月齢、4 ヶ月齢、5 ヶ月齢、6 ヶ月齢および約 7.5 ヶ月齢）に提供頂き、生殖腺の組織学的観察を行った。

さらに、2019 年 12 月に山口県栽培漁業公社から譲渡された 2019 年生産魚（入手時は約 2 ヶ月齢）について、飼育下で 2 ヶ月齢、3 ヶ月齢および 4 ヶ月齢に達した際に一部の個体をサンプリングし、生殖腺の組織学的観察を行った。

上述の生殖腺の組織学的観察は、全て以下の方法で行った。まず、魚体の大きさに応じて

魚体丸ごと、生殖腺を含む躯幹部または生殖腺のみを Davidson 液で固定した。後日、固定試料を 70～100%のエタノール系列で脱水した後、親水性樹脂 (Technovit7100、Kalzer 社) に包埋し常法により厚さ 5 μ m の切片を作成した。これらの切片にトルイジンブルー染色または Gill のヘマトキシリンとエオシンの 2 重染色を施し、光学顕微鏡を用いて生殖腺の組織学的観察を行った。

3) 養成した親魚を用いた人工授精

雌個体として、日本海区水産研究所宮津庁舎より譲渡された 2016 年生産魚 4 尾（体重：約 450g）を使用した。また、雄個体として京都府伊根周辺で漁獲された天然魚（2019 年 7 月 30 日入手個体）2 尾（体重：約 670g）を使用した。人工授精は、日本海区水産研究所宮津庁舎が作成した試作マニュアルを参考に実施した。人工授精の実施日（2019 年 10 月 30 日）の 2 日前、雌個体にホルモン剤（ヒト絨毛性性腺刺激ホルモン、HCG、あすかアニマルヘルス(株)「動物用ゴナトロピン 3000」）を魚体重 1kg あたり 300IU 打注し、1 日後および 2 日後に腹部を圧迫し、卵を絞り出した。また、人工精漿を作成するため、雄個体からの精巢の摘出を試みた。

【研究成果の概要】

1) 人工生産魚および天然魚の養成試験

2013 年生産魚 8 尾と天然魚 1 尾を収容した試験区（水槽①）では、9 月中旬から 10 月下旬まで、ほぼ毎日産卵が認められたが（図 1）、いずれも未受精卵であった。1 日の産卵数の最大は 48,000 粒であった。一方、2016 年生産魚 7 尾、2013 年生産魚 1 尾および天然魚（推定雄）1 尾を収容した試験区（水槽②）では、試験期間中に 1 回の産卵しか認められなかった（2019 年 9 月 21 日、未受精卵 4,500 粒）。

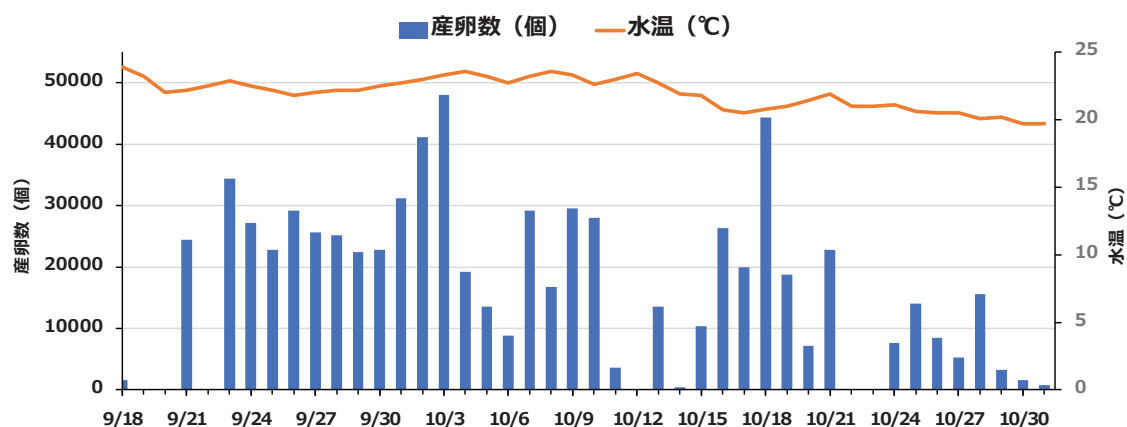


図 1 人工生産魚（水槽①）の産卵数および水温の推移

2) アカアマダイ人工生産魚の性分化の確認

2017 年産生産魚（山口）における生殖腺の組織学的観察の結果、8 ヶ月齢から 21 ヶ月齢までの個体は、観察したいずれの個体も卵母細胞を有する雌であった（図 2）。24 ヶ月齢では、10 個体中 1 個体が精巣様組織（精原細胞または精母細胞）と卵母細胞が混在する雌雄同体で（図 3）、その他 9 個体が雌であった。

2018 年産生産魚（宮津）における生殖腺の組織学的観察の結果、2 ヶ月齢から 6 ヶ月齢までは、観察した全個体が未分化であった。昨年度実施した 2017 年産生産魚（山口）の結果では、6 ヶ月齢で卵母細胞が確認されており、2018 年産生産魚（宮津）の結果とは異なっていた。人工生産魚の 6 ヶ月齢時の平均体長が、山口産が 76 ± 7 (SD, N=10) mm だったのに対して、宮津産は 45 ± 5 (SD, N=20) mm だったことから、飼育水温差による成長の違いが認められ、その成長差異が生殖腺の発達に影響を及ぼした可能性が示唆された。また、2018 年産生産魚（宮津）の 7.5 ヶ月齢（平均体長は約 54mm）において、観察した一部の個体で生殖細胞様の組織像を観察できたことから、体長 60mm 前後で雌への分化が始まるのではないかと推察された。

以上の結果を受けて、2019 年産生産魚（山口）については、成長を考慮しながら定期的に生殖腺を採取した（平均体長が約 40mm、約 60mm および約 80mm で採取）。採取した生殖腺については、今後、組織学的観察を実施する（観察結果は次年度に報告予定）。

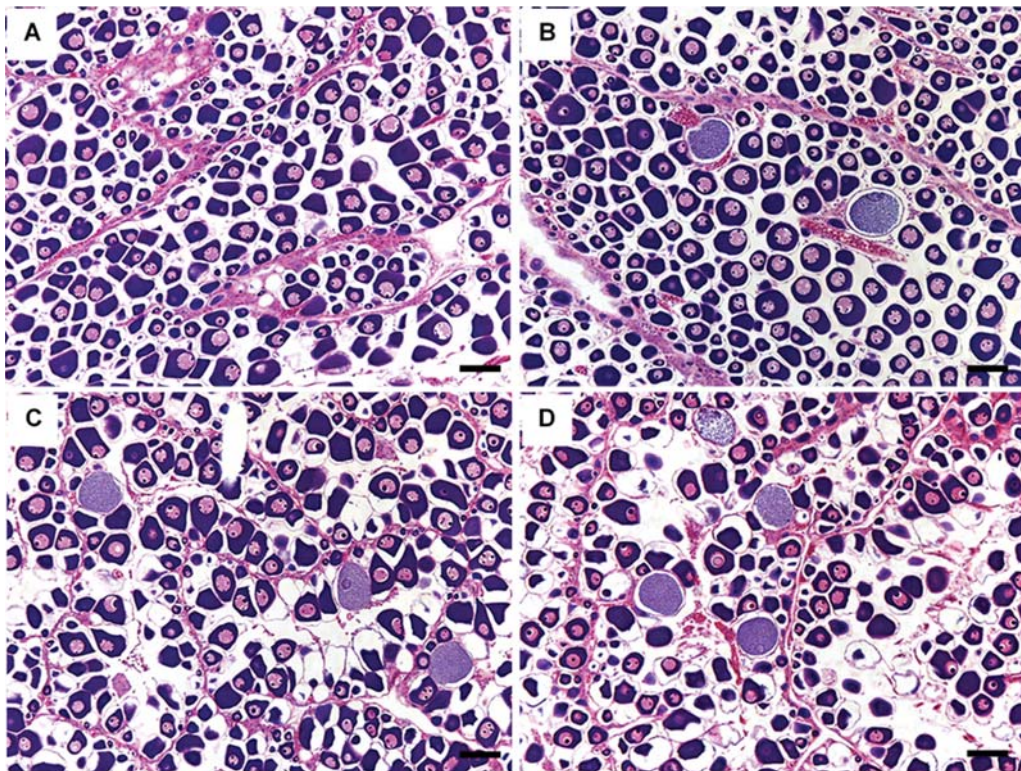


図 2 アカアマダイ 21 ヶ月齢の生殖腺組織の例（A～D は全て異なる個体の組織像）
スケールバーは 0.1mm、体長： 196 ± 14 (SD, N=10) mm、体重： 199 ± 45 (SD, N=10) g

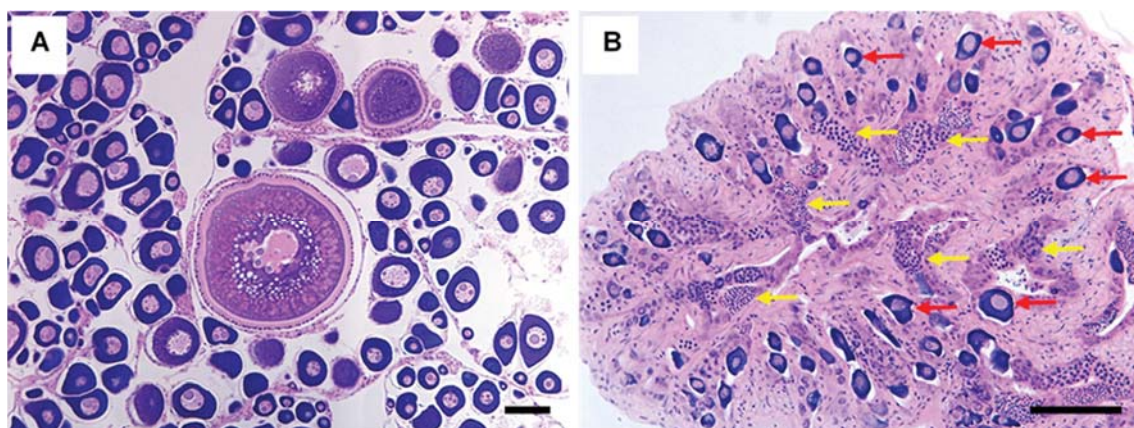


図3 アカアマダイ 24 ヶ月齢の生殖腺組織の例 (A は雌の例、B は雌雄同体の例)
赤矢印は退行した周辺仁期の卵母細胞の例、黄矢印は精巣様組織の例、スケールバーは
0.1mm、体長：212±18 (SD、N=10) mm、体重：262±60 (SD、N=10) g

3) 養成した親魚を用いた人工授精

ホルモンを打注した雌個体を用いて人工採卵を行った結果、打注 1 日後および 2 日後ともに過熟卵しか採取できなかった。また、雄個体としていた天然親魚を開腹して生殖腺を確認したところ、2 個体ともに雌であったため、精子は採取できなかった。従って、本年度は人工授精を実施できなかった。

【次年度以降に向けた提言】

親魚養成に関して、人工生産魚については、2013 年生産魚は昨年度に引き続き自然産卵することが確認された。しかし、2016 年生産魚は成熟している個体は認められたが、安定的に自然産卵しなかった。従って、少なくとも 4 歳齢以上であれば、成熟した雌親魚を養成することが可能であることが分かった。また、人工生産魚における生殖腺の組織学的観察の結果から、人工生産魚の性比が雌に大きく偏っていることが分かった。人工生産魚の性分化については、次年度以降、性転換の可能性も含め、より詳細に調査する。

本年度、養成した親魚を用いて人工授精を試みたが、産卵末期であったため良質な卵を確保できなかった。次年度は、産卵盛期に人工授精を実施する予定である。また、雄親魚の確保も問題である。本年度の成果により人工生産魚から雄親魚を確保することは困難であることが分かったため、次年度の産卵期までに大型の天然魚の入手を試み、可能な限り多くの雄候補の親魚を養成して、産卵試験および人工授精を実施する。

イ アマダイ類の種苗生産技術等の開発

⑥ アカムツの種苗生産技術の開発

富山県農林水産総合技術センター水産研究所

福西悠一

【目的】

高級魚のアカムツは、漁業者の重要な収入源のひとつであることから、資源の維持・増大の要望が強い。このため、アカムツは新たな栽培漁業対象種として期待されている。

これまでに、天然魚を用いて人工授精を行い、平成 25 年に初めて稚魚の生産に成功した。しかし、アカムツの種苗生産において、飼育初期の生残率の向上や健全な種苗を生産するための環境条件の検討など、多くの課題が未解決である。

本研究では、安定的に健全なアカムツ種苗を大量生産する技術を開発することを目的とした。具体的には、全長 4cm サイズの種苗 5 万尾を生残率 15%以上、飼育密度 2,000 尾/m³で種苗生産する技術を開発することを目標とする。

【研究方法】

- 1) 人工授精による採卵（寺泊の採卵は、新潟市水族館マリニピア日本海、水産研究・教育機構 日本海区水産研究所と共同実施）

産卵期の 9 月に新潟県長岡市寺泊および富山市で刺網漁に同行し、アカムツ天然魚を用いて乾導法により人工授精を行った。

- 2) 種苗生産試験

3.6 m³ユーロタンク（水量 3 m³）1 水槽および 5 m³丸型 FRP 水槽（水量 4 m³）4 水槽を用いて種苗生産試験を実施した。仔魚の餌料であるワムシ（S 型および L 型）はスーパー生クロレラ V-12（クロレラ工業株式会社）、プログロスリッチパウダー（株式会社 USC）およびタウリンで栄養強化した。アルテミアはプログロスリッチパウダーで栄養強化した。飼育水にはナンノクロロプシスおよびスーパー生クロレラ V-12 を添加した。配合飼料は海産仔稚魚用アンブローズ（フィードワン飼料株式会社）およびおとひめ（日清丸紅飼料株式会社）を使用した。底質改善を期待し、貝化石を水槽内に散布した。また、水質改善を期待し、アクアリフト（アクアサービス株式会社）を飼育水槽内に吊るした。

天然仔魚と育成仔魚の成長を比較するために、生産回次 1-1（低温飼育）および生産回次 1-2 の水槽について、5、10、16 および 21 日齢時にサンプリングを行った。（結果は、日本海区水産研究所から報告）。

- 3) メスを増やす飼育条件の探索

1. 仔魚期の低水温（21℃）飼育

これまでに人工的に生産したアカムツは、ほとんどの個体がオスになることが問題となっている。仔稚魚期の飼育水温が性比に影響を及ぼすという仮説を

検証するために、平成 29 年度は、着底期前後の水温を 15℃前後まで低下させて飼育したが、メスは増えなかった。そこで本年度は、種苗生産水槽（5 m³）の 1 つを着底期ごろまで低水温（約 21℃）で飼育した。

2. estradiol-17 β 添加配合飼料の給餌

女性ホルモンである estradiol-17 β をエタノールに溶かしてから、配合飼料に添加し、稚魚に経口投与することで、育成魚のオス化を防げるかを検証する。

4) コペポータ給餌試験

コペポータは天然アカムツ仔魚の主要な餌生物であることから、飼育仔魚に冷凍コペポータを給餌することで、生残および成長が高まるかを検証することを目的とした。

アルテミア給餌区と冷凍コペポータ給餌区を設定した。各試験区につき 100L 水槽を 6 つ用意し、それぞれに 30 日齢の仔魚（全長：7.9 $\pm$ 1.9mm、体重：0.008 $\pm$ 0.004 g）を 110 尾収容した。アルテミアまたは冷凍コペポータを 1 日 2 回給餌した。11 日間飼育し、全長、体重を測定し、生残率を求めた。

5) 水槽の色および照度が稚魚の摂餌と成長に及ぼす影響

親魚養成の効率化を図るため、異なる色の水槽（黄色、緑色、水色および灰色）と照度でアカムツ稚魚を飼育し、成長と摂餌が良くなる水槽の色と照度を明らかにする。

6) 標識試験

アカムツ稚魚の有効な標識方法を明らかにすることを目的とした。腹鰭抜去区、腹鰭切除区、リボンタグ区および対照区を設定し、令和元年 6 月 6 日に飼育試験を開始した。稚魚に麻酔をしてから標識を施し、各区につき 500L 水槽 2 つを用意し、各水槽に 50 尾収容した。来年度の 6 月に取り上げ、生残、成長、鰭の再生状況、リボンタグの脱落などを明らかにする。

7) 形態異常の把握

種苗生産したアカムツ稚魚にどのような形態異常が発生するのかを明らかにすることを目的とし、放流サイズの全長が約 5cm の稚魚の形態観察を目視で行った。

8) 超音波テレメトリーによるアカムツ種苗の追跡

バイオテレメトリーにより、アカムツ種苗の放流直後の水平移動を調べ、本種種苗の行動生態の理解に資することと、放流場所選定のための基礎知見を得ることを目的とした。

平成 31 年 3 月 18 日から 20 日にかけて、富山市四方沖の水深約 20m 地点で試験を行った。超音波受信機（VR2W-180kHz、Vemco 社）を取り付けた係留系を、1 辺が約 60～70m の四角形になるように 4 つ設置した。

アカムツ人工種苗 8 個体（平均全長：121.6 $\pm$ 4.5 mm）に個体 ID を発信する小型の超音波発信機（V5、Vemco 社）を外部装着した。受信機アレイの中心付近に個体

を放流し（10:36に4個体、10:48に4個体）、約23時間追跡した。

9) 漁獲実態調査

富山県内の7市場においてアカムツの全長を測定した。水産情報システム (<http://www.fish.pref.toyama.jp>) を用いて、県内産アカムツの漁獲量を算出した。

【研究成果の概要】

1) 天然魚の人工授精による採卵

寺泊沖の人工授精について、9月10日および26日に富山県水産研究所に持ち帰った受精卵の結果概要を表1に示した。採卵数は44,000～657,750個、浮上卵率は2～92%、浮上卵数に対するふ化率は、10～91%であった。今年度は、持ち帰った受精卵の数が多く、孵化仔魚を収容する水槽が足りなかったことから、孵化率が悪かった仔魚は途中で廃棄した。9月10日に得た受精卵のうち、ふ化率が高かった2腹から孵化した仔魚を種苗生産に用いた。また、9月26日に得た受精卵のうち、孵化率が高かった1腹から孵化した仔魚を冷凍コペポダ給餌試験に使用した。

富山市沖の結果概要を表2に示した。採卵は、9月6日、15日、20日、21日、27日および29日の計6回行った。その結果、受精卵が得られたのは、9月15日と29日の2回であった。採卵数は、27,875～86,125個、浮上卵率は8～62%、浮上卵数に対するふ化率は、26～68%であった。9月15日に得た受精卵からふ化した全ての仔魚を種苗生産に用いた。

2) 種苗生産試験

生産結果の概要を表3に示した。120日齢時の生産稚魚数は、6,928尾～18,435尾で合計65,050尾であった。生残率は10.1～20.4%で、全体の平均値は15.2%であった。稚魚密度は、2,309～4,609尾/m³で、平均すると3,424尾/m³であった。

今年度は事業の目標である生産尾数5万尾、生残率15%以上、飼育密度2,000尾/m³をいずれも達成することができた。

今年度は、曝気してから種苗生産の水槽に注水したことから、ガス病の発生を未然に防ぐことができた。

3) メスを増やす飼育条件の探索

1. 仔魚期の低水温（21℃）飼育

低水温飼育群の受精水温は約21℃、卵・孵化仔魚管理水温は21.7～23.1℃、1～50日齢の飼育水温は21.2±0.6℃であった。120日齢時点で9,956尾を生産した。その一部を継続飼育し、来年度の冬に生殖腺の観察により性別を判定する。

2. estradiol-17β添加配合飼料の給餌

今年度の2月末時点において、本実験に用いるアカムツ稚魚を生産するところまで行った。次年度にかけてホルモンを添加した配合飼料を経口投与し、来年度の冬に生殖腺の観察により性別を判定する。

4) コペポード給餌試験

試験終了時の生残率、全長および体重を図 1 に示した。生残率は、アルテミア区（平均値±標準誤差：16.2±1.9%）よりも冷凍コペポード区（24.4±2.4%）の方が有意に高かった（*t*-test: $P < 0.05$ ）。全長および体重の値は、アルテミア区（全長：10.4±0.26 mm、体重：0.02±0.001g）の方が冷凍コペポード区（全長：9.2±0.10 mm、体重：0.01±0.002g）よりも有意に高かった（*t*-test: $P < 0.05$ ）。

以上の結果より、冷凍コペポードの給餌により、アカムツ仔魚の生残が良くなる可能性が示唆された。しかし、成長はアルテミア区の方が良かったことから、冷凍コペポードは、給餌後に沈降しやすく、1 日 2 回の給餌では、餌が不足していた可能性が考えられる。

5) 水槽の色および照度が稚魚の摂餌と成長に及ぼす影響

今年度の 2 月末時点において、本実験に用いるアカムツ稚魚を生産し、試験水槽を完成させるところまで行った。来年度の夏までに実験を遂行し、結果をまとめる。

6) 標識試験

2 月現在も飼育試験を継続中である。リボンタグは、タグの周りに炎症が起きる個体が多く、すでに 9 割以上が脱落している。死亡個体を観察すると、腹鰭カット区では鰭の再生が開始している個体が多いが、鰭抜去区は、鰭が再生していない個体も観察された。

7) 形態異常の把握

稚魚の形態異常を目視で観察したところ、頭部の異常（パグヘッド）、体幹部の異常（短軀、上屈）、鰓蓋欠損、鼻孔隔壁欠損が確認された。

8) 超音波テレメトリーによるアカムツ種苗の追跡

各受信機に記録された発信機の ID と受信時刻を図 2 に示した。放流した種苗 8 個体中 2 個体は、放流してから短時間のうちに受信範囲外に出て行った。残りの 6 個体中 1 個体は、終始受信エリアの中に滞在した。また 5 個体は日没前後に受信範囲外に移動し、そのうち 2 個体は夜間に受信範囲内に戻ってきた。

以上の結果から、本種種苗は、夕方から夜間に活動性が高くなる可能性がある。また、しばらく放流場所に留まる個体が多かったことから（約 7～23 時間）、沖合での放流といえども、潮流などに流されることなく、適地と想定する場所に放流できたことを示唆している。

9) 漁獲実態調査

市場調査を 2018 年 4 月～2019 年 1 月に 104 回行った。測定したアカムツ 1,612 尾の全長組成を図 3 に示した。その結果、漁獲の中心は、全長 20～30cm 台であった。2019 年の富山県のアカムツ漁獲量は、21.0 t であった。

8 月 8 日に滑川市場で 3 歳魚と考えられる鼻孔隔壁欠損が両側にある放流魚（全長：180mm）が 1 尾見つかった。

【次年度に向けた提言】

今年度は、新潟県産の受精卵を多数確保することができたが、富山県産の採卵は、2年連続で不調であった。受精卵を安定的に確保するためには、養成親魚からの採卵を早急に実現する必要がある。次年度は、水温が低い春季に富山県沖で漁獲されるアカムツを活かして持ち帰り、親魚として養成することを計画している（マリンピア日本海と共同）。

今年度は、種苗生産の目標を達成することができ、稚魚を大量に生産する技術は確立されつつあるが、依然として生産したアカムツのほとんどがオス化する問題が解決されていない。現在は飼育水温に着目して実験を行っているが、それでも解決できない場合には、光などの他の条件についても検討する必要があると考えられる。

表 1. 新潟県長岡市寺泊沖の人工授精概要

採卵日	親魚全長(mm)		総卵数	浮上卵数	浮上卵率	ふ化仔魚数	浮上卵ふ化率	生産回次
	♀	♂						
9月10日	343	237,262	81,333	9,333	11%	—	—	
9月10日	332	288	127,500	33,333	26%	—	—	
9月10日	345	333	44,000	667	2%	—	—	
9月10日	362	333	160,000	118,333	74%	108,000	91%	1-4
9月10日	359	—	157,500	22,500	14%	—	—	
9月10日	395	289	282,500	220,000	78%	21,600	10%	
9月10日	447	289	657,750	602,250	92%	285,000	47%	1-1、1-2、1-3
9月10日	340	298	136,667	51,667	38%	—	—	
9月26日	360	264	94,400	49,200	52%	12,000	24%	冷凍コペ給餌試験
9月26日	333	264	224,600	13,200	6%	—	—	

表 2. 富山市沖の人工授精概要

採卵日	親魚全長(mm)		総卵数	浮上卵数	浮上卵率	ふ化仔魚数	浮上卵ふ化率	生産回次
	♀	♂						
9月15日	273	—	51,250	5,875	11%	4,000	68%	2-1
9月15日	257	287,276	86,125	53,375	62%	27,000	51%	
9月15日	271	292	27,875	10,500	38%	3,000	29%	
9月29日	34.2	32.5	43,400	24,700	57%	6,400	26%	
9月29日	28.3	26.5	32,800	2,600	8%	—	—	

表 3. 種苗生産試験の概要

回次	由来	水槽 (t)	収容ふ化仔魚数	生産稚魚数	生残率 (%)	稚魚密度 尾数/m ³	備考
1-1	新潟	4	99,000	9,956	10.1	2,489	低水温飼育
1-2	新潟	4	93,000	17,222	18.5	4,306	
1-3	新潟	4	93,000	12,509	13.5	3,127	
1-4	新潟	4	108,000	18,435	17.1	4,609	
2-1	富山	3	34,000	6,928	20.4	2,309	
合計		19	427,000	65,050	15.2	3,424	

※ 生産稚魚数、生残率および稚魚密度は、計数時の生残尾数から累積死亡数を逆算して120日齢時（約4cm前後）の値を算出。

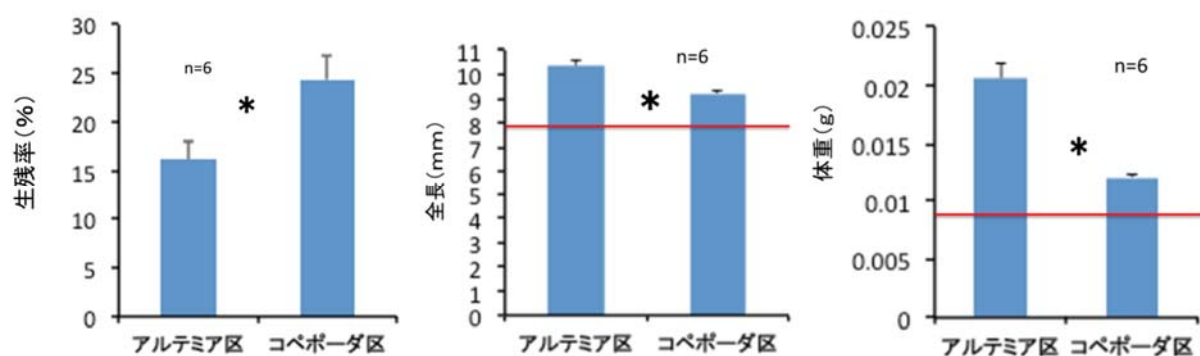
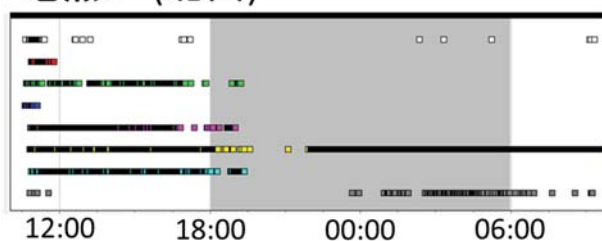
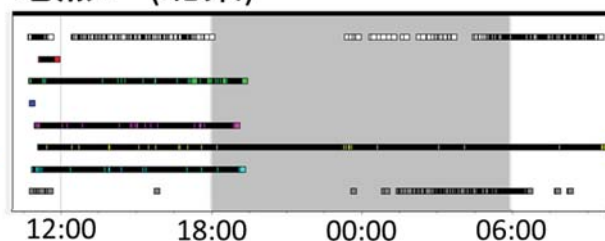


図 1. 冷凍コペポード給餌試験の生残率、全長および体重。図中のアスタリスクは、試験区間に有意な差があることを示す (t test, $p < 0.05$)。横線は試験開始時の値を示す (全長、体重)。

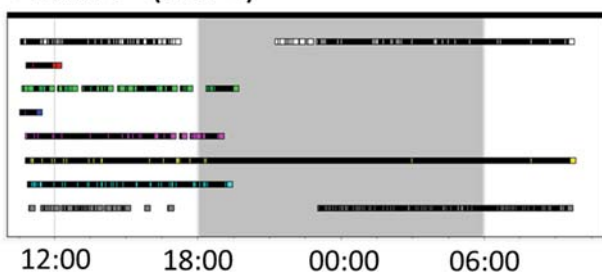
地点B (北西)



地点D (北東)



地点A (南西)



地点C (南東)

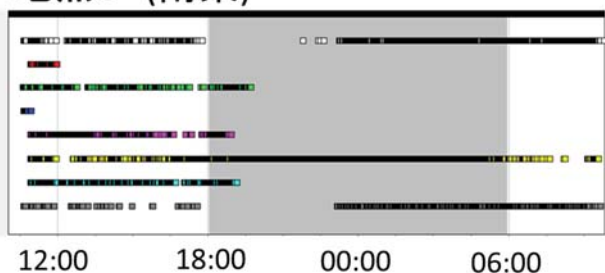


図 2. 4つの受信機に受信された8個体のID受信時刻

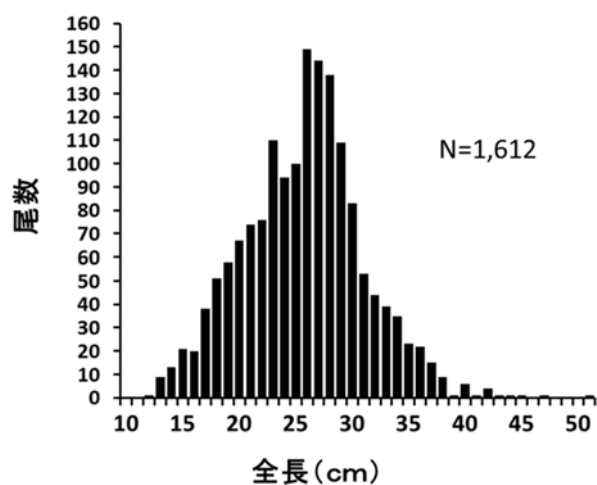


図 3. 2019 年 4 月～2020 年 1 月に測定した富山県産アカムツの全長組成

イ アマダイ類等の種苗生産技術等の開発

⑦アカムツの親魚養成技術の開発

新潟市水族館マリニピア日本海

新田 誠

【目的】

アカムツの種苗生産において最も大きな課題は受精卵の確保であり、採卵・採精用親魚を安定的に確保することが必要不可欠である。本研究は、成熟年齢や採卵が可能な時期を明らかにし、人工生産した種苗から採卵および採精するための親魚養成技術の開発を目的としている。昨年度、雄の親魚養成は生産した親魚からの採精、精子の受精能力の検証試験で成果が得られた。しかし、生産魚の雄化により、雌の親魚養成技術の開発が進捗しない状況にある。本年度は、雌の種苗生産技術の開発、試験に供するための天然雌親魚の捕獲・養成を実施した。

【方法】

- 1) 新潟県長岡市寺泊での人工採卵を9月に2回（富山県農林水産総合技術センター水産研究所、日本海区水産研究所と共同実施）、10月に1回実施した。刺し網で漁獲された天然魚を用いて乾導法により人工授精を行い、3腹分を種苗生産に用いた。26℃と23℃の2区を設定し、1腹分を26℃区、2腹分を23℃区で生産した。
- 2) 高水温区（26℃区）では、水温がアカムツ種苗の性比に及ぼす影響を検証するため、ふ化0日齢～50日齢を水温26℃以上で生産した。
- 3) 雌の親魚養成試験のための天然魚の捕獲および養成を実施した。天然親魚の捕獲は、新潟県長岡市寺泊で、刺網漁で漁獲された親魚を対象に、9月に2回、10月に1回実施した。
- 4) 人工生産魚の成熟状況を調べるため、2018年12月17日～2019年12月17日の期間に得られた人工生産魚計157個体（4歳3か月～5歳3か月）について生物精密測定を行った。加えて、雌雄の確認と成熟段階を調べるため、一部の魚体より生殖腺を採取し、組織観察用の試料とした。

【研究成果の概要】

- 1) 寺泊沖の人工授精の結果を表1に示した。天然魚の雄と雌を用いた人工授精は、9月10日、9月26日、10月2日の計3回行った。採卵数は、51,600～162,450粒、浮上卵率は76～82%、浮上卵数に対するふ化率は、17～62%であった。9月10日と10月2日に得た受精卵のうち3腹分で種苗生産をおこなった。天然個体との初期成長の差異を検討する試験のために、5日～33日齢で、仔稚魚のサンプリングを6回実施した（日本海区水産研究所と共同実施）。26℃区での初期成長は23℃区よりも良好であり、過去に得られ

- ている天然仔魚の初期成長と概ね類似していた。
- 2) 26℃区で使用した卵の受精水温は 25.7℃であった。発育段階の水温で性決定している可能性を考え、0 日齢～50 日齢は、水温 $26.2 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ で生産した。51 日齢から水温を自然温に合わせて徐々に低下させ、114 日齢で 13.8°C にした。115 日齢以降は、 13°C 以下で飼育を継続した。115 日～154 日齢の水温は、 $13.2 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ であった (図 1)。種苗は、2020 年 1 月 24 日で 1,024 個体を計数した。
 - 3) 雌の天然魚の捕獲は、9 月 10 日、9 月 26 日、10 月 2 日の計 3 回行った。飼育を開始できたのは、9 月 10 日に 1 個体、9 月 26 日に 2 個体の計 3 個体で、最長の飼育期間は 98 日であった (表 2)。
 - 4) 人工生産魚の成熟状況の解析に用いた計 157 個体の 2018 年 12 月～2019 年 12 月までの生育条件は、水量 15m^3 、水温 $12.8 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、照明 60W 相当白色 LED1 灯 (8:30～17:30)、30W 相当電球色 LED1 灯 (17:30～8:30) であった (図 2)。得られた標本の生物精密測定の結果は表 3 の通りである。標本の全長は、173～327 mm (平均±標準偏差: $216.1 \pm 23.5\text{mm}$)、体長は 144～276 mm ($180.2 \pm 20.4\text{mm}$)、体重は 88.6～597.2g ($174.1 \pm 69.3\text{g}$) で、人工生産魚の全長と体長 (図 3)、体重 (図 4) との関係式を得た。性別は、雄 147 個体、雌 10 個体で、雄の比率が 93.6%、雌の比率が 6.4%で、成長に伴う性転換の可能性は極めて低いと判断された。雄の生殖腺重量指数 (平均) は 0.08～3.91 (0.79) であった。雌の生殖腺重量指数は 1.13～8.03 で、発達初期個体とみられる卵巣を有する個体が初めて出現した。全長と生殖腺重量指数との関係は明瞭ではなかった (図 5)。

【次年度以降に向けた提言】

今年度は、採卵親魚の養成に必要となる雌個体の確保に重点を置いて実施した。高水温 (水温 26°C) で生産した種苗を得たので、次年度、育成水温がアカムツ種苗の性比に及ぼす影響を検証するために、目視で判定可能となる 1 歳齢を目途に性別判定を実施予定である。雌の親魚養成試験として、天然成熟個体の確保を試みたが、長期飼育ができなかった。本年度は表層水温が $23.9 \sim 27.6^{\circ}\text{C}$ と高温であったこと、生殖巣の発達した個体が水圧のダメージを受けやすかったことなどが影響したと考えられる。雌の成熟には 4 年以上の飼育が必要となるため、天然成熟雌の確保は不可欠である。次年度は水温低下時期、および産卵期以外の時期での実施を計画する必要がある。

表 1. 新潟県長岡市寺泊での人工授精結果

受精月日	親魚全長(mm)		受精水温	搬入時				管理水温	ふ化 仔魚数	ふ化率 浮上卵 に対して	試験区
	♀	♂		総卵数	沈下卵数	浮上卵数	浮上卵率				
9月10日	329	289	25.7	101,200	24,200	77,000	76%	26.5	13,200	17%	23℃
9月10日	344	298	25.7	69,200	14,800	54,400	79%	26.5	14,500	27%	26℃
10月2日	353	338	24.1	130,275	24,525	105,750	81%	23.5	27900	26%	-
10月2日	348	227	24.1	51,600	9,120	42,480	82%	23.8	26260	62%	-
10月2日	342	281	24.1	162,450	33,750	128,700	79%	23.1	63675	49%	23℃

表 2. 新潟県長岡市寺泊での天然雌親魚の捕獲・養成結果

捕獲日	死亡日	生存日数	全長 (mm)	体長 (mm)	体重 (g)	生殖腺重量 (g)	生殖腺重量指数 (GSI)	肥満度
9/26	11/7	42	319	264	485.2	9.62	1.98	14.65
9/26	11/17	52	324	269	417.6	11.06	2.65	11.95
9/10	12/17	98	347	289	567.8	8.02	1.41	13.40

表 3. 人工生産魚の生物精密測定結果

性別	観察数	比率 (%)	全長 (mm)	体長 (mm)	体重 (g)	生殖腺重量 (g)	生殖腺重量指数	肥満度
♂	147	93.6	173~297 (211.8)	144~264 (176.5)	88.6~336.9 (160.3)	0.11~5.90 (1.27)	0.08~3.91 (0.79)	11.22~25.50 (16.42)
♀	10	6.4	240~327 (279.0)	201~276 (234.0)	215.0~597.2 (378.2)	2.56~25.16 (8.24)	1.13~8.03 (2.23)	14.00~18.81 (16.47)

括弧内は、各項目の平均値を示す



図 1. 26℃区生産水温 (2019 年 9 月 10 日～2020 年 2 月 10 日)

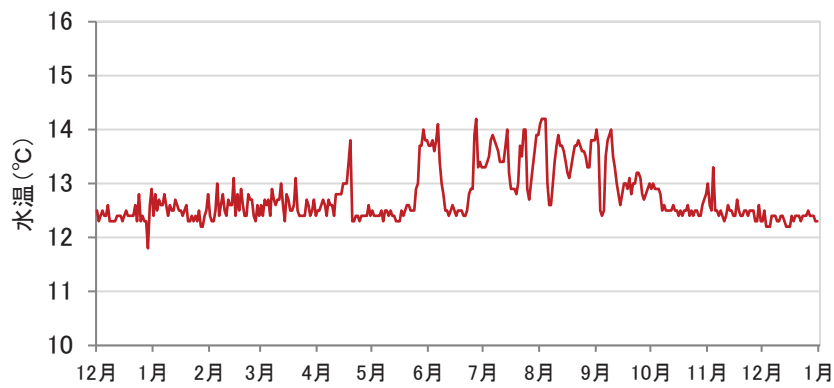


図 2. アカムツ人工生産魚の飼育水温（2018 年 12 月～2019 年 12 月）

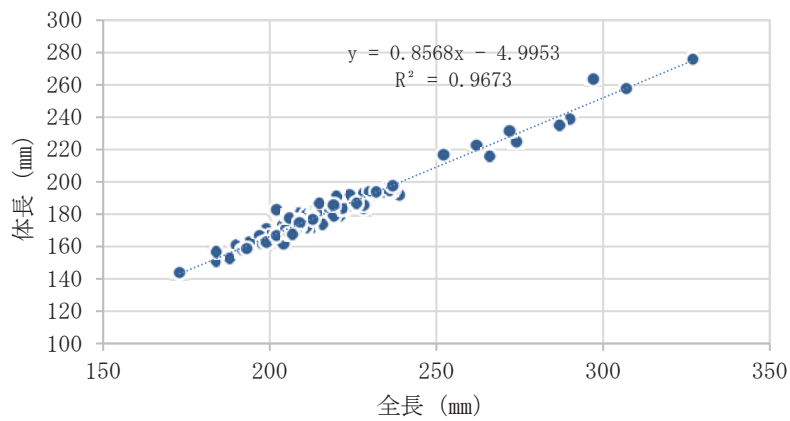


図 3. アカムツ人工種苗の全長と体長との関係（雌雄込み）

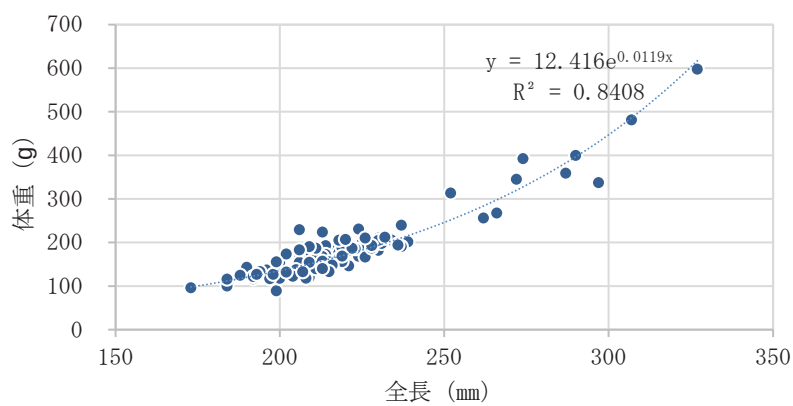


図 4. アカムツ人工種苗の全長と体重との関係（雌雄込み）

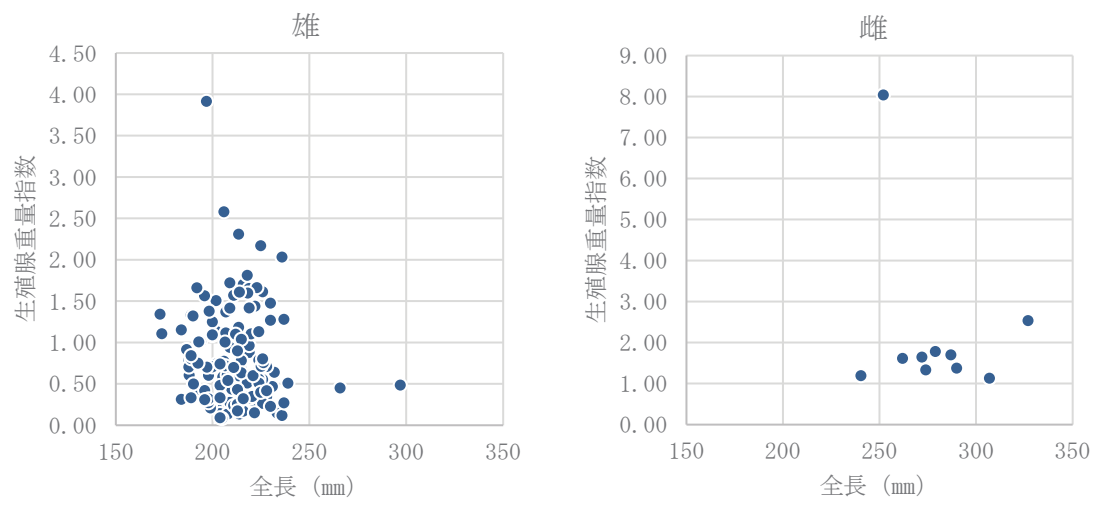


図 5. アカムツ人工種苗の全長と生殖腺重量指数との関係

イ アマダイ類等の種苗生産技術等の開発

⑧ヒゲソリダイの種苗生産技術の開発

公益財団法人 海洋生物環境研究所

山本 雄三

【目的】

ヒゲソリダイの成熟産卵生態や仔稚魚の生物学的特性を把握し、飼育技術の安定化と量産技術の開発を最終目標とする。

【研究方法】

1) 種苗生産技術の確立

2019年7月13日に得た受精卵を種苗生産槽（500L パンライト水槽）に収容して試験を開始した。

種苗生産槽に注入する海水は溶存酸素量および pH を高値に安定させるために、ろ過海水を FRP 製 1t 水槽（曝気水槽）内でブローアーによって強曝気し、種苗生産試験に用いた。なお、この曝気水槽では、水温が産卵時と同じ水温となるよう、調温装置を用いて 25.5℃～26.0℃に温度調節した。種苗生産槽への注水量は、0.18L/分から開始して、仔魚の成長に伴う呼吸量増大による飼育海水 pH の低下を目安に、徐々に増加させた。給気は、始めに水槽中央底面より小型エアストーンを用いて 60mL/分で行い、鰾の形成を確認したふ化後 4 日目以降は、水槽壁面中央部分にエアリフトを装着して反時計回りのゆるやかな水流ができるようにした。エアリフトの通気量は 150mL/分から開始して、仔魚の成長に伴う遊泳力増大を観察しながら徐々に増加させた。飼育海水として、ハプト藻の *Pavlova lutheri* およびプラシノ藻の *Tetraselmis tetrathele* をそれぞれ毎日 15L/日を 2 回から 3 回に分けて、種苗生産槽に添加した。光環境は、水面の照度が 200～2000Lux の範囲に収まるよう、種苗生産槽を設置した建屋上部から採光した自然光を遮光ネットで調整した。

餌料は、ふ化後 2 日目からタイ国産 SS 型ワムシの給餌を開始、ふ化後 5 日目より SS 型ワムシと L 型ワムシの併用を開始、ふ化後 9 日目には L 型ワムシのみの給餌とした。ワムシの密度は日中 3 回（9:00、13:00、16:00）計測し、仔魚の摂餌状況を観察しながら 10～15 個体/10mL となるように調整して給餌した。その後は仔魚の口径を測定しながら、ふ化後 11 日目よりシロギス活卵の給餌を開始した。シロギス活卵の摂餌が確認されたのは孵化後 15 日目からであった。ふ化後 13 日目から、シロギス活卵への摂餌が遅れている小型個体の補助餌料として、栄養強化したアルテミアを給餌した。

より効率的に種苗生産を行うために、昨年、問題が認められた以下の 3 点について検討を行った。

①仔稚魚の飼育密度

昨年度は孵化後 9 日以降に大量減耗が起きた。要因として孵化後 7 日目から大きく発達してくる特徴的な腹鰭が、個体間の行動に干渉し合うことが原因ではないかと推察されたため、本年度は孵化後 7 日目に分槽を行い、収容密度を昨年の半分まで下げて飼育した。

②光条件

昨年度の種苗生産において、人工光に対して過敏に反応することが観察された。人工光の影響が大量減耗に関係していると推察されたため、本年度は、水面の照度が 200～2000Lux の範囲に収まるよう、種苗生産槽を設置した建屋上部から採光した自然光を遮光ネットで調整した。また、天然光のみを利用し補助照明としての人工光は使用しなかった。

③水質

本年度、種苗生産に使用した海水は全て 0.5 μ m ポリプロピレンワインドカートリッジフィルター (ADVANTEC) にて精密ろ過し、さらに純海水製造装置 (株式会社 KITZ) を用い、限外ろ過を行った。さらに種苗生産槽に注水する海水の pH を安定させるため、FRP 製 1t 水槽 (曝気水槽) 内でブローアーによって強曝気した。

2) 親魚養成技術の検討

安定的に受精卵を確保するために、親魚の産卵時刻に合わせた給餌のタイミングを検討した。親魚養成には、柏崎市周辺で漁獲された天然魚を用いた。昨年度、種苗生産に用いた 10 尾 (平成 20 年秋～平成 28 年 10 月入手個体、体長 28.9 ± 2.1 cm) に加え、体長 20cm 程度の若魚 5 尾 (平成 30 年 5 月入手個体、体長 22.6 ± 0.6 cm) を親魚候補として養成し、異なる年齢の親魚から成るグループからの集卵を試みた。親魚養成は、屋外設置の 10 t ドーム型水槽 1 基で実施した。

餌は、1 日 2 回、午前 (9 時半前後) に冷凍アミ、午後 (15 時半前後) にモイストペレットを与えた。ただし、産卵が開始された 6 月 17 日以降は、午前にモイストペレット、正午に冷凍アミを与えた。これは、繁殖行動をとっている夕方の間は、ほぼ摂餌しないことが確認されたためであり、栄養価の優れるモイストペレットを優先的に摂取させるために行った。

3) 種苗法流技術の検討

本年度は天然魚とは鼻腔の形状が異なる個体に着目した標識方法を検討した。マダイを天然魚と人工種苗放流魚に識別する際の指標として、胸鰭の形状の差異や鼻孔隔皮の欠損の有無を用いることが報告されている。特に、鼻孔隔皮の欠損の有無による識別は、胸鰭の形状の差異を用いた識別よりも、長期間にわたり人工種苗放流魚を追跡できることが報告されている (山崎 1998)。ヒゲソリダイにおいても、マダイ同様に天然魚では鼻孔隔皮の欠損は見られないのに対し、人工種苗では、種苗生産の過程で、鼻孔隔皮の欠損が多く個体で認められるため、ヒゲソリダイにおいても鼻孔隔皮の欠損を標識として用いることが可能であるか検討した。放流する人工種苗から 105 尾を抽出し、抽出した個体から鼻孔隔皮を欠損した個体を計数し、鼻孔隔皮の欠損率を算出した。

4) 卵と初期生活段階の高温耐性

種苗生産の効率化や放流時期の検討のため、初期生活史段階である a)受精卵および b)仔稚魚期の高温耐性試験を実施した。

a) 受精卵

卵割期および胚体期の受精卵を実験に用いた。供試個体数は卵割期および胚体期ともに 1 つのビーカー (200mL) に対して 20 個体収容することとし、暴露水温ごとに 2 セットずつ準備した。暴露水温は 26℃および 29℃～37℃ (29℃以上は昇温幅 2℃；全 6 段階) で実施した。各水温への暴露時間は、15 分とし、ふ化翌日における目視による正常ふ化をエンドポイントとした。

b) 仔稚魚期

実験には 12 日齢の脊索屈曲期の仔魚と、38 日齢の稚魚を実験に用いた。供試魚の全長は仔魚期および稚魚期においてそれぞれ $6.4 \pm 0.44\text{mm}$ 、 $27 \pm 3.8\text{mm}$ (10 個体) であった。供試個体数は 1 つのビーカー (200mL) に対して仔魚および稚魚をそれぞれ 10 個体、8 個体収容することとし、暴露水温ごとに 2 セットずつ準備した。暴露水温は仔魚期：26℃および 30℃～42℃ (30℃以上は昇温幅 3℃；全 6 段階)、稚魚期：26℃および 31℃～39℃ (31℃以上は昇温幅 2℃；全 6 段階) で実施した。各水温への暴露時間は、15 分とし、暴露終了後 24 時間目における目視による実験魚の生死をエンドポイントとした。

【研究成果の概要】

1) 種苗生産技術の確立

①飼育密度の調整、②光制御および③水質の 3 点について検討を行った結果、本年度の種苗生産では生産尾数約 3,500 尾、ふ化後 24 日目の稚魚期の歩留まりは 45.7%という結果であった (図 1)。2017 年度の実験尾数および歩留まりはそれぞれ 3,000 尾、34.7%であり、本年度の歩留まりは 2017 年度と比較して 10%程度向上することができた。

①飼育密度では、孵化後 7 日目に例年の半分の密度で飼育したことにより、孵化後 9 日目に起きていた大量減耗は起きず、歩留まりの向上につながった。仔魚期の形態変化に合わせた適切な飼育密度があると推察される。また、飼育水の溶存酸素量や pH などの水質状況から、2,500 尾/500L 程度が上限であると考えられた。

②光制御では、人工光を使用せず自然光のみを利用したことで、異常行動を減らし歩留まり向上につながった。しかし、孵化後 14 日目以降の日の出と日没時には隣接する施設の照明から光が差し込む水槽に限り異常行動が見られた。他の水槽では異常行動は見られなかった。このことから、仔魚には光に過敏な時期があり、わずかな人工光でも過敏に反応するため、光の制御を徹底する必要性が示唆された。

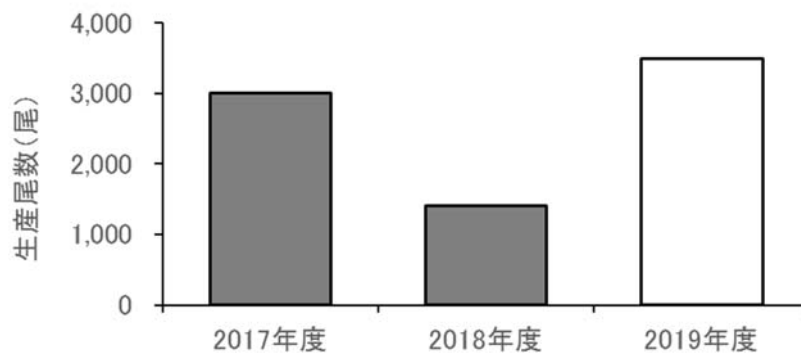


図1 3年間の種苗生産で生産した仔魚の個体数

2) 親魚養成技術の検討

ヒゲソリダイ親魚の産卵時刻を避けて給餌をする方法を検討した結果、自然産卵による受精卵を約17週にわたり得ることができた(図2)。本年度は昨年度より早い時期から産卵が認められたが、産卵の頻度は不安定になった(図3aおよびb)。これらの違いは親魚の年級と体サイズの違いに起因する可能性が推察された。

浮上卵率と正常発生率の推移を図4に示す。6/17より新しく追加した若い個体群に婚姻色と産卵行動が確認され、併せて産卵も確認された。産卵の開始から卵質は安定し推移していたが、7/27を境に沈下卵の割合が増加した。この時期より、大型個体群に婚姻色と産卵行動が観察され、産卵への加入が推察された。年級とサイズが大きくかけ離れた二つの群れが産卵に影響を及ぼした可能性が卵質からも推察された。

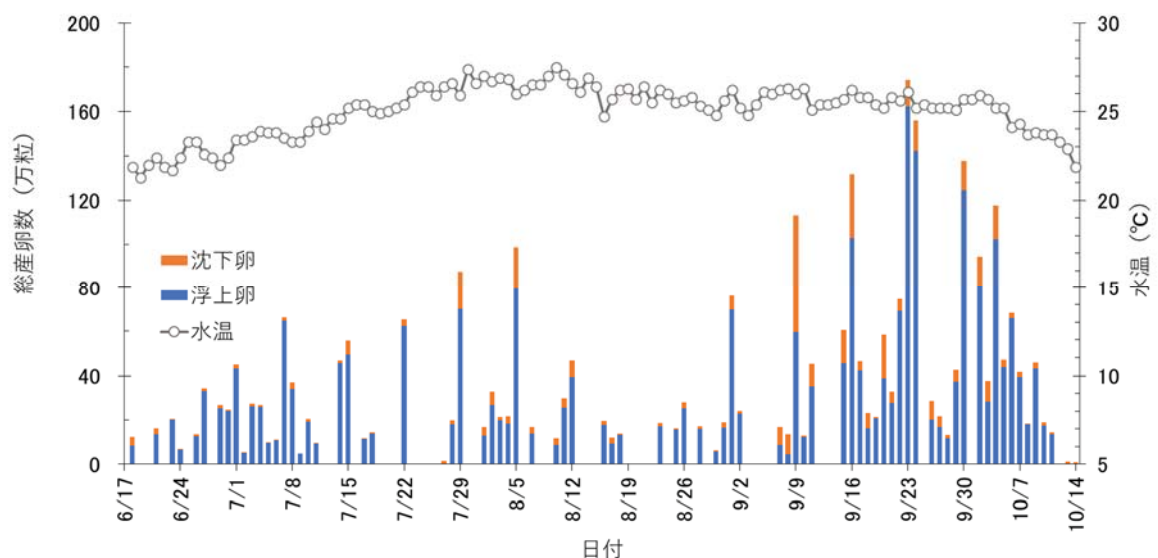


図2 産卵観察期間における供試魚の産卵状況

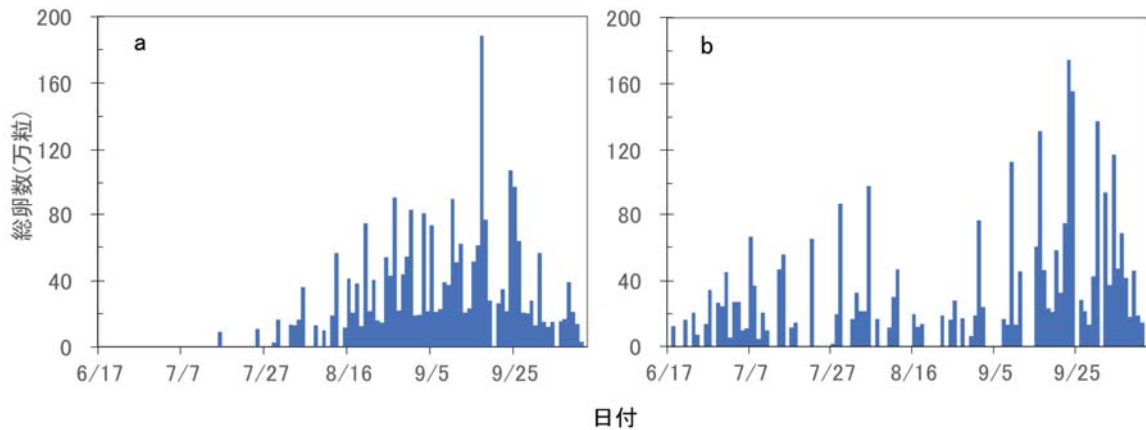


図3 産卵観察期間における供試魚の総産卵数 (a:2018年度、b:2019年度)

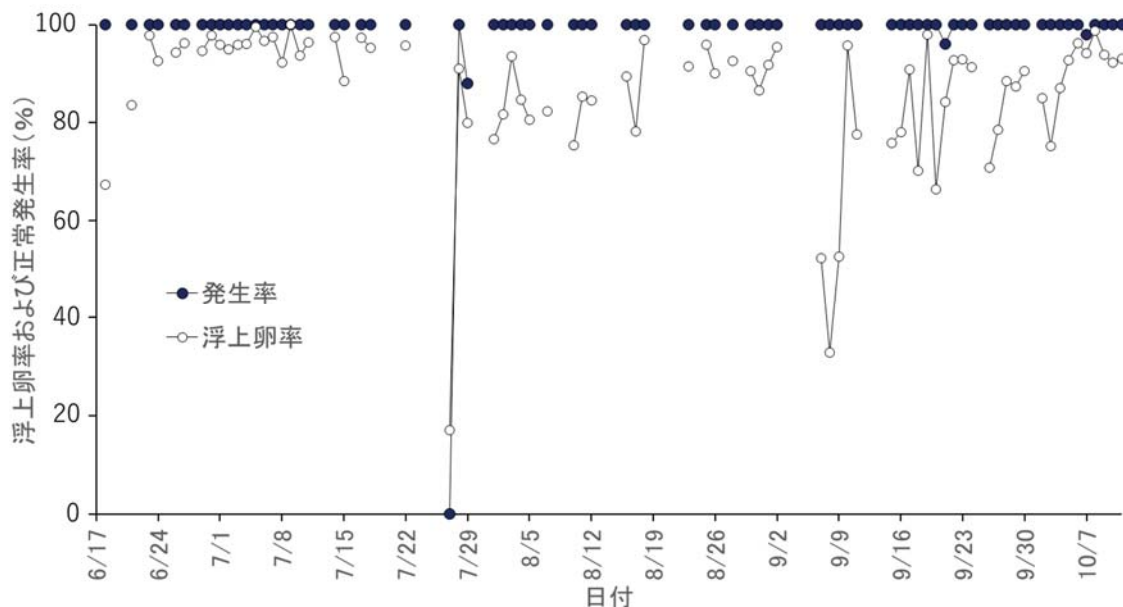


図4 産卵観察期間中浮上卵率と正常発生率

3) 種苗放流技術の検討

本種はこれまでに人工種苗の放流が行われておらず、放流技術が確立されていない。日本魚類学会自然保護委員会（2005）が希少種放流のために策定した「生物多様性の保全をめざした魚類の放流ガイドライン」を基に検討したところ、放流場所は種苗の親魚が捕獲された付近が適正であると考えられた。新潟県漁業共同組合柏崎支所と協議の上、種苗の放流場所は柏崎市におけるヒゲソリダイの漁場付近の荒浜漁港とした（図5b）。

本年度は日齢65日および156日の種苗を放流した。65日齢時に測定した30個体の全長および体重はそれぞれ $77 \pm 4\text{mm}$ および $9 \pm 1\text{g}$ であった。156日齢時に測定した30個体の全長および体重はそれぞれ $131 \pm 8\text{mm}$ および $55 \pm 11\text{g}$ であった。種苗の放流は2019年9月26

日（日齢 65 日）および 12 月 26 日（日齢 156 日）に実施した。総放流個体数は 3,500 個体であり、そのうち、2,900 尾を 9 月 26 日に放流し、残り 600 尾を 12 月 26 日に放流した。放流魚は 500L と 250L の活魚水槽に収容し、荒浜漁港に輸送して放流した。放流する人工種苗から 105 尾を抽出し、抽出した個体から鼻孔隔皮を欠損した個体を計数し、鼻孔隔皮の欠損率を算出した。鼻孔隔皮の欠損率は 57% であった。

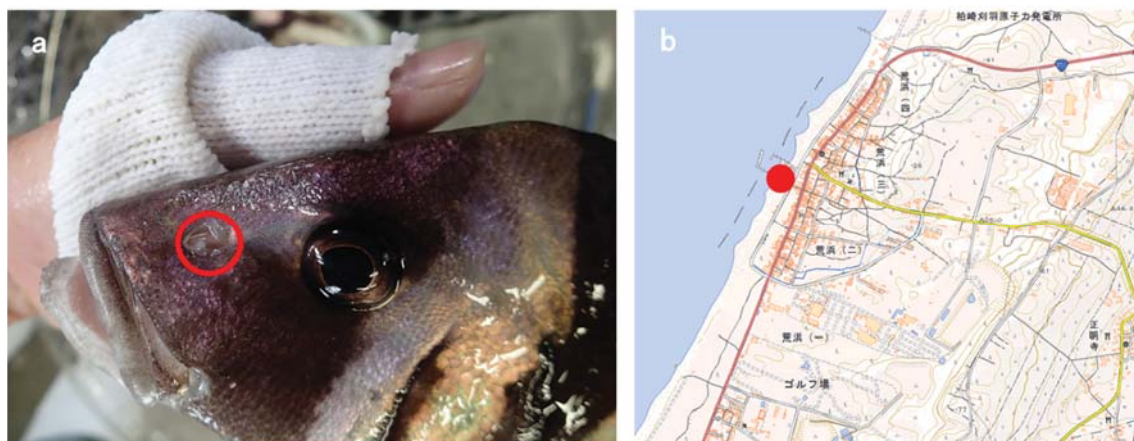


図 5 鼻孔隔皮の欠損の様子(a)と放流地点 (b)

4) 卵と初期生活段階の高温耐性

a) 受精卵

卵割期および胚体期の暴露温度と正常ふ化率を図 6 に示す。卵割期および胚体期の半数致死温度はそれぞれ 33.3℃および 34.1℃であった。また、飼育水温から半数致死温度までの昇温幅はそれぞれ 7.0℃および 9.1℃であった。

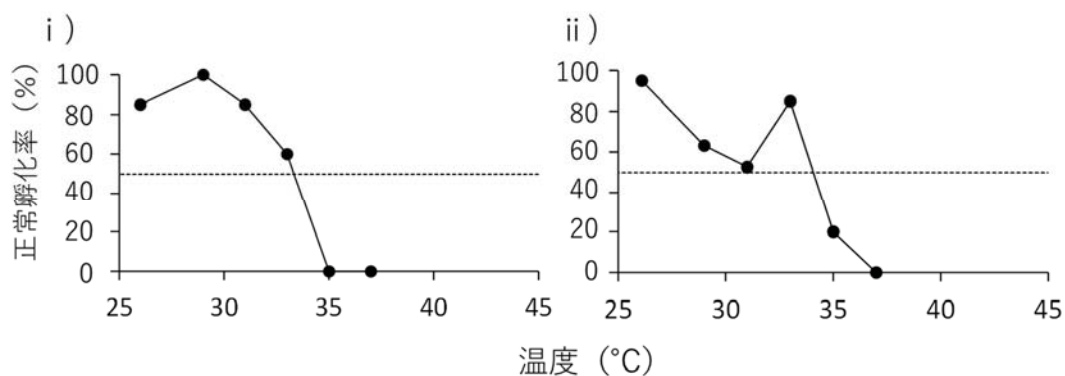


図 6 暴露温度と正常ふ化率 (i) 卵割期および ii) 胚体期)

b) 仔稚魚期

仔魚期および稚魚期の暴露温度と正常ふ化率を図 7 に示す。仔魚期および稚魚期の半数致死温度はそれぞれ 33.9℃および 35.7℃であった。また、飼育水温から半数致死温度までの昇温幅はそれぞれ 7.8℃および 9.1℃であった。ヒゲソリダイの仔稚魚期は高温水温に対して比較的強い耐性を持つが、昇温に対しては弱い可能性が考えられた。

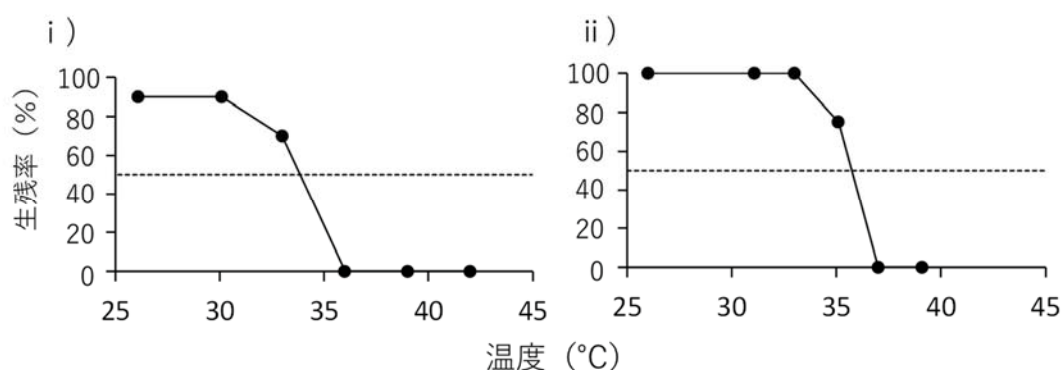


図 7 暴露温度と生残率 (i) 仔魚期および ii) 稚魚期)

【次年度に向けた提言】

種苗生産技術の検討において、水質や光条件、密度を管理することで稚仔魚の異常行動や減耗を抑えることができた。また、ふ化後 24 日目の稚魚期の歩留まり率を初年度 (2017 年度) と比較して 10% 程度改善することができた。しかし、上述の結果は 1 回のみの検討から得られたものであるため、再現性を確認していく必要がある。

親魚養成技術の検討のための産卵試験において、年級と体サイズが大きくかけ離れた 2 つの群れが産卵に影響を及ぼした可能性が産卵の頻度や卵質から推察された。従って、親魚候補は年級と体サイズに近いものを選抜する必要があると考えられる。また、種苗放流技術の検討において、鼻孔隔皮の欠損による標識の有用性の確認と高温耐性を反映した効果的な種苗放流時期の検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

日本魚類学会自然保護委員会 (2005). 生物多様性の保全をめざした魚類の放流ガイドライン. <http://www.fish-isj.jp/iin/nature/guideline/2005.html>

山崎明人 (1998). マダイにおける胸鰭変形および 鼻孔隔皮欠損による人工種苗放流魚と天然魚識別の有用性. 栽培技研, 26 (2), 61-65.