

令和2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3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2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3年3月

目 次

ア キンメダイの種苗生産技術等の開発	
① 親魚養成および採卵技術の開発	1
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	5
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	15
⑤ アマダイ等の親魚養成技術の開発	18
⑥ アカムツの種苗生産技術の開発	22
⑦ アカムツの親魚養成技術の開発	30
⑧ ヒゲソリダイの種苗生産技術の開発	34
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	39
② 三陸海域におけるホシガレイの種苗生産技術の開発	42
③ ホシガレイの種苗量産技術の普及と生産体制の構築	45
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	48
② 島根県沖のアカムツ、アマダイ類の資源・生態調査	51
③ 山口県沖のアカムツの資源・生態調査	53
④ 若狭湾のアマダイ類の資源・生態調査	57
⑤ 山口県沖のアマダイ類の資源・生態調査	60
⑥ 日向灘のアマダイ類の資源・生態調査	61
⑦ 放流魚調査技術の開発	65
⑧ 放流技術情報の調査取り纏め	71
⑨ 常磐海域のホシガレイの資源・生態調査	77
⑩ 三陸海域のホシガレイの資源・生態調査	80
⑪ 東北太平洋海域のホシガレイ資源・生態調査	86
オ 検討会の開催	
① 現地検討会の開催	88

ア キンメダイの種苗生産研究等の開発

- 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

静岡県水産・海洋技術研究所
高木 康次・倉石 祐

【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 千トンから近年は 2 千トン未満に減少している。関東近海のキンメダイ資源は低位・減少傾向と評価され、漁業者による自主的な資源管理に加えて資源回復のために漁獲圧削減などが提案されている。本県の漁業者からは資源を回復させる方法の一つとして、栽培漁業の実現による種苗放流が求められている。しかし、これまでに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一段階として、種苗生産技術を開発する。

【研究方法】

1) 産卵実態の把握

2019～2020 年に伊豆半島東岸沖で採捕した雌の体長組成を漁場別に比較することで、成熟卵を持つ尾叉長 30cm 以上の魚の比率が高い漁場を検討した。また 1984～2020 年に採捕した雌の生殖腺重量(g)と尾叉長(cm)から、月別に生殖腺指数 ($GI = \text{生殖腺重量} / \text{尾叉長}^3 \times 10000$) と透明卵の出現率を求め産卵盛期を検討した。

2) 人工授精技術の開発

① 船上人工授精

漁船を用船して伊豆半島東岸沖漁場でキンメダイを採捕し、船上で排精、排卵が確認できた個体から乾導法により人工授精を行った。受精卵は当研究所伊豆分場に運搬し、浮上卵と沈下卵を選別してそれぞれの個数を計数した。浮上卵は、卵数が少ない場合は 3L 容器、卵数が多い場合には 500L 水槽に收容し、注水は 1 日 2 回転程度として弱くエアレーションを行い、1～2 日後にふ化を確認した。

② 配偶子保存・催熟技術の開発

ア) 凍結による精子の長期保存技術の開発

10 月 2 日に採取した精子を使用して凍結保存試験を行った。0.5 μ L ストロー管に DMSO 10%、FBS 80%、精子 10% の組成で收容し、液体窒素中に保存した。冷却条件は液体窒素液面からの高さを 2、6、10cm、冷却時間を 5、10 分とした 6 条件で冷却を行った。

イ) ホルモン処理による雌親魚の催熟技術の開発

産卵期前の 5 月 26 日に稲取沖漁場で採捕した魚を魚槽に收容して稲取漁港に持ち帰り、その後活魚トラックに移し替えて静岡県水産・海洋技術研究所駿河湾深層水水産利用施設（以下、利用施設）に輸送した。飼育は水深 397m から取水した海洋深層水のかけ

流しにより行った。ホルモンはHCGを使用し、500IU/kgを目安に背筋部に注射した。

3) 親魚養成技術の開発

採捕した親魚の生残率を向上させるために採捕時期について検討した。令和2年5月（表面水温21℃）と令和3年1月（表面水温16.7℃）に採捕し、利用施設で海洋深層水のかけ流しで飼育した魚の5日間生残率を比較した。また、親魚の養成には雌雄で異なる方法を確立する必要があることから、ゲノム情報を利用してSNVをターゲットにした雌雄判別技術を開発した。雌雄で7塩基の置換が起こっている場所をターゲットにプライマーを設計し、雌雄判別を行った。

4) 仔稚魚の飼育技術の開発

9月17日に人工授精で得られたふ化仔魚を500Lパンライト水槽で飼育した。水温を22℃に設定し、換水率1~2回転/日で、水研機構から配布を受けたSSワムシを10~20個体/mlで給餌した。また、飼育水には冷凍ナンノクロプシスを添加した。

【研究成果の概要】

1) 産卵実態の把握

伊豆半島東岸沖のキンメダイ漁場を、稲取沖、下田沖、南伊豆沖、石廊崎沖の4つに区分し、産卵期の6~10月に採捕した雌248尾の体長組成を比較した。キンメダイは概ね尾叉長30cmから成熟卵を持つとされているため、尾叉長を30cm未満、30~34cm、35~39cm、40cm以上で集計した（図1）。未成熟サイズである30cm未満の比率は稲取沖で高く、また35cm以上の大型魚の比率は南伊豆沖や下田沖で高い傾向が見られた。1984~2020年に採集した雌593個体の生殖腺指数（GI）と透明卵の出現の月変化を図2に示した。GIは6~10月に高くなるが、透明卵は7~9月に多く出現するため、この時期が産卵盛期と考えられた。

2) 人工授精技術の開発

① 船上人工授精

8~10月に9回の用船を行い、233尾（雄139尾、雌94尾）を採捕した。このうち、成熟個体は雄では106尾（76%）、雌では86尾（91%）であった。船上で人工授精をのべ20回行い、35,077個の卵を得た。人工授精ごとの卵数と浮上卵率を図3に示した。8月1日、8月21日は採捕尾数が多かったため採卵数が多かった。また9月17日には成熟状態が良好な雌1尾から多くの卵が得られた。浮上卵は全体で5,721個であったが、浮上卵率は平均6.6%と低かった。しかし9月17日の2回の人工授精の浮上卵率は22%と50%と高かった。ふ化尾数は全体で279尾であったが、そのほとんどが9月17日の261尾であった（図4）。

② 配偶子保存・催熟技術の開発

ア) 凍結による精子の長期保存技術の開発

凍結から74日後の運動精子の割合を測定した（図5）。運動率は平均39%（25~59%）で、

液体窒素液面からの高さが高い方で運動率が高い傾向が見られたが、冷却時間には差は見られなかった。引き続き保存試験を継続している。

イ) ホルモン処理による雌親魚の催熟技術の開発

ホルモン処理による催熟試験について、HCGにより排卵・排精を確認する個体は確認できなかった。

3) 親魚養成技術の開発

漁獲した魚の5日間生残率は令和2年5月が35%、令和3年1月は54%であり、表面水温が低い冬期が養成親魚の捕獲に適切であると考えられた。

表1の通りにプライマーを設計した。このプライマーを使用して雄雌各10尾から抽出したDNAを用いて判別したところ、正答率は100%であった(図6)。この技術から雌と判別した魚を親魚として養成中である。

4) 仔稚魚の飼育技術の開発

9月17日にふ化した261尾は、日齢5日で胃中には摂餌したワムシを確認できたが、9日後に仔魚が見えなくなり飼育を終了した。排水した飼育水から仔魚6個体を回収した。餌密度や明るさ等の飼育条件は、ふ化尾数が少なく、検討はできなかった。

【次年度に向けた提言】

今年度は7~9月に下田沖や南伊豆沖で成熟個体を得られることが明らかになったが、成熟個体でも採卵・採精ができるものが少ないことや近年は不漁が続いていることなどから、船上人工授精によって受精卵を得るためには、保存精子の利用や、採捕機会を増やすことが必要と考えられた。また今回は浮上卵率やふ化率が低く仔魚飼育条件の検討はできなかったため、人工授精の手順については今後検討を行う必要がある。さらにホルモン処理による催熟方法や親魚養成を検討するためには数多くの親魚が必要であり、必要数を確保する方法に検討が必要である。

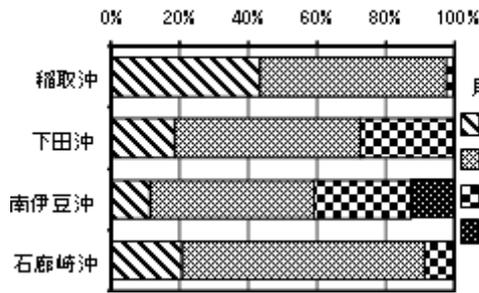


図1 伊豆半島東岸沖漁場における雌の尾叉長組成

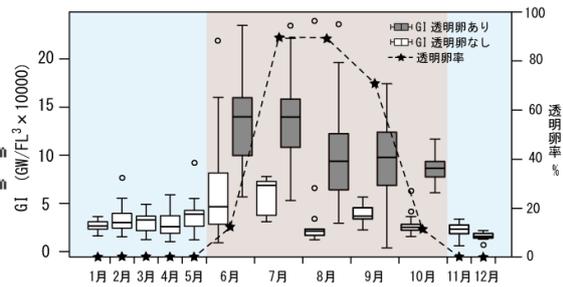


図2 生殖腺指数 (GI) と透明卵率の月変化

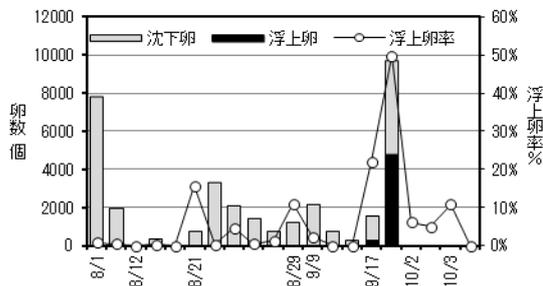


図3 船上人工授精による卵数と浮上卵率

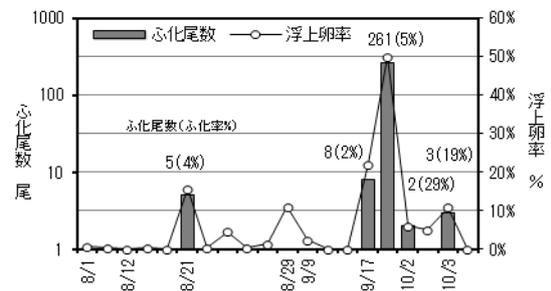


図4 ふ化尾数と浮上卵率

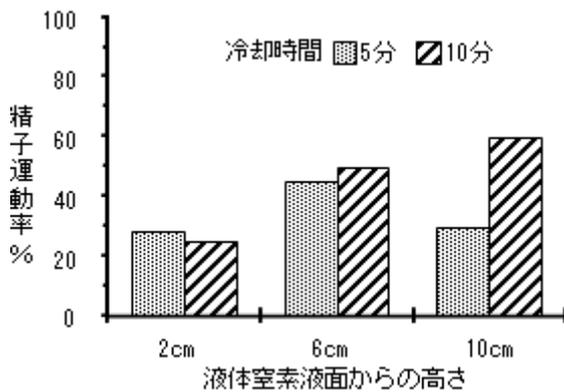


図5 凍結後74日の精子運動率

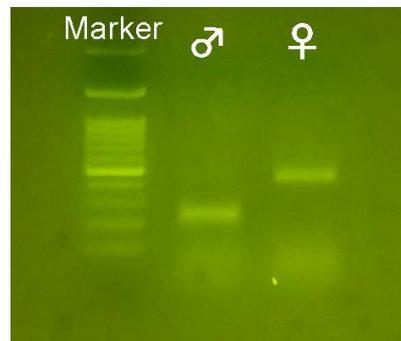


図6 PCRによる雌雄の結果

表1 使用したプライマーの配列

	配列
F1	TTCTCGAACTTGCTGTGGTG
F2	TGTCAATATGCCCTAATTTCTCTG
R1	AAGCAGTTGTGTTGCACGAG
R2	GCAGTTGGAACTATTGAGATTTAGG

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

阿武 遼吾

【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ほとんど明らかにされていない。

本研究では、親魚養成試験等により基礎的知見を収集し、本種の種苗生産技術（親魚養成・採卵技術）の開発を目的とする。

【研究方法】

1) 親魚確保および人工採卵試験

親魚確保および人工授精からなる一連の作業は、令和2年4月29日～5月15日に実施した。

山口県瀬戸内海の水深60m付近ではえ縄により漁獲された個体を親魚に供した。雌個体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、その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。精子は人工精漿で希釈して保存したものを使用した。

2) 種苗生産試験

照度環境の違いが初期摂餌や開鰓に与える影響を把握するため、人工照明に白熱電球および白色LED電球を用いた4つの試験区を設け、5月2日から表1の飼育条件で飼育試験を行った。初期摂餌の状況は、開口直後の3～4日齢の仔魚の消化管内のワムシの咀嚼器を計数し、群摂餌率および仔魚1尾あたりのワムシ摂餌個数を確認した。また、5日齢以降は、開鰓を促すために油膜除去を行い、仔魚の開鰓状況を確認した。さらに6日齢に生残尾数を計測した。

3) 種苗放流試験

（公社）山口県栽培漁業公社と共同で実施した量産試験で生産した約3.5万尾の種苗を、8月7日、11日、9月28日および10月15日に山口県瀬戸内海海域に放流した。放流場所は昨年度と同じ漁港内であり、日中に岸壁から放流した。放流した種苗は標識として右腹鰭を抜去した。また、放流場所における放流種苗の定着状況を把握するため、11月17日および12月23日に放流場所付近で釣獲調査を実施した。

4) 人工種苗からの親魚養成試験

7月17日から平均全長50mmの人工種苗を用いて親魚養成試験を開始した。3、4kL青色FRP製円形水槽に各500尾ずつ収容し、表2の飼育条件で飼育した。

【研究成果の概要】

1) 親魚確保および人工採卵試験

親魚確保の結果および採卵結果を表 3、表 4 に示した。全ての雌個体から卵が得られ、計 73.3 万粒の卵を搾出、媒精した。その結果、計 37.4 万粒の浮上卵を得た（浮上卵率 51.0%）。いずれの回次においても、得られた総採卵数および浮上卵数は 48 時間後と 72 時間後で大きく変わらなかった。

2) 種苗生産試験

各試験区に 14,130 粒の受精卵を収容した。ふ化は受精から 36 時間後に始まり、48 時間後に完了した。各試験区のふ化仔魚数およびふ化率を表 5 に示した。各試験区のふ化率に大きな差はみられなかった。摂餌状況を表 6 に示した。白色 LED 電球区に比べて白熱電球区の方が群摂餌率および仔魚 1 尾あたりのワムシ摂餌個数ともに良好であった。なお、5 日齢には全ての試験区の群摂餌率は 100% となった。開鰓率は全ての試験区において 6 日齢に 100% となった（表 7）。6 日齢における生残尾数および生残率を表 8 に示した。生残率は白熱電球区に比べて、白色 LED 電球区の方が高かった。その原因として、4 日齢における仔魚 1 尾あたりのワムシ摂餌個数が、白色 LED 電球区に比べて白熱電球区の方が多かったため、白熱電球区の仔魚は比重が大きくなり、夜間に沈降死が起きた可能性が推察された。

3) 種苗放流試験

放流結果を表 9 に示した。いずれの放流日においても、種苗は放流後に速やかに潜行する様子が観察された。釣獲調査では、11 月 17 日に 2 尾（全長 13.6cm、13.8cm）、12 月 23 日に 2 尾（全長 15.7 cm、15.8cm）が釣獲された。いずれの個体も右腹鰭が欠損していたことから、放流個体であると推察された（図 1）。

4) 人工種苗からの親魚養成試験

飼育水温と生残率の関係を図 2 に示した。飼育水温が 29°C を超えると死亡数が増加したが、餌止めや飼育密度を下げる等の対策により終息した。2 月 19 日時点で計 100 尾を飼育している。

【次年度に向けた提言】

現在、シロアマダイは天然個体の漁獲に依存しているため、安定的、計画的に確保できないという課題を抱えている。また、天然個体は漁獲時のダメージが大きいため、飼育中の死亡率も高く、親魚として養成することが難しい。今後、人工種苗からの親魚養成技術の確立を目指すこととする。

表 1 種苗生産試験の飼育条件

試験区	①	②	③	④
人工照明および 水面照度	白熱電球 3,000Lux	白熱電球 10,000Lux	白色 LED 電球 3,000Lux	白色 LED 電球 10,000Lux
試験期間	0～6 日齢			
飼育水槽	1kL 青色 FRP 製円形水槽			
飼育水	砂ろ過紫外線殺菌処理海水			
飼育水温	18.5～21.3℃（ヒーターの設定温度は 20.0℃）			
通 気	エアストーン（長さ 70mm、直径 20mm の円柱形）を 1 水槽あたり 2 個設置 1 個あたりの通気量は 10ml/分			
換 水	止水			
微細藻類の添加	スーパー生クロレラ（クロレラ工業社製）を 50 万 cells/ml になる ように 1 日 2 回投与			
ワムシ	2～3 日齢：S 型ワムシを 10 個/ml になるよう 1 日 1～2 回投餌 4～6 日齢：栄養強化した S 型ワムシを 10 個/ml になるよう 1 日 1 ～2 回投餌			
ワムシの栄養強 化	スーパー生クロレラ（クロレラ工業社製）をワムシ 1 億あたり 200ml 投与し、20 時間強化			

表 2 親魚養成試験における飼育条件

	63 日齢～ (7/16)	94 日齢～ (8/6)	106 日齢～ (8/24)	142 日齢～ (9/29)	167 日齢～ (10/24)	
飼育水	砂ろ過海水					
換水率(%)	1000					
収容尾数(尾)	500	350	100	75	50	
収容密度(尾/m ²)	111	78	22	16	11	
水温(℃)	15.4～30.9（自然水温）					
給 餌 方 法	回数(回/日)	6～12	12	1	2	2
	餌料	配合飼料	配合飼料	配合飼料	配合飼料 オキアミ	配合飼料 オキアミ
	給餌量	飽食量	飽食量	魚体重の 1%	魚体重の 4%	魚体重の 6%

表 3 親魚確保の結果

年月日	雌 (活魚)		雄 (鮮魚)	
	尾数 (尾)	体重 (g)	尾数 (尾)	体重 (g)
R2. 4. 29	2	1,720、1,890	1	2,400
R2. 5. 1	1	1,620	-	-
R2. 5. 12	1	1,948	6	1,730~2,510
R2. 5. 14	-	-	2	1,948、2,030

表 4 採卵結果

	供試魚		HCG 打注後の 経過時間	総採卵数 (粒)	浮上卵数 (粒)	浮上卵率 (%)
	雌	雄				
1 回次 (R2. 5. 2~3)	1 尾	1 尾	48 時間	89,460	56,520	63.2
			72 時間	87,120	49,860	57.2
2 回次 (R2. 5. 14~15)	3 尾	8 尾	48 時間	237,852	121,680	51.2
			72 時間	319,050	146,340	45.9

表 5 ふ化仔魚数およびふ化率

試験区	①	②	③	④
収容受精卵数 (粒)	14,130	14,130	14,130	14,130
ふ化仔魚数 (尾)	7,691	8,143	8,143	8,596
ふ化率 (%)	54.4	57.6	57.6	60.8

表 6 摂餌状況

		①	②	③	④
		白熱電球 3,000Lux	白熱電球 10,000Lux	白色 LED 電球 3,000Lux	白色 LED 電球 10,000Lux
3 日齡 (18:00)	群摂餌率 (%)	7	87	0	0
	摂餌個数(個/尾)	0.1	5.0	—	—
4 日齡 (9:00)	群摂餌率 (%)	100	100	80	80
	摂餌個数(個/尾)	7.4	15.3	6.9	6.7
4 日齡 (15:00)	群摂餌率 (%)	100	100	100	90
	摂餌個数(個/尾)	21.6	29.6	11.3	15.8
5 日齡 (10:00)	群摂餌率 (%)	100	100	100	100

表 7 開鰓率 (%)

試験区	①	②	③	④
	白熱電球 3,000Lux	白熱電球 10,000Lux	白色 LED 電球 3,000Lux	白色 LED 電球 10,000Lux
5 日齡(15:00)	20	0	0	0
5 日齡(18:00)	80	100	93	93
6 日齡(10:00)	100	100	100	100

表 8 6 日齡における生残尾数および生残率

試験区	①	②	③	④
	白熱電球 3,000Lux	白熱電球 10,000Lux	白色 LED 電球 3,000Lux	白色 LED 電球 10,000Lux
ふ化仔魚尾数(尾)	7,691	8,143	8,143	8,596
生残尾数(尾)	4,977	5,339	6,935	8,170
生残率(%)	64.7	65.6	85.2	95.0

表 9 放流結果

放流日	8/7	8/11	9/28	10/15
放流尾数 (尾)	24,000	10,000	850	400
平均全長 (mm)	75	85	107	119



図 1 再捕された放流魚 (12月23日再捕、全長15.8cm)

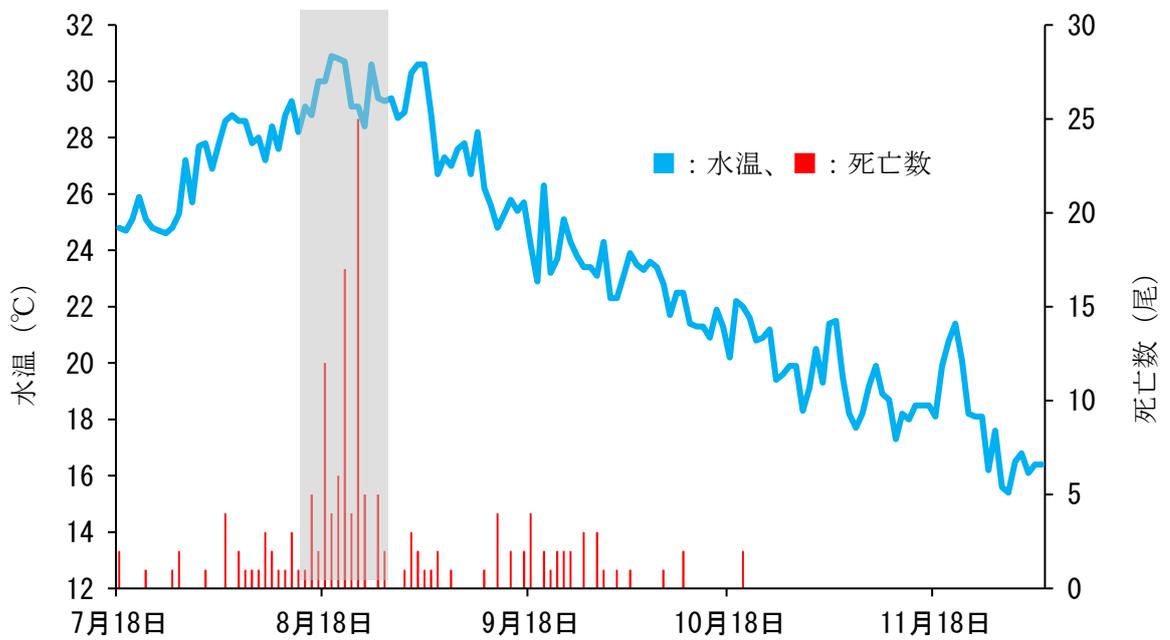


図 2 飼育水温と生残率

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、ヒラメ等に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、省力化や低コスト化が求められている。

そこで、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するとともに、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、700尾/m²(450尾/k_l)以上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

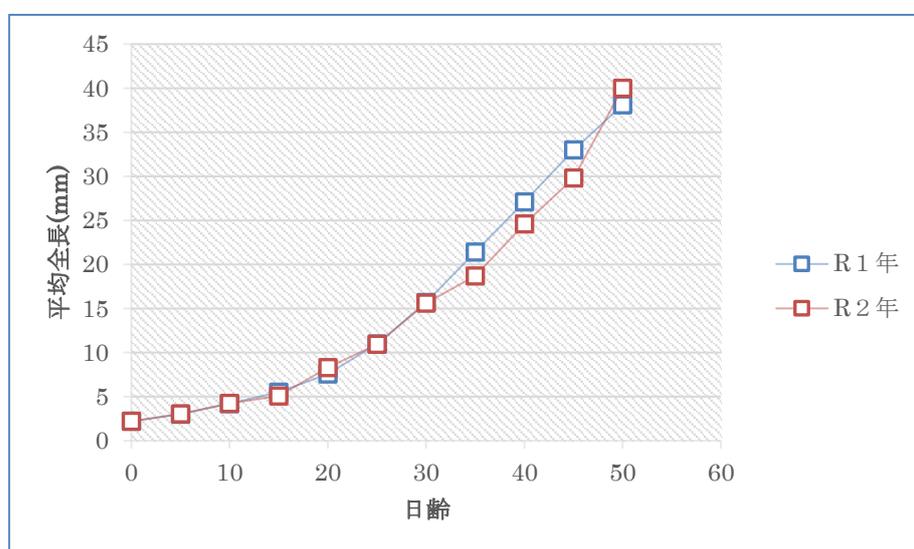
山口県水産研究センターが成熟個体(天然親魚)から人工授精により5月16日から5月17日にかけて採卵した受精卵を一晩微流水で育卵した(育卵水温20℃)。翌日、胚体を確認した後に浮上卵を0.5ppmの濃度に調整した電解殺菌海水で1分間消毒し、受精卵266千粒を50k_l八角形水槽に収容してふ化させた。得られたふ化仔魚数は148千尾(全長2.2mm)、ふ化率は55.6%、飼育開始時の密度は2,960尾/k_lであった。

飼育水は、紫外線殺菌砂ろ過海水を使用した。換水は日齢3から10%で開始し、以降は徐々に増加させた。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20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45まで給餌した。配合飼料は日齢20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44まで行った。

49～50日間の飼育で平均全長40mmの稚魚40千尾を取り上げた。生残率は27%で、取りあげ時の飼育密度は800尾/kIであった。日齢6における開鰓率は100%であり、取りあげ時の形態異常は目視では確認できなかった。日齢と全長の関係は表1の通りである。

表1 日齢と全長



2) アカアマダイ

雌100尾、雄9尾の成熟個体(天然親魚)を9月29日から9月30日に購入し、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、活魚籠に入れて水温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。

HCGの打注から48、72時間後の10月1日から10月3日に採卵を実施した。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200ℓアルテミア孵化槽に収容した。3日間の採卵で2,988千粒の受精卵を得た。

浮上卵を200ℓアルテミア孵化槽内で再浮上させた後、500ℓポリカーボネート水槽に収容し、0.7ℓ/分の通気をして一晩止水で育卵した(育卵水温22℃)。翌日、胚体を確認した後、残留オキシダント濃度を0.5ppmに調整した電解殺菌海水で浮上卵を1分間消毒

し、50k l 八角形水槽に収容してふ化させた。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1日～3日	1,494g	161g	90.3%

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3日	10月4日	302	219	72.5
M3	10月3日	10月4日	302	254	84.1
M2	10月4日	10月5日	408	325	79.7
M1	10月4日	10月5日	408	290	71.1
計			1,420	1,088	76.6

飼育水は、紫外線殺菌砂ろ過海水を使用した。換水は、日齢2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、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て調整した。通気量は側面の通気を0.3～1.0 l /分とし、飼育水中のD O 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6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25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17から日齢43まで給餌した。配合飼料は、日齢22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45まで行った。

ふ化仔魚収容尾数は1,088千尾、飼育開始密度は4,380～6,500尾/ kl であった。61～62日間の飼育で平均全長48.3mmの稚魚402千尾を取り上げた。平均生残率は36.9%、取りあげ時の飼育密度は1,440～2,400尾/ kl であった。種苗生産結果の概要は表4の通りである。

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 (%)
M4	10月3日～12月3日	219	120	—	54.8
M3	10月3日～12月3日	254	109	—	42.9
M2	10月4日～12月3日	325	72	—	22.2
M1	10月4日～12月3日	290	101	—	34.8
計		1,088	402	48.3	36.9

(2) 閉鎖循環システムによる中間育成

大型水槽を用いた飼育では、12月18日に30kl角形水槽に平均全長56.6mmの稚魚13.87千尾を収容し、飼育水温は18℃、飼育水は全海水とした。飼育密度は720尾/m²(460尾/kl)であった。

飼育結果は、12月18日から1月21日まで中間育成を行い、平均全長77.98mmの稚魚を13.69千尾取り上げた。生残率は98.7%であった。

小型水槽を用いた飼育では、1月7日に500ℓ水槽に平均全長70.6mmの稚魚450尾を収容し、飼育水温は18℃とし、飼育水は80%海水とした。飼育密度は700尾/m²(1,040尾/kl)であった。その後、1月7日から1月21日まで中間育成を行い、平均全長75.84mmの稚魚を450尾取り上げた。生残率は100%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以下となった。

【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は目標の生残率、取上時の飼育密度を全体の平均値で達成できた。閉鎖循環システムによる中間育成では、大型水槽(30kl水槽)での飼育で、計画していた収容密度700尾/m²(450尾/kl)、生残率95%以上を達成できた。小型水槽を用いた低塩分飼育では、想定以上の寒波により水温維持ができなかった。次年度は水温維持できるよう対策を講じるとともに中間育成時のm²当たりの飼育密度について再検討したい。

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

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】

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 10 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 10 月に 1 回行った。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 ウイルスの検査を行い、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收容し、一晚卵管理した。翌日、胚体形成後に残留オキシダント濃度 0.5ppm の海水で 1 分間卵消毒を行い、ウナギ袋に收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

飼育水槽は屋内 50KL 角形水槽（5×8×1.2m、コンクリート製）を使用した。全面を遮光幕で覆い 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、2 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 23.0℃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とユニホースで行った。また、開鰓を促すため 3 日齢からエア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 型シオミズツボウムシ（以下、「ウムシ」という。）、アルテミア幼生（（株）北村）、冷凍コペポータ（（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

昨年度、一昨年度と 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 20 日齢（全長約 7.8 mm）に 15 尾サンプリングし、夜間無照明の試験を行った。翌日サンプルにへい死が見られなかったため、飼育水槽の全面遮光と 24 時間電照を終了した。結果、大量へい死は起こらなかった。

表 2 種苗生産結果

	1回次
卵收容日	10/30・31
卵收容数（千粒）	207.0
ふ化日	11/1・2
ふ化率（%）	57.5
ふ化仔魚数（千尾）	119.0
開始時水槽（KL×槽）	50×1
開始密度（尾/KL）	2,380
取揚日齢	68
取揚平均全長（mm）	49.0
取揚尾数（千尾）	11.7
生残率（%）	9.8
取揚密度（尾/KL）	234
飼育水温（℃）	23.0～17.0
※ふ化率はふ化仔魚/卵收容数×100で計算した値	

3) 中間育成技術の開発

1 月 7 日（68 日齢）に計数した種苗を屋内 13KL 巡流水槽 2 水槽に收容密度を変えて收容し、1 月 8 日（69 日齢）から中間育成飼育を行った。收容密度は、1 区：540 尾/KL（收容尾数：5,180 尾）、2 区：686 尾/KL（收容尾数：6,590 尾）とした。今年度は生産尾数が目標に届かなかったため、高密度での中間育成試験は実施できなかった。2 月 8 日（100 日齢）に 70mm に達したため試験を終了した。中間育成時の生残率は 1 区で 99.4%、2 区で 99.5%となった。

【次年度以降に向けた提言】

今年度、親魚確保では過去最高尾数の活魚を確保することができた。しかし、採卵作業の途中で精子が不足したことから鮮魚の購入尾数の再検討が必要である。また、浮上卵率の低さは精子の質が関係していると考えられるため、良質な精子を大量に確保する方法を検討する。

種苗生産では今年度は過去と比べて低い結果となった。特に 5～10 日齢の初期減耗が影響していると考えられる。来年度までに再度生産方法を見直し、生残率向上に努める。

中間育成試験では 700 尾/KL 程度の收容密度であれば問題なく飼育できることがわかった。次年度は昨年度との結果を踏まえた上で適正な收容密度を探る。

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を用いた親魚養成試験

アカアマダイを用いた親魚養成試験には、人工生産魚として水産技術研究所宮津庁舎より譲渡された2013年生産魚6尾および2016年生産魚6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。

[水槽①] 2020年9月25日に2013年生産魚(雌)5尾(体重: 768 ± 120 [SD] g)、天然魚(雌)1尾(体重: 985g)、および天然魚(推定雄)1尾(体重: 1,023g)を収容した。

[水槽②] 水槽①と同日に、2016年生産魚(雌)6尾(体重: 534 ± 85 [SD] g)および2013年生産魚(推定雄)1尾(体重: 723g)を収容した。

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。2020年9月26日より10月20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。なお、本年度は、雌の成熟が一昨年度および昨年度に比べて約半月ほど遅れたため、試験の開始も約半月ほど遅れた。

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、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、昨年度の結果(2018年度は山口産生産魚、2019年度は宮津産生産魚を用いたが、生産地間で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)から成長を考慮しながら定期的に生殖腺を採取(平均体長が約40mm、約60mm、約80mm、約100mm、約120mm、約160mmおよび約180mmで採取)し、生殖腺の組織学的観察を行った。

昨年度実施した2017年生産魚(山口)の観察において、24月齢の1尾(体長: 230mm)が精巣様組織と卵母細胞が混在する雌雄同体であり、性転換の可能性が推察された。この可能性を検証するため、2017年生産魚(山口、36ヶ月齢)の性別不明17尾(平均体長: 242 ± 9 [SD] mm)を用いて、10月にバイオプシーを実施した(図1)。麻酔(300ppmの2-

フェノキシエタノール)下で、供試個体の腹部を約 2cm 切開し、片側の生殖腺から直径 5mm ほどの組織片を採取した。組織採取後の個体は、切開部を縫合した後、飼育水槽に収容して麻酔から回復させた。

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、Kulzer 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 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。

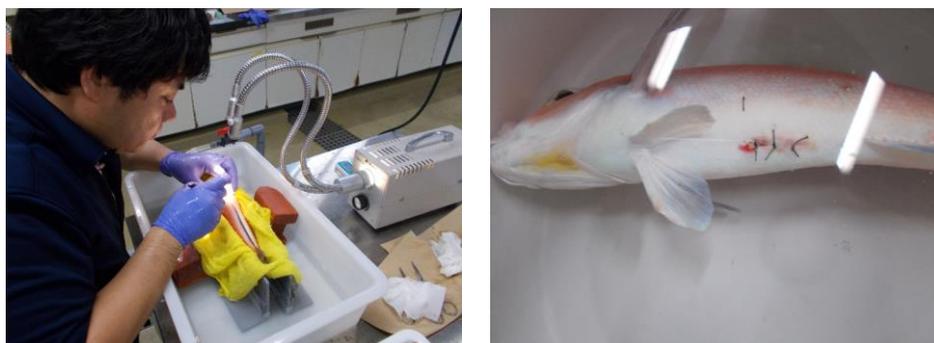


図 1 バイオプシーの様子 (左) およびバイオプシー後の個体の様子 (右)

3) 養成した親魚を用いた人工授精

雌個体として、「1) 人工生産魚および天然魚の養成試験」で使用した水槽①の雌 6 尾 (2013 年生産魚 5 尾および 2018 年に入手した天然魚 1 尾: ホルモン非投与群) および水槽②の雌 6 尾 (2016 年生産魚: ホルモン投与群) を使用した。また、雄個体として柏崎沖で漁獲された天然魚 1 尾 (体重: 1,100g) を使用し、漁獲された日に精巢を摘出し、精子抽出液を作製した。なお、精子抽出液は、試作マニュアルに従い、人工授精の実施前に精子活性を確認した。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。2020 年 10 月 14 日、ホルモン投与群の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 (1 日後の卵でホルモン投与群の人工授精 1 回目を、2 日後の卵でホルモン投与群の人工授精 2 回目を実施)。また、ホルモン非投与群は、人工授精実施日 (2020 年 10 月 16 日) に水槽から取り上げ、採卵した (ホルモン非投与群の人工授精を実施)。採取した卵を洗卵した後、精子抽出液を加えて受精させた。

【研究成果の概要】

1) 人工生産魚および天然魚を用いた親魚養成試験

[水槽①] 試験開始当日から 10 月中旬まで、ほぼ毎日産卵が認められたが (図 2)、いずれ

も未受精卵（恐らく雄が機能していなかった）であった。1日の産卵数の最大は61,000粒であった。

[水槽②] 試験期間中に1回の産卵しか認められなかった（2020年9月28日、僅かの未受精卵）。

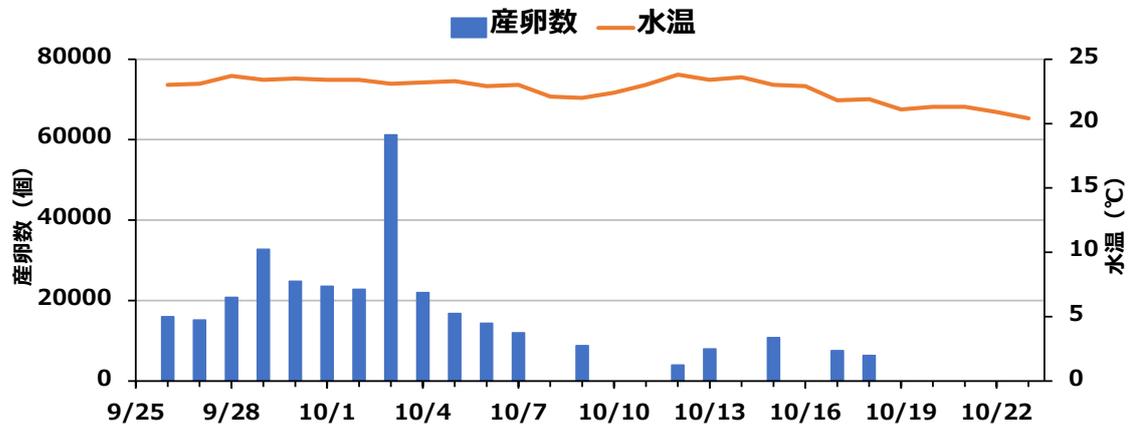


図2 人工生産魚（水槽①）の産卵数および水温の推移

注：10/16に、人工授精のための採卵を実施したので、10/16の産卵数は0である。

2) アカアマダイ人工生産魚の性分化の確認

2019年生産魚（山口）における生殖腺の組織学的観察の結果、平均体長 34 ± 2 (SD、N=20、約2ヶ月齢) mm および平均体長 56 ± 9 (SD、N=26、約3ヶ月齢) mm の個体では、生殖細胞が認められ（図3A）、観察した全個体が未分化であった。一方、平均体長 79 ± 8 (SD、N=30、約4ヶ月齢) mm の個体では、卵母細胞が認められ（図3B）、観察した全個体が雌であった。なお、生殖腺を採取した平均体長約100mm以上の個体でも、卵母細胞が認められ、観察した全個体が雌であった。以上の結果から、アカアマダイの人工生産魚は、体長70mm前後で雌に分化することが分かった。

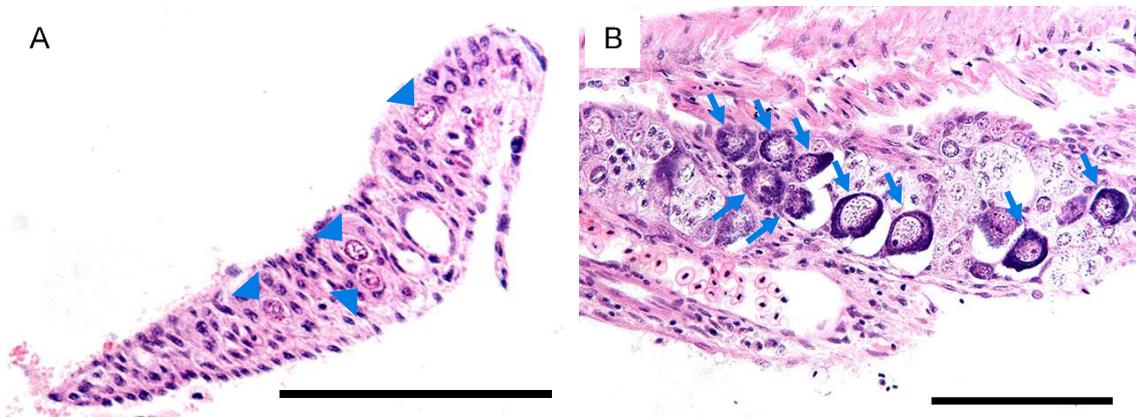


図3 アカアマダイの生殖腺組織の例（Aは体長42mm、Bは体長74mmの個体）
矢尻は生殖細胞、矢印は卵母細胞、スケールバーは0.1mm

バイオペシーによって採取した生殖腺組織片の組織学的観察の結果、観察した全個体が雌であった。これらの個体を継続飼育し、約1年後に再度バイオペシーを実施して、性転換について検証する。なお、同じ2017年生産魚（山口、36ヶ月齢）において、バイオペシーを実施しなかった17尾は全て雌であり、飼育していた2017年生産魚は、この時点で全個体（34尾）が雌だった。

3) 養成した親魚を用いた人工授精

表1に、3回実施した人工授精の成績を示す。3回とも受精卵を得ることができ、一番高い受精率は95%だった（ホルモン投与群2回目）。しかし、3回ともふ化率が非常に低かった。また、ホルモン非投与群（養成試験で自然採卵していた個体群）は、卵質が悪く（過熟卵が多い）、受精率も一番低い値（4%）であった。ホルモン投与群においても、1回目では過熟卵が見られた。これらのことから、養成した雌では一度卵を搾出（過熟卵の排除）した後にホルモンを投与した方が、良質な卵を得られる可能性が推察された。

表1 3回の人工授精の成績（採卵した卵量、受精率およびふ化率）

	卵量（粒）	受精率（浮上卵率）（%）	ふ化率（%）
ホルモン投与群1回目	28,000	23	<1
ホルモン投与群2回目	39,600	95	3.5
ホルモン非投与群	62,000	4	受精率が低い ため廃棄

【次年度以降に向けた提言】

親魚養成に関して3年連続で自然産卵を確認し、再現性が認められた。しかし、本年度も受精卵は得られなかった。本年度、新たに大型の天然魚を入手したので、飼育条件（主に水温および巣穴の配置）を再検討した上で雄候補の親魚として養成し、産卵試験を実施する。

また、昨年度までの結果と同様に、人工生産魚の性比が雌に大きく偏っていた。この偏りが種苗生産に由来するならば、体長70mmまでの環境要因が影響を及ぼしていると推察された。次年度、養成した親魚を用いた人工授精により良質な仔魚が得られた場合は、仔稚魚の飼育条件（主に水温）を変化させて、雄の出現率が上昇するか調査する。

本年度、養成した親魚を用いた人工授精において初めて受精卵を得ることができたが、ふ化率が非常に低かった。この原因が卵質の問題なのか、人工授精の操作や受精卵の取り扱いの問題なのかは不明である。次年度はふ化率を向上させることが目標である。

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】

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) 天然魚の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 水産資源研究所と共同実施）

産卵期（9～10月）に新潟県長岡市寺泊および富山県富山市沖で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。今年度の新潟採卵では、新型コロナウイルスの影響で漁船に乗れなかったことから、寺泊市場に水揚げされた鮮魚を用いて人工授精を行なった。富山採卵では例年と同様に刺網漁に同行し、船上での人工授精を実施した。

- 2) 種苗生産試験

3.6 m³キューロタンク（水量 3 m³）1 水槽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、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）とおとひめ（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。

- 3) 親魚養成による受精卵確保の試み（新潟市水族館マリニピア日本海と共同実施）

コンクリート製 25 m³（八角形）の水槽を使用して、富山県で刺網と釣りで採集したアカムツの天然魚を養成した。給餌は週 4～7 回とし、ホタルイカ、シラエビ、オキアミ、マイワシ、カタクチイワシおよびマアジに栄養添加剤（パラミックス TU、株式会社餌料研究所）を添加して給餌した。採卵槽に設置した採卵ネットに飼育水槽からオーバーフローした飼育水を受け、集卵した。

- 4) メスを増やす飼育条件の探索

- ① 仔魚期の低水温（21℃）飼育（新潟市水族館マリニピア日本海は高水温（26℃）飼育を実施）

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 年度は着底期前後から水温を 15℃前後まで低下させて飼育したが、メスは増えなかった。令和 2 年度は、令和元年度に 50 日齢まで低水温（約 21℃）で飼育したアカムツの性別判定を生殖腺の観察により行なった。

② estradiol-17β 添加配合飼料の給餌

女性ホルモンである estradiol-17β をエタノールに溶かしてから、配合飼料に添加し、稚魚に給餌することで、育成魚のオス化を防ぐことを目的とする。

ホルモンを添加していない餌を給餌する対照区、ホルモンを添加した餌を試験開始時から給餌するホルモン給餌区、試験開始から約 3 ヶ月後からホルモン餌を給餌するホルモン短期給餌区の 3 つの試験区を設定した。各区につき 500L 水槽 2 つを用意し、令和 2 年度に生産した稚魚（全長約 43mm）を各水槽に 60 尾収容し、試験を開始した。

5) 水温別精子活性試験（新潟市水族館マリニピア日本海、水産研究・教育機構 水産資源研究所と共同実施）

アカムツの精子活性が高くなる水温範囲を明らかにすることを目的とし、5 つの水温（14℃、18℃、22℃、26℃、30℃）において精子の運動活性を調べた。人工精漿で 80 倍に希釈したアカムツの精子を、各区の水温に調温した 450mM NaCl 溶液で 5 倍希釈し、最終希釈倍率を 400 倍とした。希釈精子を攪拌してから直ちにスライドグラスに滴下し、顕微鏡下で精子の動きを観察し、動画を撮影した。後日記録した映像を観察し、太田ら（1995）に従い、運動精子比を以下の 0～5+ の 6 段階に区分し、motility score を算出した。5+：75%以上の精子が運動を行っている。4+：50～74%の精子が運動、3+：25～49%が運動、2+：24%以下が運動、1+：極めて少数の精子が運動、0：全ての精子が運動を行わない。各水温区について 3 試行とし、1 試行あたり 3 視野の motility score を算出した。

参考文献：太田 博巳，楠田 聡，工藤 智（1995）シシヤモ精巣精子の運動活性. 日本水産学会誌, 61(1), 7-12.

6) 標識試験

① 外部標識試験

アカムツ稚魚の有効な外部標識方法を明らかにすることを目的とした。腹鰭除去区、腹鰭切除区、リボンタグ区および対照区（麻酔のみ）を設定し、令和元年 6 月に平成 30 年度産稚魚（全長約 58mm）に麻酔をしてから標識した。

各区につき 500L 水槽 2 つを用意し、各水槽に 50 尾収容した。370 日間飼育し、令和 2 年度に全数を取り上げ、標識率と鰭の再生状況を調べた。

② 内部標識試験（アリザリン・コンプレクソン（ALC）による耳石の標識）

アカムツ稚魚の ALC 耳石標識に必要な ALC 溶液の濃度と浸漬時間を明らかにすることを目的とした。試験には、令和 2 年度に生産したアカムツ稚魚（全長約 43mm）を使用した。4 つの ALC 濃度（0mg/L、15mg/L、30mg/L、50mg/L）と 2 つの浸漬時間（12h、24h）を設定した。12L のバケツに ALC 溶液 8L を入れ、稚魚を 15 尾収容した。各試験区につ

き 2 試行とした。試験に用いた稚魚は、ALC 溶液への浸漬終了後に別の水槽に移し、1 週間後まで生残を調べ、全数を取り上げて 70%エタノールで固定した。

7) 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調べた。

8) 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

寺泊での鮮魚を用いた人工授精について、9 月 21 日と 29 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、38,601~179,200 個、浮上卵率は 1~90%、浮上卵数に対するふ化率は、0~35%であった。9 月 21 日の卵は、途中で発生が停止し、全く孵化しなかった。9 月 29 日に得た受精卵から孵化した仔魚の全て (41,650 尾) を種苗生産に用いた。

富山市沖の結果概要を表 2 に示した。採卵は、9 月 14 日、15 日、16 日、17 日、29 日、10 月 1 日、2 日および 18 日の計 8 回行った。その結果、受精卵が得られたのは、9 月 16 日の 1 回であった。採卵数は、22,500~143,250 個、浮上卵率は 6~31%、浮上卵数に対するふ化率は、16~33%であった。合計 11,156 尾の仔魚がふ化したが、孵化率が低く数も少ないため、種苗生産に用いるには適さないと判断した。その後良質な受精卵は得られず、今年度は富山産親魚からの種苗生産は実施できなかった。

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 3,754 尾、生残率は 9.0%、稚魚密度は、1,251 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に至らず、2 年連続での目標達成とはならなかった。

3) 親魚養成による受精卵確保の試み

今年度初めて水槽内でアカムツに自然産卵させることに成功した（産卵時の親魚の尾数 9~10 尾）。8 月 29 日に 6,800 粒、9 月 1 日に 300 粒、10 月 20 日に 38,250 粒（浮上卵：29,700 粒、沈下卵：8,550 粒）の卵が得られた。受精卵もあったと考えられるが、全て卵発生が途中で停止し、孵化仔魚を得ることはできなかった。

4) メスを増やす飼育条件の探索

① 仔魚期の低水温（21℃）飼育

令和元年度の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。令和 3 年 1 月 13 日に 60 尾

(全長：96.9 ± 8.4mm、75.8 ± 6.8g)を解剖し、生殖腺を観察して性別の判定を行なった結果、全ての個体がオスであった。したがって、受精から着底期までの水温を低くしてもメスは増やせないことが示唆された。

②estradiol-17β添加配合飼料の給餌

令和3年度の冬まで給餌試験を継続し、全数を取り上げる。解剖して生殖腺の観察により性別を判定し、estradiol-17βの経口投与により、メスが増えるか検証する。

5) 水温別精子活性試験

水温別の精子活性 (Motility Score) を図1に示した。全ての水温区において精子の運動が確認されたが、活性は18～26℃の範囲で高くなる傾向がみられた。これは、アカムツの分布水深が産卵期に浅くなることを反映していると考えられる。

6) 標識試験

①外部標識試験

リボンタグの標識率を図2に示した。腹鰭カット区と腹鰭抜去区では、標識の判別レベルを、「判別不可能」、「よく見たら判別可能」、「一目で判別可能」の3段階に分け、その出現頻度を図3に示した。また、鰭の再生率(切除鰭/無切除鰭×100)を算出し、図4に示した。

リボンタグは、約90%以上が脱落した。腹鰭カット区と腹鰭抜去区の標識を判別できる個体の割合は、それぞれ約60～70%、90%以上であった。鰭の再生率は、腹鰭カット区は70%以上、腹鰭抜去区は0～90%であった。鰭が80%以上再生すると判別ができない個体が出ることが示唆された。以上の結果より、アカムツの外部標識には腹鰭抜去が適していると考えられる。

②内部標識試験(アリザリン・コンプレクソン(ALC)による耳石の標識)

令和2年度に生産した稚魚を用いて、上述の方法で標識試験を行なった。耳石の摘出と染色レベルの判定は来年度に実施し、データを取りまとめる。

7) 形態異常の把握

形態異常の出現頻度を図4に示した。頭部陥没が31%、体幹部異常が86%、口部異常が17%、鰓蓋欠損が1%、鼻孔隔壁欠損が4%であった。

8) 水槽の色および照度が稚魚の摂餌と成長に及ぼす影響

今年度は計画通りに試験を実施することができなかった。来年度に実験を実施し、結果をまとめる。

9) 漁獲実態調査

市場調査を令和2年4月～令和3年1月に107回行った。測定した富山産のアカムツ1,987尾の全長組成を図5に示した。その結果、漁獲の中心は、全長20～30cm台であった。2020年の富山県のアカムツ漁獲量は、18.5tであった。

令和2年4月～令和3年1月に鼻孔隔壁欠損のある放流魚が5尾見つかった。

【次年度に向けた提言】

天然魚の人工授精に依存した採卵だと、受精卵を安定的に確保するのは容易でないことが改めて露呈した。今年度は養成天然親魚が産卵したが、孵化しなかったことから、来年度は養成親魚から採卵し、種苗生産できるように、飼育条件や卵管理の方法を改善する。

人工育成魚がオス化する問題を仔稚魚期の水温の調整により解決することはできなかつたため、光など別の条件についても検討する必要がある。また、ホルモン投与によるメス作成技術を開発する必要がある。

表 1. 新潟県長岡市寺泊の人工授精概要

採卵日	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21日	318	286	43,401	43,400	58%	0	0%	
9月21日	315	286	38,601	38,600	67%	0	0%	
9月21日	326	286	88,001	88,000	77%	0	0%	
9月29日	358	306	67,200	60,800	90%	16,150	27%	1-1
9月29日	357	319	131,400	104,200	79%	5,000	5%	1-1
9月29日	314	319	85,200	18,600	22%	1,500	8%	1-1
9月29日	353	319	42,600	600	1%	0	0%	
9月29日	423	319	179,200	43,000	24%	0	0%	
9月29日	324	271	76,600	600	1%	0	0%	
9月29日	334	271	127,350	53,700	42%	19,000	35%	1-1
合計			879,552	451,500		41,650		

表 2. 富山市沖の人工授精概要

採卵日	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16日	354	222	31,300	9,600	31%	3,000	31%	生産に不適と判断
9月16日	263	333	68,900	7,600	11%	1,333	18%	
9月16日	266	305	95,000	7,400	8%	2,425	33%	
9月16日	315	302	143,250	12,500	9%	3,233	26%	
9月16日	300	321	112,700	7,300	6%	1,165	16%	
9月16日	254	333	22,500	2,100	9%	廃棄	-	
合計			473,650	46,500		11,156		

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
1-1	新潟	3	41,650	3,754	9.0	1,251/m ³

生産稚魚数、生残率および稚魚密度は、120日齢時（約4cm前後）の値を算出。

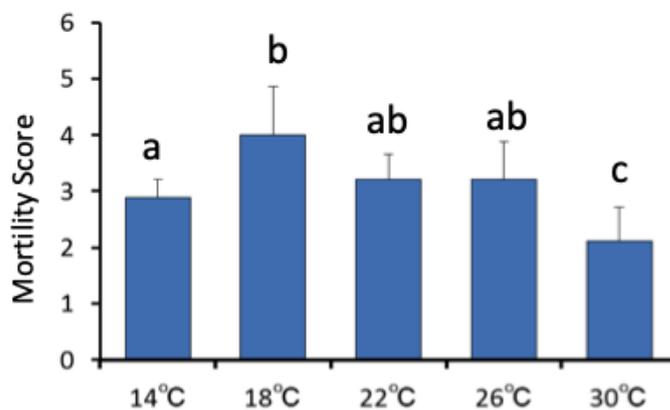


図 1. 水温別の精子活性 (Motility Score)

異なるアルファベットは、水温区間に有意な差があることを示す (GLM, Tukey's test, $P < 0.05$)。

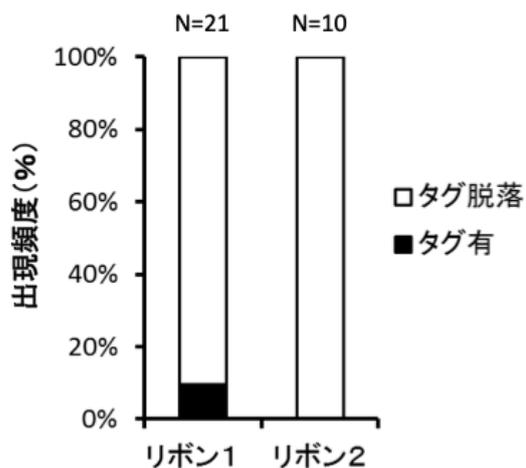


図 2. リボンタグ区の水槽別の標識率

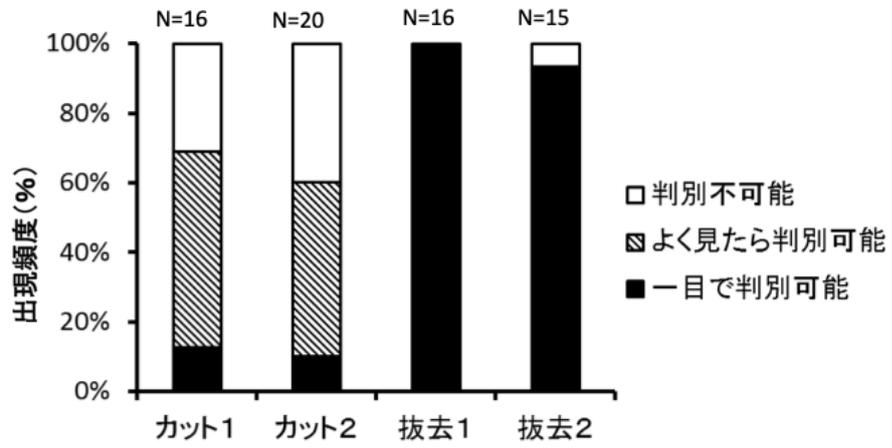


図 3. 腹鰭カット区と腹鰭抜去区の水槽別の標識率

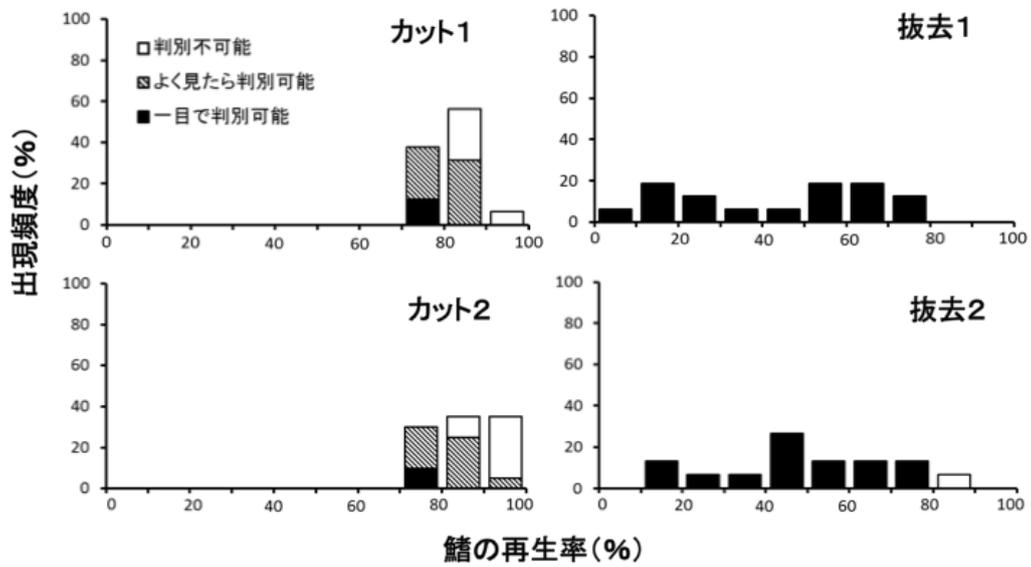


図 4. 腹鰭カット区と腹鰭抜去区の鰭の水槽別の再生率

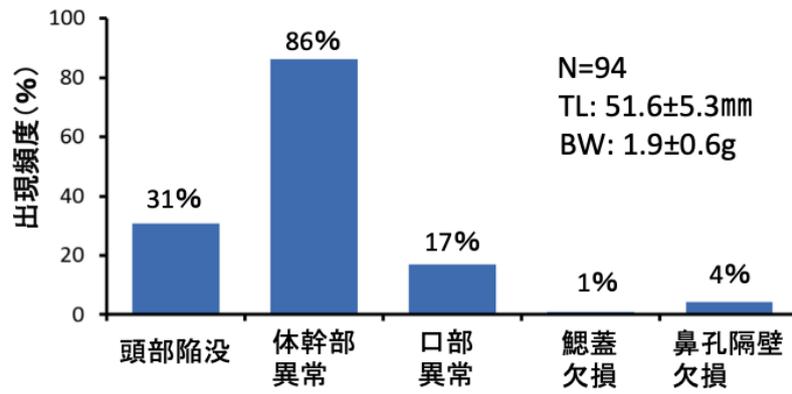


図5. 形態異常の出現頻度

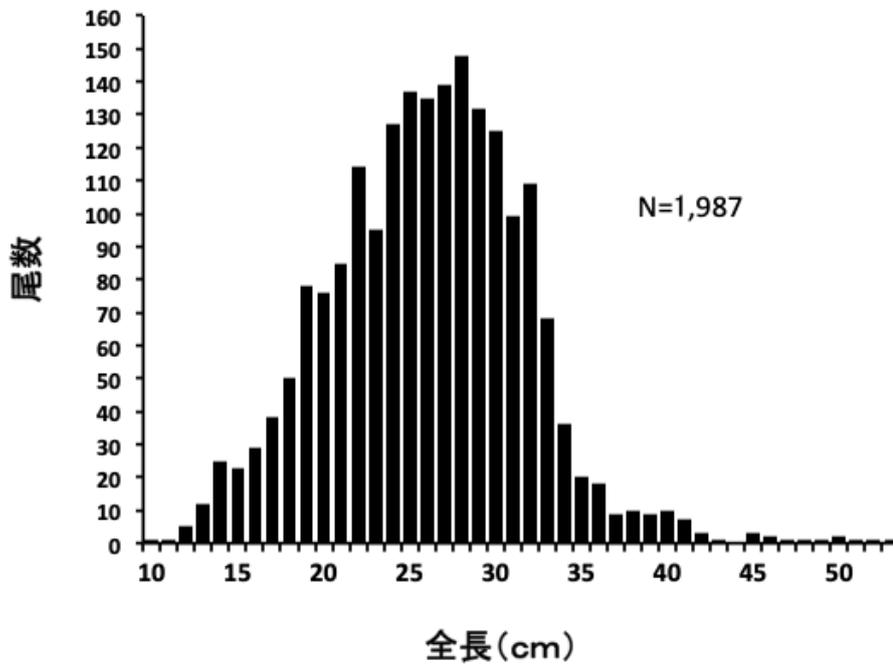


図6. 令和2年4月～令和3年1月に測定した富山県産アカムツの全長組成

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

新潟市水族館マリンピア日本海

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。本年度は、生産魚の雄化により、雌の親魚養成技術の開発に必要な雌個体の入手が困難な状況にあることから、雌の生産技術開発とともに、天然魚を用いた雌の親魚養成を試みた。

【方法】

- 1) 新潟県長岡市寺泊での人工採卵を9月に計3回実施した（水産研究・教育機構 水産資源研究所新潟庁舎、富山県農林水産総合技術センター水産研究所と共同実施）。刺し網で漁獲された天然魚（鮮魚）を用いた乾導法により人工授精を行った。鮮魚は、漁獲直後に保冷容器へ入れ、低温で保管して港まで輸送した。
- 2) 人工生産魚の成熟状況を調べるため、6歳になる人工生産魚計66個体の生物精密測定を行った。雌雄の判定、全長、体長の測定および体重、生殖腺重量の秤量の5項目について実施し、生殖腺重量指数と肥満度を算出した。
- 3) 育成水温がアカムツの性比に及ぼす影響を検証するため、ふ化0日齢～50日齢を水温約21℃（富山県農林水産総合技術センター水産研究所が担当）、約26℃（新潟市水族館マリンピア日本海が担当）で育成した人工生産魚の性比判定を実施した。21℃試験区の60個体、26℃試験区の37個体について、生殖腺を摘出し、目視による雌雄判別を行った。
- 4) 雌を生産するための試験として、仔魚期の光波長が性の決定に影響するかを調べるため、光波長別生産試験を行った。赤色光、青+緑色光の2試験区で仔魚の育成を実施した。赤色光は、魚の認識しにくい光波長とされていることから、光がストレスになっている可能性を考慮し、ストレスの無い光環境として設定した。青+緑色光は、光の三原色のうち、天然海域で仔魚が分布するとされる水深20～40mに届く光波長のため、天然の光条件に合わせた光環境として設定した。
- 5) 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、富山県滑川市で、釣りで漁獲された親魚を対象に5月に1回実施した（富山県農林水産総合技術センター水産研究所と共同実施）。捕獲した天然魚は、新潟まで輸送後、水族館の丸型水槽（FRP製、水量2m³）で飼育試験を開始した。飼育環境は、生息環境に合わせ

るため水槽周囲を遮光して照度を下げ、水温は、繁殖期以外では約 12℃、繁殖期となる夏～秋季は、浅所に移動する習性を考慮して約 18℃に設定した。

【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 15 日、9 月 21 日、9 月 29 日の計 3 回行った。今年度は、新型コロナウイルスの影響で乗船ができず、陸上で鮮魚を用い、16 ペアで人工受精を実施した。採卵数は 1,858,242 粒、浮上卵数は 741,148 粒、ふ化仔魚数は 193,507 個体、浮上卵率 $は 1\sim 90\%$ 、浮上卵数に対するふ化率は $0\sim 79\%$ であった。鮮魚を用いた人工授精でも受精卵の入手は可能であったが、活魚由来の受精卵に比べるとふ化率が低下する傾向が示された。
- 2) 人工生産魚の成熟状況の解析には 66 個体 (6 歳魚) を用いた。これらの 2019 年 12 月～2020 年 11 月までの飼育条件は、水量 15m³、水温 12.6 ± 0.3℃、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。得られた標本の生物精密測定の結果は表 2 の通りである。標本の全長は、192～267mm (平均 ± 標準偏差 : 222.3 ± 16.6mm)、体長は 153～228 mm (187.7 ± 17.3mm)、体重は 127.5～338.0 g (199.0 ± 41.8g) であった。性別は雄 66 個体、雌 0 個体で、雄の比率が 100%であったため、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 0.18～3.21 (1.50) であった。
- 3) ふ化 0 日齢～50 日齢までの育成水温が性比に及ぼす影響を検証するため、21℃低水温区 (21.2 ± 0.6℃) および 26℃高水温区 (26.2 ± 0.2℃) で育成した 1 歳 4 か月齢魚について性比判定を実施した。低水温区の 60 個体 (全長 : 96.91 ± 8.38mm) では雄が 100%、高水温区の 37 個体 (全長 : 83.73 ± 6.87mm) では 8 個体が雌雄不明であったものの、判定が可能であった 29 個体は雄であり、雄の比率が高い結果となった。水温がアカムツ種苗の性比に及ぼす影響が低いと考えられる。
- 4) 水槽の周囲を遮光ネットで覆い、暗時の水面照度が 0.05lux 以下になるようにし、赤色光の水面照度は 33.6lux、青+緑色光の水面照度は 32.0lux にした。赤色光では、最長 14 日齢までしか生存しなかった。青+緑色光では、稚魚期まで生存した。赤色光の 14 日齢までの水温は 24.8 ± 0.2℃、青+緑色光の稚魚期までの水温は 24.6 ± 0.2℃であった。赤色光で生産した仔魚は成長不良であり、赤色光は魚の認識しにくい波長とされているため、餌が認識できず摂餌不良となっていた可能性が考えられた。
- 5) 天然魚の捕獲は、5 月 29 日に富山県滑川市で行った。捕獲した成魚 1 個体 (全長 209mm、体長 172mm、体重 151g) を 7 月 8 日に新潟まで輸送し、水族館の施設内で飼育試験を開始した。試験は 7 月 8 日～10 月 19 日までの 102 日間行った。水槽は、周囲を遮光ネットで囲い、水面照度を 0.02LUX とした。水温は、7 月 8 日～8 月 23 日は 11.7 ± 0.1℃、8 月 24 日から水温をゆっくりと上昇させ、8 月 31～10 月 9 日は水温 18.0 ± 0.2℃で飼育した。試験魚の解剖の結果、雄であったことが判明し、今年度は雌の親魚養成試験

は実施できなかった。

【次年度以降に向けた提言】

今年度は、新型コロナウイルスの影響で、船上での活魚による人工授精ができなかった。陸上での鮮魚を用いた人工授精を実施したが、卵発生が途中で止まりふ化しない例が6例みられたため、鮮魚を用いた場合では卵質が低下する可能性が示唆された。新型コロナウイルスの影響で活魚を用いた人工授精ができない場合に備え、活魚で輸送する簡易的な方法や鮮魚の輸送時の水温管理などを検討する必要がある。水温別試験において、低水温区(21℃)、高水温区(26℃)ともに雌の生産には至らなかった。次年度は、水温以外の条件での生産試験を検討する必要がある。波長別生産試験において、青+緑色光下での生産魚が得られており、次年度、波長が性分化に与える影響を検証する。判定時のサイズが小さいと雌雄不明の個体も多くみられるため、判定には生殖腺がより発達し観察しやすくなる全長130mm以上の個体が望ましい。雌の成熟条件試験に用いるため天然成熟個体の確保を試みたが、入手できなかった。捕獲の方法や時期、輸送方法について検討を進め、次年度再度入手を試みる。

表1. 新潟県長岡市寺泊での人工授精結果

受精月日	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
	♀	♂		総卵数	沈下卵数	浮上卵数	浮上卵率			
9月15日	355	298	24.2	159,088	102,968	56,120	35%	27.4~27.7	7,808	14%
9月15日	344	298	22.0	244,518	163,012	81,506	33%	27.4~27.7	14,239	17%
9月15日	383	298	22.0	70,380	27,540	42,840	61%	27.4~27.7	15,570	36%
9月15日	365	275	21.4	214,866	122,484	92,382	43%	27.4~27.7	72,930	79%
9月15日	304	275	21.0	114,720	97,920	16,800	15%	-	卵計数後廃棄	-
9月21日	318	286	21.3	75,200	31,800	43,400	58%	20.8~23.8	0	0%
9月21日	315	286	19.0	57,800	19,200	38,600	67%	21.0~23.8	0	0%
9月21日	326	286	19.6	114,200	26,200	88,000	77%	21.0~23.8	0	0%
9月29日	358	306	23.2	67,200	6,400	60,800	90%	23.2~24.2	16,150	27%
9月29日	357	319	23.2	131,400	27,200	104,200	79%	23.2~24.2	5,000	5%
9月29日	314	319	23.2	85,200	66,600	18,600	22%	23.2~24.2	1,500	8%
9月29日	353	319	23.5	42,600	42,000	600	1%	23.2~24.2	0	0%
9月29日	423	319	21.7	179,200	136,200	43,000	24%	23.2~24.2	0	0%
9月29日	324	271	21.6	76,600	76,000	600	1%	23.2~24.2	0	0%
9月29日	334	271	21.3	127,350	73,650	53,700	42%	23.2~24.2	19,000	35%
9月29日	299	222	23.1	97,920	未計数	未計数	-	24.8~25.0	41,310	-

表 2. 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
♂	66	100	192~267 (222.3)	153~228 (187.7)	127.5~338.0 (199.0)	0.23~7.11 (2.9)	0.18~3.21 (1.50)	13.46~23.77 (17.80)
♀	0	0	-	-	-	-	-	-

括弧内は、各項目の平均値を示す

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

2018年度の生産では孵化後9日以降に仔稚魚の大量減耗が起きた。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、また、人工光への過敏な反応が観察されたため、①仔稚魚の飼育密度および②光条件が大量減耗の主な要因であると推察された。そこで、2019年度は、①仔稚魚の飼育密度および②光条件の2点について、条件を再検討したところ、ふ化後24日目の稚魚期の歩留まりは45.7%となり、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。2020年度は改善が認められたこれら2点について、2019年度と同様に以下の条件で再現性の確認を行った。種苗生産は2020年8月2日に親魚養成技術の検討の過程で得られた受精卵9,200粒を種苗生産槽(500Lパンライト水槽)に収容して開始した。

①仔稚魚の飼育密度

孵化後7日目に種苗生産槽1基で飼育していた仔魚を2基の水槽へ分割した。収容密度は2,500尾/500Lとした。

②光条件

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。種苗生産槽の水面での照度が200~2,000Luxの範囲に収まるよう、水槽上面に遮光ネット(遮光率70%)を設置して光量を調整した。

2) 親魚養成技術の検討

2019年度検討を行った①親魚の産卵時刻を避ける給餌を2020年度も行い、結果の再現性を確認した。また、2019年度、異なる年齢の親魚から成るグループを1つの水槽に集め、集卵を試みたところ、産卵の頻度や卵質が不安定になった。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推察されたため、②親魚候補の体サイズについて検討を行った。親魚には、柏崎市周辺で漁獲された天然魚を用いた。2008年秋~2016年10月に入手した体長 $28.9 \pm 2.1\text{cm}$ (平均 ± 標準偏差 n=9)の大型群と2018年5月~2019年10月に入手した体長 $22.6 \pm 0.6\text{cm}$ (平均 ± 標準偏差 n=9)の小型群の2

つのグループを親魚候補として養成し、それぞれのグループから採卵を試みた。産卵の観察期間は2020年7月7日から9月7日の2か月間とし、それぞれのグループにおける産卵状況について、総産卵数、浮上卵率および浮上卵発生率を調べた。

3) 種苗放流技術の検討

2020年度は、a) 背びれ第一棘条カット、b) 背びれ棘条抜去、c) 腹びれカットの3つの方法で標識した個体およびd) 鼻孔隔皮の欠損を標識とし、これら4標識の有効性について検討を行った。魚体への標識は2020年12月23日に実施した。供試魚の全長および体重はそれぞれ、 100.2 ± 8.4 mm、 22.2 ± 6.2 g (平均 \pm 標準偏差、n=10) であった。a) およびc) については、それぞれ18尾ずつ、解剖バサミを用いて、背びれ第1棘条および腹びれを切除した。b) は20尾について、背びれの第1および第2棘条を鉗子にて抜去した。また、d) については、a) ~c) の標識を施した個体の孔隔皮の欠損率を求めた。a) ~c) の標識を施した個体について、500L水槽1基に集めて飼育を行い、それぞれの経過について観察を行った。

【研究成果の概要】

1) 種苗生産技術の確立

①飼育密度と②光条件の2点について、2019年度の再現性の確認を行った。①では、2019年度同様に2,500尾/500Lで飼育したところ、2018年度にみられた孵化後9日目に起こった大量減耗はなく、飼育密度について、再現性を確認することができた。②では、2019年度同様に人工光を使用せず自然光のみを使用したところ、仔魚が水面に凝集し、奔走する異常行動は見られず、光条件についても結果の再現性を確認することができた。2020年度の種苗生産では生産尾数約3,300尾、ふ化後27目の稚魚期の歩留まりは36%であった。

2) 親魚養成技術の検討

産卵観察期間における供試魚の総産卵数および浮上卵率を図1に示す。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、いずれの飼育群でも自然産卵による受精卵を2か月間にわたり得ることができた。小型群からは1度の産卵で平均170,000個の卵が得られ、平均の上卵率および浮上卵発生率はそれぞれ約88%および約99%であった。大型群からは1度の産卵で平均450,000個の卵が得られ、平均の上卵率および浮上卵発生率はそれぞれ約63%および約88%であった。総産卵数は大型群が多く、産卵頻度も高い結果になった。これは、親魚候補の天然魚の入手状況により、大型群(雌6、雄3個体：放精あり)および小型群(雌3、雄6個体：放精あり)の雌雄の割合が異なっていたことが原因であると考えられた。浮上卵率を比較すると、大型群では8月1日付近から低下が認められたのに対して、小型群は安定して高く、2019年度より良質な卵を得ることが出来た。大型群における早期の卵質低下の原因は、大型群で使用した個体は実証試験場で10年程度

飼育している個体も含まれていたため、加齢による生殖能力の低下などが考えられた。このことから、安定的に良質の卵を得るためには、年級と体サイズに近い個体を親魚候補として選抜することが有効と考えられた。

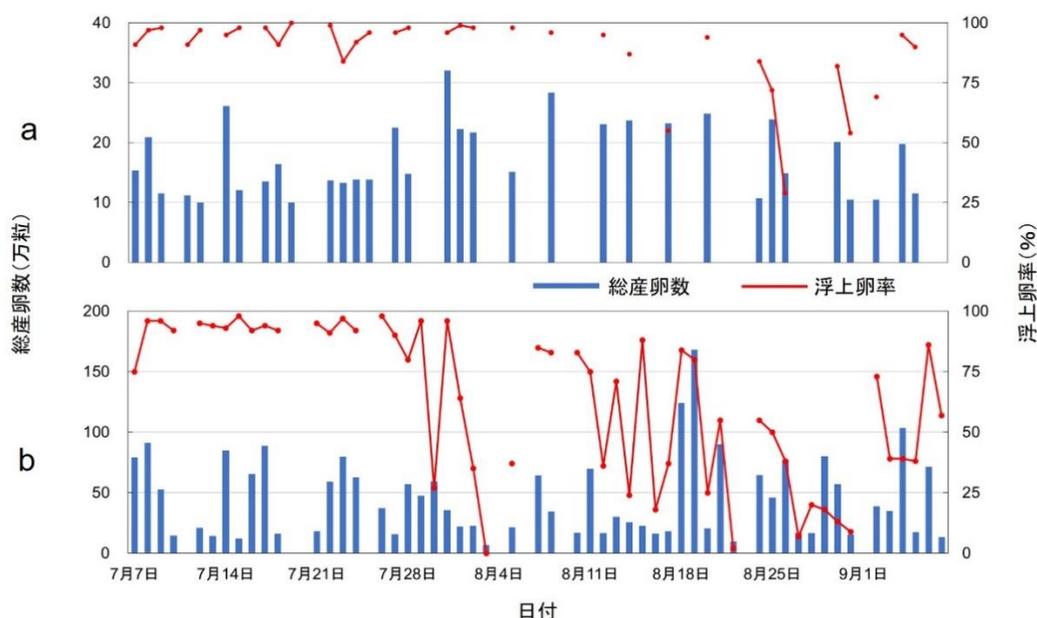


図1 産卵観察期間におけるヒゲソリダイの総産卵数および浮上卵率
(a：小型群、b：大型群)

3) 種苗放流技術の検討

4つの方法で標識した個体を飼育し、それぞれの標識の経過を観察した(図2 a~d)。2021年2月16日現在(処置後、56日)、標識のため切除された各ひれの再生は認められていない。d) 鼻孔隔皮の欠損率は約72%と昨年度(57%)より高い値を示した。鼻孔隔皮の欠損の有無による識別は、長期間にわたり人工種苗放流魚を追跡できることがマダイで報告されている(山崎1998)ため、ヒゲソリダイの標識としても有効であると推察される。なお、ヒゲソリダイの種苗生産における鼻孔隔皮の欠損率は年ごとにばらつきが認められたため、引き続き、種苗生産時の鼻孔隔皮の欠損率について把握するとともに原因を明らかにしていく必要がある。

2020年度は、全長および体重がそれぞれ $70 \pm 4\text{mm}$ 、 $7 \pm 1\text{g}$ (平均 ± 標準偏差、 $n=30$)に成長した種苗を、2020年10月7日(日齢65日)に3,300尾を放流した。放流場所は昨年度と同様に荒浜漁港(柏崎市)とした。また、2020年7月、10月、および11月に新潟漁協柏崎支所より過年度に放流したと思われる個体の再捕の連絡が6件あった。内訳は7月に2件(2尾)、10月に3件(7尾)、および11月に1件(1尾)であった。連絡のあった全ての個体で鼻孔隔皮の欠損が見られ、うち3尾について背びれ棘条の欠損がみられた(図3)。これらについては、背びれの棘条を切除し放流した2018年度生産魚である可能

性が考えられた。

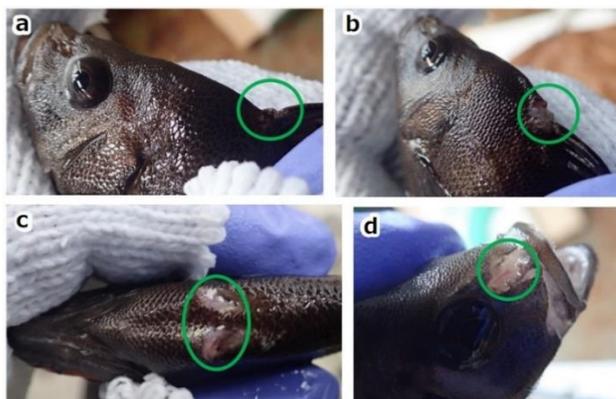


図2 検討した標識方法および鼻孔隔皮の欠損 (a:背びれ第一棘条カット、b:背びれ棘条抜去、c:腹びれカットおよび d: 鼻孔隔皮の欠損)

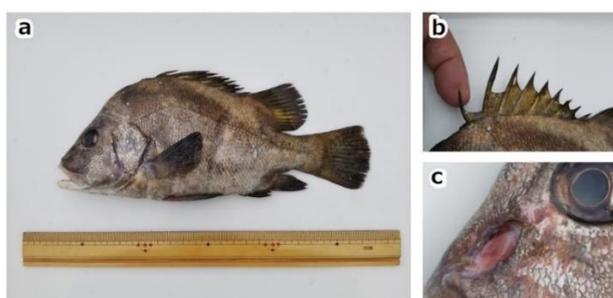


図3 放流魚と考えられる再捕個体
(a: 全体の様子、b: 棘条の様子、および c: 鼻孔隔皮の様子)

【次年度に向けた提言】

種苗生産技術の検討において、飼育密度および光条件について、結果の再現性を確認することが出来た。しかし、上述の結果は2回のみでの検討から得られたものであるため、次年度も引き続き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、年級と体サイズが近い群を用いたところ、安定した卵質の卵が得ることが出来た。また、本年度は、実施担当者を変更して種苗生産を行ったが、前年度と同程度の結果が得られたことから、本種苗生産方法の汎用性についても確認することが出来た。次年度はこれらを取りまとめ、種苗生産マニュアルを策定する。種苗放流技術の検討として、a) 背びれ第一棘条カット、b) 背びれ棘条抜去、c) 腹びれカット、d) 鼻孔隔皮の欠損した個体について、引き続き飼育を行い、それぞれの標識の経過を観察することでヒゲソリダイにおける有効な標識方法について検討する。また、鼻孔隔皮の欠損についても初期餌料にカイアシ類を加える等、対策を検討する。

参考文献

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.

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

福島県水産資源研究所

佐々木 つかさ

【目的】

ホシガレイは価格が高く、地域の特産種としてブランド化が可能で、高い費用対効果が期待されることから、新たな栽培対象種として栽培漁業への要望が高まっている。

本研究では、調温飼育した親魚からの採卵を行い、親魚飼育条件を明らかにする。また、国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所宮古庁舎より提供を受けた受精卵による飼育試験を行うことによって、稚魚の適正飼育条件を明らかにする。

【研究方法】

1) 調温飼育した親魚からの採卵

調温が可能な閉鎖循環式水槽（5 t 円形・4 基）で、①夏季の水温を 15℃以下（4～11 月の水温が 11～15℃）とした区と、②夏季の水温を 20℃以上（4～11 月の水温が 11→25→13℃）とした区の 2 試験区より親魚を飼育した。12 月以降は、2 試験区の水温が 11℃以下となるよう管理した。

2) 放流用種苗の生産

令和 2 年 1 月より飼育を開始し、令和 2 年 6 月の種苗放流試験に向け、種苗生産を行った。受精卵は、国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所宮古庁舎（以下、水研宮古）より提供を受けた。稚魚の飼育にあたっては、水研宮古の手法を参考に「24 時間照明」、「ワムシ高密度飼育」、「飼育初期の水温調節」について従来手法より変更して実施した（表 1）。

【研究成果の概要】

1) 調温飼育した親魚からの採卵

採卵は令和 3 年 1 月 7 日より開始。毎週 2 回の実施で 5 回行い、26 尾より 720 万粒の卵を得た（令和 3 年 1 月 21 日現在）。このことから、調温飼育した親魚より、量産に十分な数の受精卵が得られることが確認された。

2) 放流用種苗の生産

約 30 万尾のふ化仔魚を 3 回次に分け収容し、8 万尾の種苗を生産した（表 2）。一次飼育終了時における生残率は 42.8% となり、従来の生残率に比べ大きく向上した（表 3、図 1）。形態異常は平均 35.7% となり、内訳では体色異常（白化）が 48.1% を占めていた（表 4）。

【次年度に向けた提言】

今年度は、夏季に異なる水温で飼育管理した親魚から採卵した卵を大量に得ることがで

きたが、生産時期の都合により、各親魚から得られた稚魚の生残率や成長等が明らかになるのは次年度となる。この結果を踏まえて、次年度も卵質や親魚の状態の評価から、親魚の養成に適した水温を検討する必要がある。また、今年度の生産では、昨年度に引き続き従来に比べ高い生残率が得られた一方、体色異常（白化）を主とする形態異常が3割以上見られており、今後は形態異常の軽減についても検討していく必要がある。

表1 ホシガレイ飼育手法の比較

項目	新手法	従来手法
24時間照明	6～10日齢の間、 24時間照明あり (水面照度10～900Lx)	夜間照明なし
ワムシ高密度 給餌	20日齢まで止水 (ワムシ高密度飼育) (10個体/ml)	5～6日齢以降 注水あり
飼育初期の 水温調整	卵管理水温（10℃）から 6日齢までに 16℃となるように昇温する	卵管理水槽（10℃）から 4日齢までに12℃とし、 20～26日齢に15℃まで昇温する

表2 生産結果（R2年1月～R2年6月）

	試験区名	1回次	2回次	3回次	合計・平均
ふ化仔魚	ふ化日	1/20	1/20	2/12	-
	ふ化仔魚数（万尾）	11.5	10.8	7.0	29.3
一次生産 終了生産	一次生産 終了時日齢	64～65	65～66	49～50	-
	平均全長（mm±SD）	38.0±3.5	38.3±4.0	23.0±3.0	-
	計数結果（万尾）	4.2	5.3	3	12.5
	生残率（%）	36.7	49.2	43	42.8
二次生産 選別 終了生産	選別 実施日齢（日齢）	91～92	92～93	89～90	-
	計数結果（万尾）	2.7	3.9	1.7	8.3
	形態異常割合（%）	35.3	26.7	45.1	35.7
放流	放流 実施日齢（日齢）	133	134	111	-
	放流（万尾）	2.6	3.8	1.6	8
	平均全長（mm±SD）	77.5±10.2	79.6±10.0	61.3±8.9	72.8
	生残率（%）	22.6	35.2	22.9	26.9

表3 ホシガレイ飼育初期の生残率比較

実施期間	生産回数 (回)	生残率 (%)		
		平均±SD	最大値	最小値
平成19～21年度 *1	74	6.1±9.1	43.9 (25日齢)	0
平成30年度 *2	3	59.8±13.1	77.0 (80日齢)	45.1
平成31年度 *3	3	42.8±6.2	49.2 (66日齢)	36.7

*1 飼育期間は0日齢から最大86日齢まで。25日齢までに全滅した39回を含む。

*2 飼育期間は0日齢から最大81日齢まで。

*3 飼育期間は0日齢から最大66日齢まで。

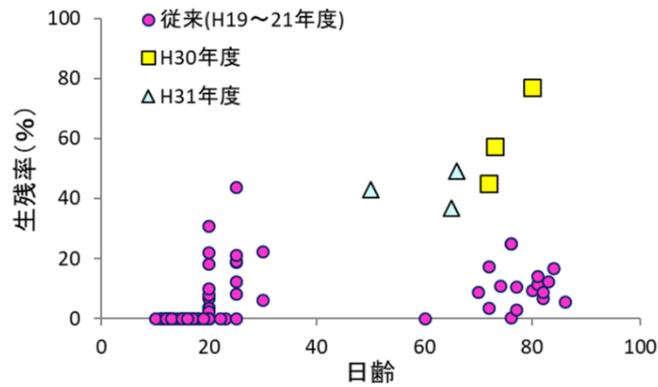


図1 ホシガレイ飼育初期の日齢と生残率
(すべての生残率は、ふ化仔魚尾数から算出した。)

表4 形態異常内訳

		1回次	2回次	3回次	平均
体色	白化	47.4	46.5	50.3	48.1
眼位	両面	14.5	16.2	4.2	11.6
	移行不全	23.7	26.3	31.5	27.1
その他	逆位	14.5	11.1	11.9	12.5
	その他	0.0	0.0	2.1	0.7

ウ ホシガレイの種苗生産技術等の開発

②三陸海域におけるホシガレイの種苗生産技術の開発

宮城県水産技術総合センター

上田 賢一・白石 一成・藤原 健

【目的】

三陸海域で漁獲されるホシガレイの種苗生産技術を確立するため、水産研究・教育機構の研究開発成果を活用して全長 8cm の種苗を安定して生産するための種苗生産・中間育成試験と（公財）宮城県水産振興協会への技術普及を行い、種苗生産技術の定着を図る。

【研究方法】

革新的技術開発・緊急展開事業において確立した低コストで大量に生産する技術体系（ワムシ培養管理型ほっとけ飼育、緑色 LED 光照射飼育）を活用して全長 8cm の種苗を安定して生産するための種苗生産・中間育成試験を行った。

【研究成果の概要】

（種苗生産）

水産研究・教育機構（宮古庁舎）が 2020 年 1 月 21 日及び同 24 日に人工授精した受精卵の提供を受けて当所及び宮城県水産振興協会において、「ワムシ培養管理型ほっとけ飼育」、「緑色 LED 光照射飼育試験」による種苗生産試験を開始した。「ワムシ培養管理型ほっとけ飼育」については、水産研究・教育機構のマニュアルに従い、問題なく飼育管理ができたことから、本年度も引き続き同様の飼育管理を実施して生産技術の定着を図った。「緑色 LED 光照射飼育試験」については、1.5t 水槽直上で 500lux になるように緑色 LED 光源を設置した試験区、ならびに蛍光灯を設置した対照区を設定し、5 月 12 日（日令 101 日）にそれぞれ約 3.5 千尾、約 3 千尾の稚魚を収容して試験を開始した。その後、放流サイズ（全長 8cm）を越えるまで飼育を継続した。

50 日間（日令 158）の試験の結果、試験開始時の飼育尾数は対照区 2,997 尾に対して LED 区 3,514 尾と 500 尾程多かったものの、試験終了時の全長は緑色 LED 光照射区（以下、LED 区）で 85.4mm、対照区で 84.0mm と LED 区が上回った（促進効果 1.6%）。なお、試験期間中の生残率は共に 99.3%と良好であった（図 1）。

(種苗放流)

宮城県水産技術総合センターにて 2019 年度に生産した種苗を用いて中間育成を行い、平均全長 8cm のホシガレイ種苗 12,820 尾を放流した。また、水産研究・教育機構（宮古庁舎）が同様に生産した種苗の提供を受けて各地区の漁業団体が中間育成を行い、平均全長 6～8cm のホシガレイ種苗 92,557 尾を放流した。2020 年には、合計 105,377 尾のホシガレイ種苗を県内各地に放流した（図 2）。

【次年度に向けて】

水産研究・教育機構の研究開発成果のうち、「ワムシ培養管理型ほっとけ飼育」については、問題なく飼育管理が実施できており、緑色 LED 光照射による飼育管理に向けて飼育を継続中である。

「緑色 LED 光照射飼育試験」においては、今後、試験区の条件について検討し、緑色 LED 光照射による成長促進効果を正確に把握することで、現場への普及を図る。光照射試験の後は、2021 年夏季から秋季にかけて、平均全長 8cm 以上での放流を目指す。

また併せて、組織としての生産技術定着のため、今後とも水産研究・教育機構（宮古庁舎）と連携しながら課題に取り組んでいく。

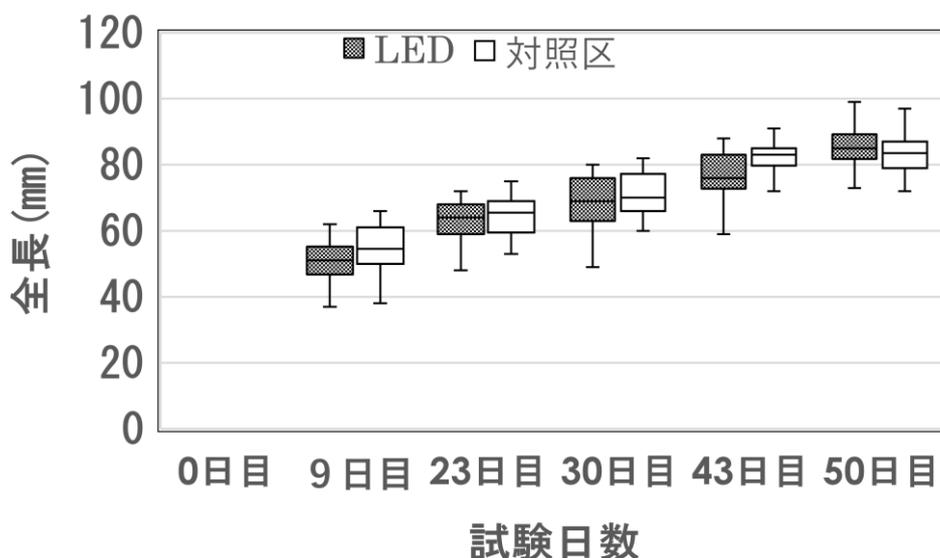


図 1 緑色 LED 光照射飼育における全長の推移

(箱ひげ図、最小値、第 1 四分位点、中央値、第 3 四分位点、最大値)

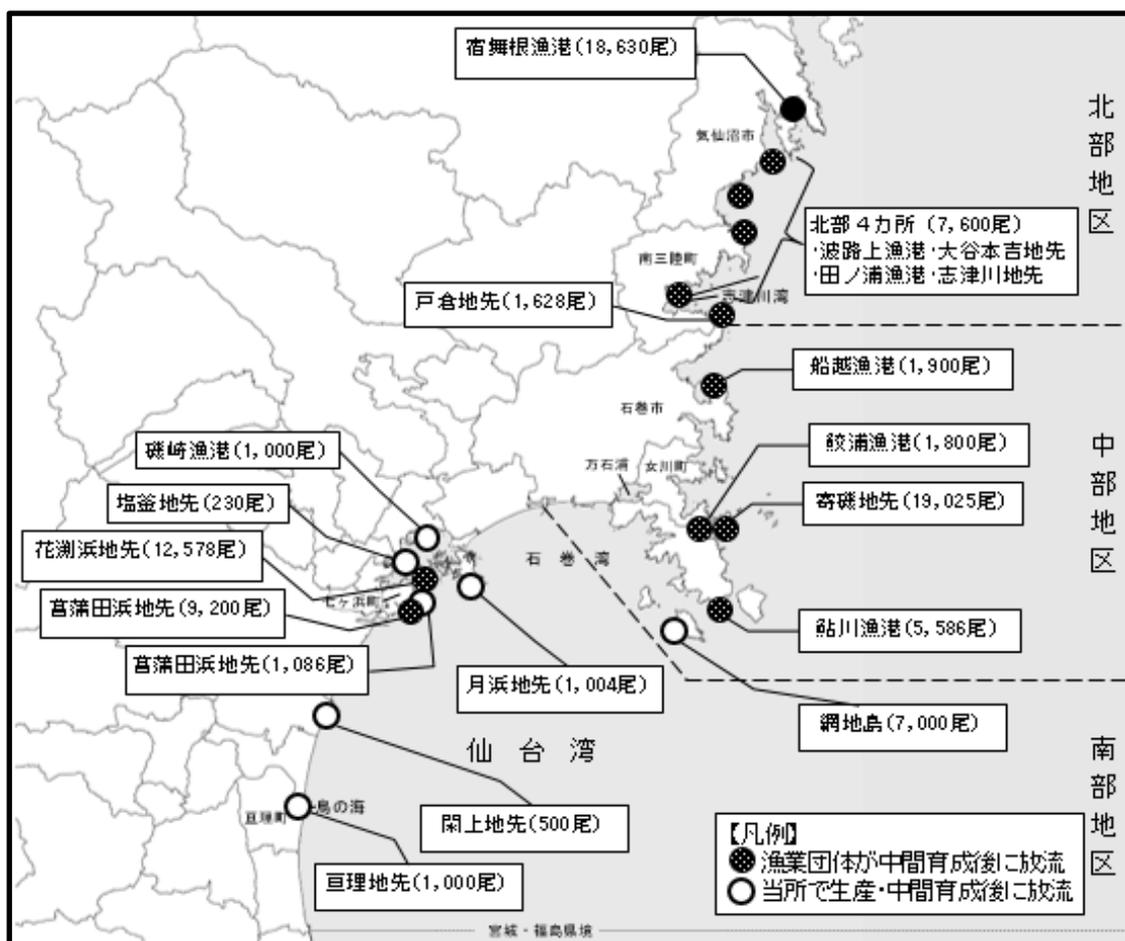


図2 ホシガレイ中間育成・種苗放流結果(2020年)

ウ ホシガレイの種苗生産技術等の開発

③ ホシガレイの種苗量産技術の普及と生産体制の構築

(国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所

資源生産部

清水 大輔

【目的】

ホシガレイは、太平洋西部の沿岸域に分布するカレイ科魚類であり、その稀少性と市場価値の高さから、新たな増養殖の対象種として注目されている。特に 2011 年の東日本大震災で大きな被害を受けた東北太平洋沿岸では、沿岸漁業の復興に向けたシンボルとしてホシガレイの資源造成がニーズとして高い。

福島県～岩手県の東北太平洋沿岸に生息するホシガレイは、地域間で遺伝的な違いがないことから(關野ら 2011)、一つの繁殖集団「東北太平洋系群」であると考えられ、広域連携で増殖管理し利用する体制の構築が必要である。そのため、2017～2019 年には福島県、宮城県及び岩手県の関係機関が共同で革新的技術開発・緊急展開事業に参画し、ホシガレイの親魚養成・種苗生産・中間育成の各工程に新技術(閉鎖循環飼育、ほっとけ飼育、緑色 LED 光照射飼育)の導入を進め、大量生産と飼育コストの大幅削減が可能となった。

本研究では革新的技術開発・緊急展開事業(2017～2019 年)において確立したホシガレイの種苗量産技術を関係県の種苗生産機関に普及させるための技術指導を実施し、東北太平洋海域における本種の種苗生産体制を構築することを目的とする。

【研究方法】

ホシガレイ種苗量産技術を岩手～福島県の種苗生産機関、中間育成技術を漁業者等に普及すると共に、普及・実証試験で得られた結果を基に、飼育技術のさらなる改良を行う。

【研究成果の概要】

1) 種苗生産技術等の普及・指導

- ① 東北の種苗生産機関では、アユ(10月～2月)とヒラメ(5月～7月)の種苗生産が重要な事業であり、ホシガレイ種苗生産は、アユとヒラメ生産の合間(2月～4月)に実施する必要がある。そのため放流適サイズ(全長 8 cm以上)までの中間育成は、外部の機関で実施する必要がある。そこで宮城県では漁業者による中間育成が行われており、2020 年 5 月 12 日に中間育成を実施する宮城県内の漁業者を対象に、講習会を開催して技術的普及を行った。
- ② 福島県水産資源研究所、宮城県水産技術総合センター、宮城県水産振興協会、岩手県栽培漁業協会に対し、ホシガレイの種苗生産の技術的指導、研究支援を実施した(現在も継続中)。

2) ホシガレイ受精卵の供給

種苗生産の実証試験を実施する福島県水産資源研究所、宮城県水産技術総合センター、宮城県水産振興協会、岩手県栽培漁業協会に受精卵の供給を行った（合計 130 万粒）。

3) 種苗量産試験

① 岩手県栽培漁業協会

令和元年度

RC50kL 水槽（実水量 40kL）1 面を用いて種苗生産試験を行った。飼育は、革新的技術開発・緊急展開事業で作成したホシガレイマニュアルのワムシ密度管理型ほっとけ飼育で実施した。2020 年 2 月 4 日にふ化仔魚 50 万尾を收容し、4 月 14 日（69 日齢）に 11.2 万尾（全長 33.3 mm）を取り上げた。生残率は 56.0%、正常率は 98.2% で良好な結果が得られた（表 1）。

令和 2 年度

RC50kL 水槽（実水量 40kL）1 面を用いて種苗生産試験を実施中である。2021 年 1 月 26 日および 1 月 29 日に水産技術研究所宮古庁舎で採卵した受精卵を、9℃および 12℃で卵管理し、2 月 4 日にふ化させた。得られたふ化仔魚 10 万尾を種苗生産水槽に收容して飼育をスタートした。飼育は昨年度同様のワムシ密度管理型ほっとけ飼育で実施した。現在アルテミア給餌、流水飼育に切り替えて飼育中であり、成長・生残等の状況は良好である。

② 水産技術研究所

令和元年度

飼育試験は、RC50kL 水槽（実水量 40kL）2 面を用いて実施し、1R をワムシ不調に見立てた、13 日齢で流水飼育・アルテミア給餌に切替えて飼育する区、2R を従来のワムシ密度管理型ほっとけ飼育区とした（表 1）。

全ての個体の着底を確認して取り上げを行った。生残率は 1R で 80.4%、2R で 54.0%となり、早期に流水飼育・アルテミア給餌に切り替えた 1R で高かった。しかし、1R では白化個体率が 45.1%と高く、正常率は 54.3%にとどまった。従来のほっとけ飼育で行った 2R では正常率 98.1%と高かった。この正常率の差は、20 日齢までの全長組成のばらつきよるものと考えられた。

【次年度に向けた提言】

計画は福島県・宮城県と連携して取り組み、種苗生産技術の普及は計画どおり進んでいる。1 年目から普及先の実証試験実施機関でも生残率が 50%以上の量産に成功している。事業終了時には、東北 3 県で 50 万尾規模の量産技術を定着される見込みである。

参考文献

關野正志, 齊藤憲治, 清水大輔, 和田敏裕, 神山享一, 雁部聡明, Siqing Chen, 有瀧真人

(2011) Genetic structure in species with shallow evolutionary lineages: a case study of the rare flatfish *Verasper variegatus*, *Conservation Genetics*, 12(1), 139-159.

全国豊かな海づくり推進協会 (2019) ホシガレイの低コスト種苗生産マニュアル. 東京, 57pp.

表 1. 令和元年度ホシガレイの量産試験概要

	収容		取り上げ				飼育方法
	日	尾数 (万尾)	日	尾数 (万尾)	生残率 (%)	正常率 (%)	
岩手県栽培漁業協会	2020/2/5	200	2020/4/14	11.2	56.0	98.2	ワムシ密度管理型ほっとけ飼育
水産技術研究所1R	2020/1/4	230	2020/3/5	18.5	80.4	54.3	13日齢で流水飼育に切替, アルテミア給餌
水産技術研究所2R	2020/1/17	200	2020/3/5	10.8	54.0	98.1	ワムシ密度管理型ほっとけ飼育

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

(国研) 水産研究・教育機構 水産資源研究所

水産資源研究センター

八木 佑太

【目的】

アカムツは西部太平洋・東部インド洋の大陸棚から大陸棚斜面域に分布する底棲魚類で、高価で取引されている水産業上の重要種である。近年、資源としての注目度や重要度はさらに増大しており、効果的な漁業管理や種苗生産技術の開発による資源の有効利用や維持・増大に向けた取り組みが実施され始めている。本課題は、種苗生産・放流技術の開発や資源解析に必要な生物特性の解明および漁獲・資源状況の把握を目的としている。ここでは、本事業で得られた年齢査定結果により作成した Age-Length Key を示すとともに、天然海域での性比とフィールド調査に基づく稚魚および幼魚の出現状況について報告する。

【研究方法】

年齢査定および性比の確認には、新潟県中～北部沿岸で得られた計 1,202 個体（雌 593 個体、雄 425 個体、性別不明 184 個体）を試料として用いた。試料について、魚体計測（雌雄判定、全長、標準体長、体重、生殖腺重量）後、耳石（扁平石）を摘出し、表面法と横断切片法を併用し輪紋の読み取りを行い、各個体の採集月、輪紋数と不透明帯の形成状況に応じて年齢を査定し、雌雄別 Age-Length Key を作成した。

種苗生産・放流技術開発の参考となる天然海域での生息環境情報を取得するため、日本海北部底魚資源調査（7 月、我が国周辺水産資源調査・評価等推進委託事業の一環）で採集されたアカムツの出現状況を整理した。また、若狭湾で行われている桁網調査（11 月、本事業）において、これまで採集記録がほとんどない稚魚が多数得られたため、試料に加えた。

【研究成果の概要】

新潟県沿岸におけるアカムツの雌雄別 Age-length key (ALK) を表 1 に示した。本種では成長に雌雄差が認められており、各全長階級における年齢の比率は成長差を反映している。市場調査に基づく漁獲物情報としては、刺網が主体である富山県沖では 25～30cm TL（全長）のアカムツが主体となっており、新潟県の漁業種類で最も漁獲量が多い底びき網の漁獲物と比べ、大型魚が主体であることが確認された。新潟県沖では 2010 年以降、富山県沖では 2012 年以降の漁獲物の全長組成が整備されており、ここで示した ALK を用いた年齢分解を行い、各年の年齢別漁獲尾数の算出を進めた。ALK については、年齢別漁獲尾数の推定精度向上のため、月・季節別などより細かい区分での検討も重要と考えられる。

天然魚について、目視による性比を確認した結果（図 1）、5～10 cmTL では全て不明、10

～15 cmTL でも不明の個体が多いものの、判定できた個体では雄の割合が高いことが示された。不明個体の生殖腺の大部分は紐状体であった。15～25 cmTL では雌雄の割合は概ね1対1であったが、25 cmTL 以上では雌の割合が増加し35 cmTL 以上では全て雌であった。目視による性判定が困難である小型（若齢）個体の生殖腺については組織学的手法に基づく観察を行う必要がある。

日本海北部海域では例年7月に、全長のモードを7 cmTL と12 cmTL に持つアカムツの幼魚が採集されている（図2）。アカムツの産卵盛期は9月であり、本種の成長様式からこれらはそれぞれ間もなく1歳と2歳魚と考えられ、主な出現水深（底水温）の範囲は80～120 m（14～17℃）であった。一方、若狭湾においては、11月に水深95 m（底水温14.8℃）の調査点で、25 mmTL 以下の稚魚が多数得られており（図2）、これらは飼育下では70日齢前後に相当し着底後間もない個体と思われる。飼育下における性比の偏り（雄化）には、ふ化～着底までの成長が関与している可能性があり、若狭湾で得られた稚魚を用いて天然海域における初期成長について分析を進める予定である。

【次年度以降に向けた提言】

本事業において、資源解析に必要な漁獲・生物情報が整備されつつあり、今年度までに把握した資源の年齢組成や生物特性情報に基づき、資源解析手法について検討を進める予定である。アカムツは令和元年度より資源評価対象種となっており、各地での漁獲情報が蓄積されつつある。資源評価においては、資源量指標値等の算出も進められているため、当該事業とも連携し、漁獲情報の蓄積および各種推定精度の向上を図り、日本海における資源状態を詳細に検討する。

表1. 新潟県沿岸におけるアカムツの雌雄別 Age-length key

全長/年齢	雌							雄						
	1	2	3	4	5	6	7+	1	2	3	4	5	6	7+
～12	0.33	0.17						0.33	0.17					
12～14		0.39							0.61					
14～16		0.42	0.02						0.49	0.08				
16～18		0.16	0.37	0.01					0.05	0.35	0.06			
18～20			0.25	0.08						0.50	0.18			
20～22			0.30	0.17						0.13	0.35	0.04		
22～24			0.15	0.29	0.01					0.11	0.30	0.13		
24～26			0.02	0.39	0.15	0.01					0.04	0.29	0.10	
26～28			0.01	0.31	0.37	0.06	0.01					0.09	0.07	0.09
28～30				0.07	0.31	0.47	0.03					0.01	0.01	0.09
30～32					0.15	0.63	0.15							0.07
32～34					0.05	0.48	0.33							0.14
34～36							1.00							
36～38							1.00							
38～							1.00							

全長の単位は cm であり、性別不明の個体は雌雄それぞれに含めた。

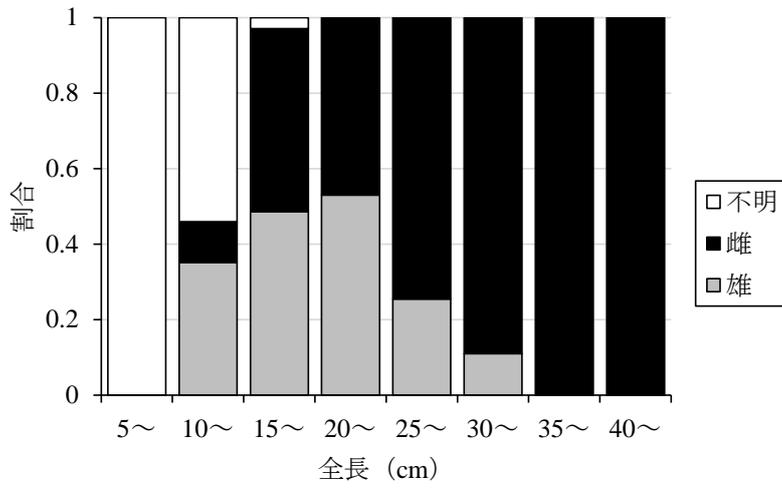


図 1. 新潟県沿岸におけるアカムツの性比

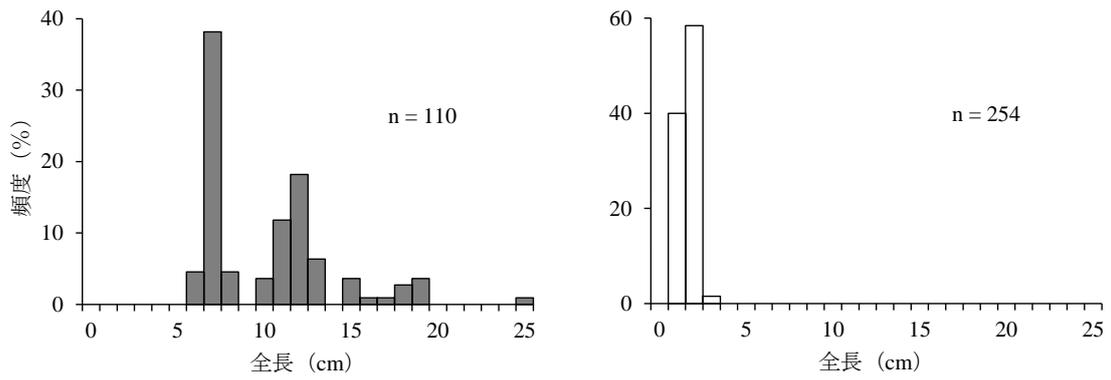


図 2. 2020 年に日本海北部海域 (左) と若狭湾 (右) で得られたアカムツの体長組成

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

②島根県沖のアカムツ、アカアマダイ類の資源・生態調査

島根県水産技術センター
金元保之・松本洋典・寺門弘悦

【目的】

本事業で開発した新たな栽培対象種の添加効果を把握するためには、海域毎における添加前後の資源状態を把握することが必要である。そのため、当センターでは日本海西部海域におけるアカムツ及びアカアマダイの添加前後の資源状態を把握するとともに、自然界における両種の生態等を把握することにより、種苗生産技術に応用することを目的とする。

【研究方法】

両種の自然界における資源動態の把握のため、以下の調査を実施する。

1)漁獲物統計調査、2)市場調査、3)生物精密測定調査

【研究成果の概要】

○アカムツ

上記1)の漁獲物統計調査を実施し、1993～2019年漁期における島根県浜田沖底の銘柄別漁獲量データを収集した。これに山口県水産研究センターから提供された山口県下関沖底の同データを合わせて日本海西部海域の銘柄別漁獲量データを整理した。これらの漁獲量データを基にVPAにより日本海西部海域のアカムツの資源量を推定した。さらに、2017～2019年度にかけて収集した合計1,147個体の耳石サンプルの年齢査定結果から、日本海西部海域におけるアカムツの年齢と成長の関係を整理することができた。

○アカアマダイ

上記1)の漁獲物統計調査を実施することにより、2000～2017年漁期における島根県浜田沖底の銘柄別漁獲量データを収集した。また、県東部で実施しているアカアマダイ標識放流調査についての結果をとりまとめ、①放流魚の再捕は放流地点からおおよそ20km以内に集中しており大きな移動がないこと(図2)、②放流密度と回収率には負の関係性がうかがわれることから広範囲への分散放流が放流効果向上につながることが示唆された(図3)。

【次年度以降に向けた提言】

○アカムツ

今年度、アカムツの成長式の推定を行い、山口県のデータを含めて日本海西部海域のアカムツの資源量推定を行った。次年度は、資源量指標値によるチューニングや雌雄別に年齢別漁獲尾数を算出する等により、資源量推定の精度を高める検討を行う。

○アカアマダイ

昨年度までに実施した島根県東部および西部における資源量推定について、今年度収集

した標本を加えて推定精度向上のための調査（耳石解析等）に取り組んでいく。この結果をもとに、島根県東部、西部の資源動向等について整理し、地域間特性の違いについて検討する。

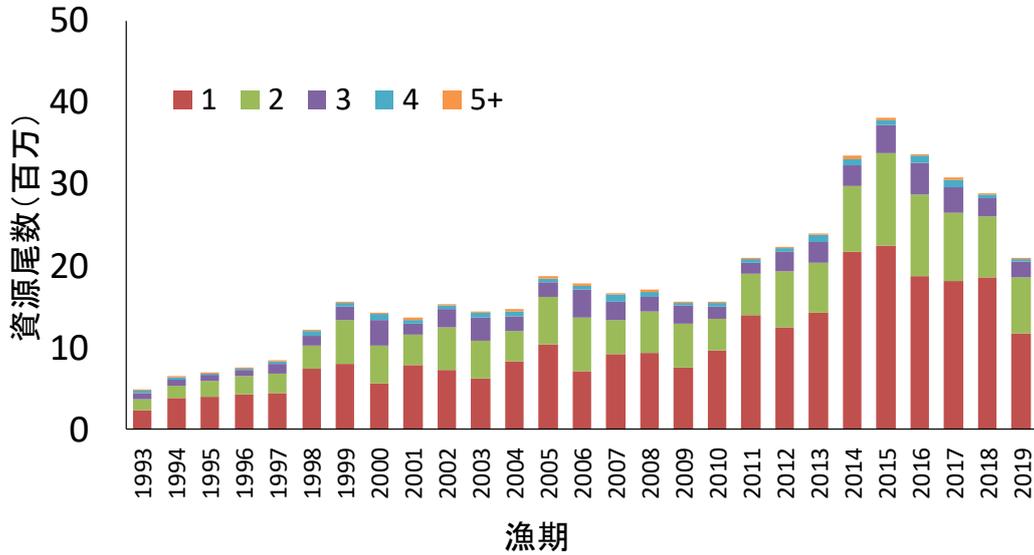


図1 日本海西部海域におけるアカムツの資源尾数の推定

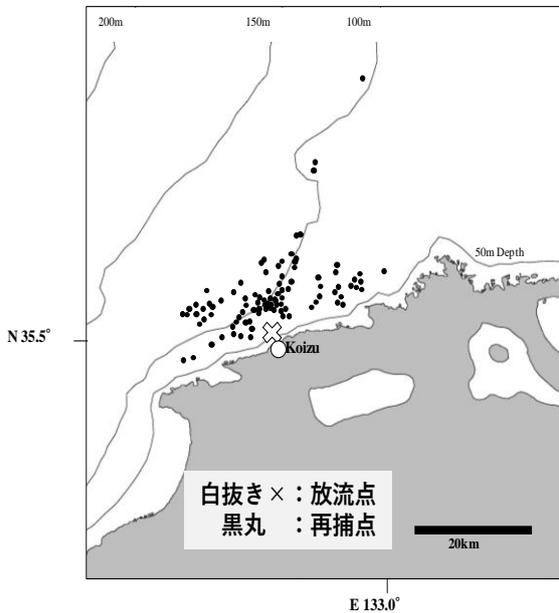


図2 島根県東部のアカアマダイの標識放流における再捕地点

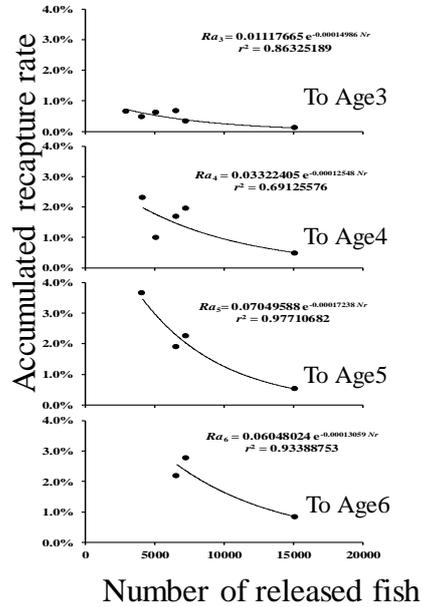


図3 島根県東部のアカアマダイの標識放流における年度別放流尾数と累積回収率の関係

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

③山口県沖のアカムツの資源・生態調査

山口県水産研究センター

河野 光久

【目的】

アカムツの生態に適した種苗生産技術の開発に資するため、アカムツ漁獲量が全国有数の下関漁港を根拠地とする以東機船沖合底びき網漁業（以下：沖底という）を対象としてアカムツの生息環境、産卵期および資源の動向を把握することを目的とした。今年度は成熟、年齢、銘柄別水揚箱数および銘柄別尾叉長組成を調査した。

【研究方法】

1) 成熟調査

2020年8月に240個体（雄93個体、雌147個体）、9月に165個体（雄68個体、雌97個体）、10月に221個体（雄73個体、雌148個体）、11月に164個体（雄51個体、雌113個体）、合計790個体（雄285個体、雌505個体）のアカムツを下関漁港で入手し、全長、体長、尾叉長、体重、生殖腺重量の測定を行った。また生殖腺の成熟段階を河野・小林(2011)に基づき目視観察により調べるとともに、熟度の指標として生殖腺熟度指数（GSI）を生殖腺重量（g）÷体重（g）×100により求めた。GSIの算出には2017年から2020年に取得したデータを用いた。

2) 年齢調査

近年小型魚の漁獲が増えており、小型魚の年齢査定の精度が資源評価の精度に大きく影響すると考えられることから、入手した小型魚250個体（雄29個体、雌21個体、性不明個体200個体）の耳石の採取を行い、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所新潟庁舎に年齢査定を依頼した。

3) 銘柄別水揚箱数調査

下関中央魚市場株式会社の水揚データを1999年漁期（8月～翌年5月）まで遡って調査し、1999年漁期から2019年漁期までの沖底による銘柄別水揚箱数を集計し、その動向を調べた。

4) 銘柄別尾叉長組成調査

下関漁港市場のアカムツの銘柄は、「赤ムツ」と「散ムツ」に大別される。この内「赤ムツ」は箱に2段から8段に並べられ、さらに入数や状態によって銘柄が細分化されているが、浜田漁港のアカムツの銘柄が段数のみであることから、共同で資源解析を行うため浜田漁港に合わせて段数別の尾叉長組成を調べた。データは山口県が所有するデータを2004年から2020年までに得られた4,941個体の測定データを用い、段数別尾叉長組成表を作成した。一方、「散ムツ」は小型のアカムツを並べずに箱に詰めたもので、2017年から2019年

に市場で測定した 1,761 個体のデータを基に尾叉長組成表を作成した。

【研究成果の概要】

1) 成熟調査

河野・小林（2011）によれば、雄では GSI が 0.5 以上で、また雌では GSI が 5.0 以上で成熟個体が確認されているので、これらの値を指標として GSI の経月変化を見ると、雄では 5 月から 10 月に GSI が 0.5 以上に高まったのに対し（図 1）、雌ではそれより短期間の 8 月から 9 月に GSI が 5.0 以上に高くなった（図 2）。

雌雄ともこれらの期間に生殖腺が発達中の個体は確認されたものの、放精個体および透明卵を有する個体は確認されなかった。

GSI が 0.5 以上の雄の最小個体は体長 118mm（図 1）、GSI が 5.0 以上の雌の最小個体は体長 199mm であった（図 2）。

2) 年齢調査

採取した小型魚 250 個体の耳石は洗浄し、汚れを落とした後、乾燥標本にし、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所新潟庁舎に送り、年齢査定を依頼した。年齢査定の結果は次年度に報告する。

3) 銘柄別水揚箱数調査

水揚箱数は（図 3）、1999 年から 2013 年までは 23 千箱～66 千箱で推移していたが、2014 年から 2015 年にかけて急増し、2015 年には 113 千箱に達した。しかしその後は減少傾向に転じ、2019 年には 56 千箱となった。銘柄別に見ると 2015 年以降、小型の「散ムツ」と 8 段の増加が顕著で、2019 年には「散ムツ」と 8 段で 55%を占めた（図 4）。

4) 銘柄別尾叉長組成調査

「赤ムツ」の段数別尾叉長モードは段数が多くなるほど小さくなり、2 段で 320～329mm、3 段で 260～279mm、4 段で 240～259mm、5 段で 200～219mm、6 段で 180～199mm、7 段・8 段で 160～179mm であった（表 1）。

「散ムツ」は漁期の前期（8～12 月）と後期（翌年 1～5 月）で組成に違いが見られたため、前期と後期に分けて尾叉長組成を表 2 に示す。尾叉長モードは前期の方が大きく 150～159mm、後期には 120～129mm と小さくなった（表 2）。

【次年度に向けた提言】

これまでの調査により VPA に必要なデータがほぼ揃ったので、島根県と共同で VPA を用いて日本海南西海域におけるアカムツの資源動向解析を行う。また、日本海南西海域における本種の分布、成長および成熟について得られた知見を整理する。

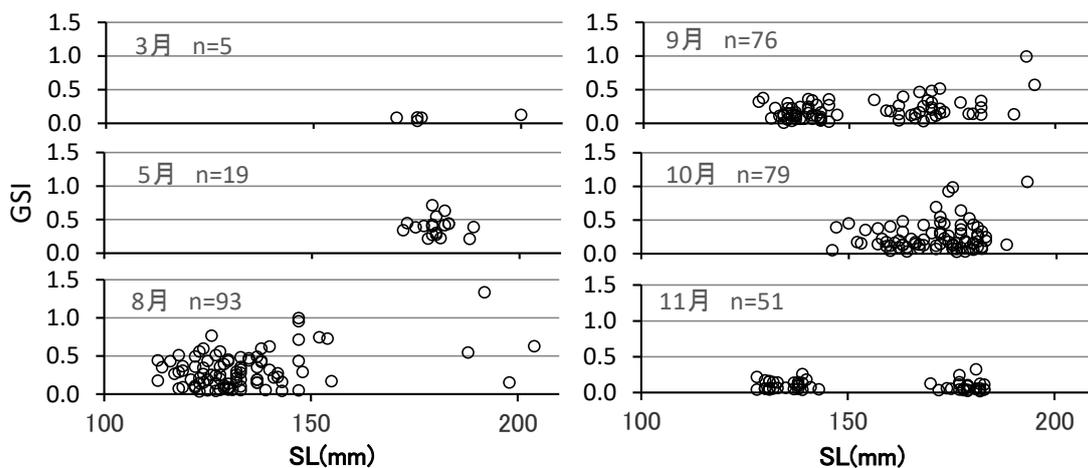


図1 2017~2020年の3~11月に沖底で漁獲されたアカムツ雄のGSI

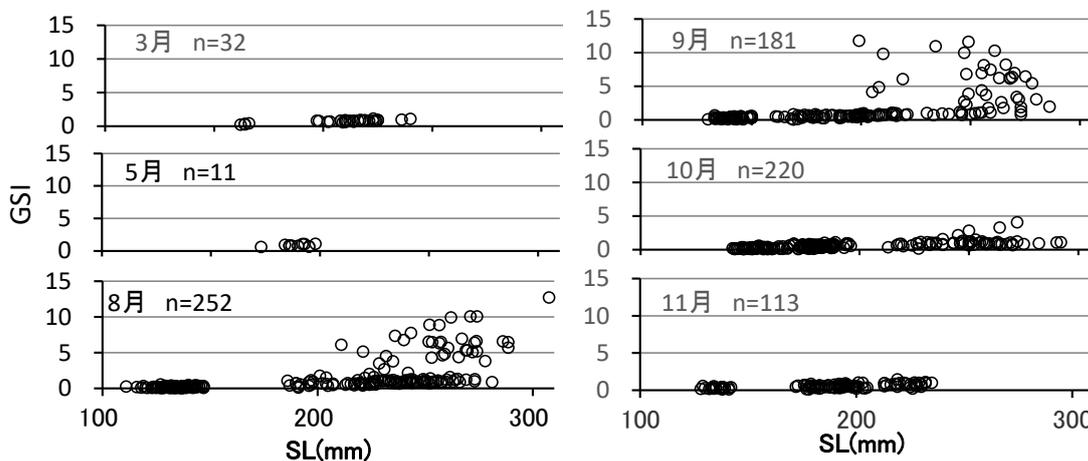


図2 2017~2020年の3~11月に沖底で漁獲されたアカムツ雌のGSI

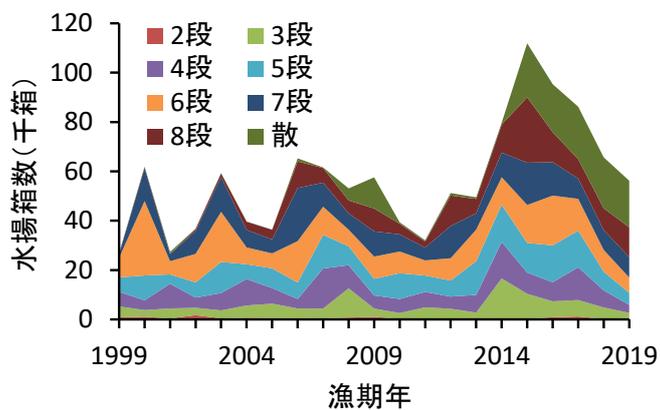


図3 下関漁港市場におけるアカムツ銘柄別水揚箱数の経年変化

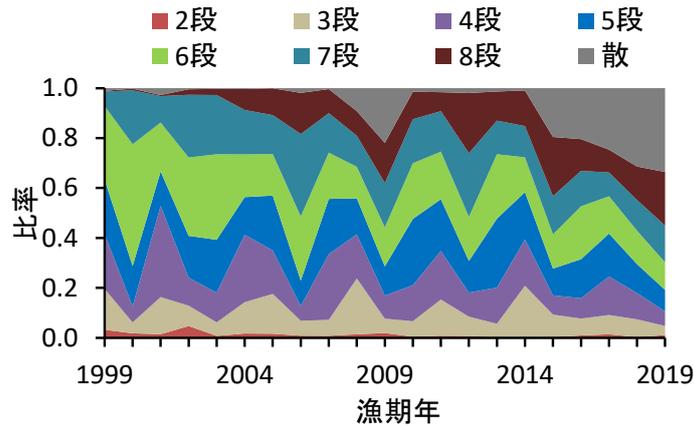


図4 下関漁港市場におけるアカムツ銘柄別水揚箱数比率の経年変化

表1 下関漁港市場における「赤ムツ」の段数別（入数別）尾叉長組成

FL(mm)	2段	3段	4段	5段	6段	7段	8段
	7-15入	17-24入	27-36入	45-50入	58-72入	77-91入	96-113入
120-139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
140-159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.203	0.254
160-179	0.000	0.000	0.000	0.000	0.146	0.528	0.691
180-199	0.000	0.000	0.000	0.028	0.575	0.255	0.055
200-219	0.000	0.002	0.054	0.555	0.276	0.015	0.000
220-239	0.000	0.031	0.398	0.375	0.003	0.000	0.000
240-259	0.000	0.120	0.369	0.042	0.000	0.000	0.000
260-279	0.095	0.341	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000
280-299	0.238	0.312	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
300-319	0.270	0.155	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000
320-339	0.333	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
340-359	0.048	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
360-379	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
計	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表2 下関漁港市場における「散ムツ」の期別尾叉長組成

FL(mm)	前期		後期	
	8-12月	1-5月	FL(mm)	8-12月
70-79	0.000	0.000	130-139	0.039
80-89	0.003	0.000	140-149	0.183
90-99	0.012	0.009	150-159	0.342
100-109	0.025	0.091	160-169	0.235
110-119	0.052	0.203	170-179	0.077
120-129	0.025	0.219	180-189	0.006

(参考文献)

河野光久・小林知吉 (2011) : 対馬海峡におけるアカムツの成熟および産卵. 山口県水産研究センター研究報告, (9), 119-123.

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握（アマダイ類）

④若狭湾のアマダイ類の資源・生態調査

（国研）水産研究・教育機構 水産技術研究所

生産技術部

井関 智明

【目的】

若狭湾におけるアカアマダイの漁獲特性、生物特性を調査し、資源解析を実施して近年の資源状況を明らかにする。また、種苗放流尾数等の違いによる資源動向の将来予測を行い、若狭湾における資源管理方策としての種苗放流の有効性や併せて実施すべき漁獲方策について検討する。このうち、R2年度の本事業では、ここまでに得られた生物特性と漁獲情報をもとに、京都府および福井県の両対象海域で資源解析を実施して、近年の資源動向を明らかにすること、海域ごとの資源動向、漁獲強度等の違いを検証することを目的とした。

【研究方法】

ここまでに入手した試料から推定された Age-Length-key あるいは Age-銘柄-key と、市場調査および漁獲統計調査から得られた全長組成あるいは銘柄組成を用い、福井県（主要2港）では2010～2019年、京都府（主要3港）では2008～2019年の雌雄それぞれの年齢別漁獲尾数を推定した。また、同期間の延縄漁船（両海域）および漕ぎ刺し網漁船（福井県）の出漁隻数を集計し、CPUE（kg/隻・日）を算出した。次に、京都府では延縄のCPUE、福井県では主要2港における延縄および漕ぎ刺し網の各CPUEの相乗平均（4乗根）を資源量指標値として、それぞれ雌雄別のチューニングVPAによる資源量推定を実施した。

【研究成果の概要】

対象期間中の漁獲量は両海域とも減少傾向にあるが、出漁隻数の減少も顕著であり、当初と比べて京都府（延縄）で約1/3、福井県の延縄および漕ぎ刺し網で約1/2まで減少していることが明らかとなった（図1）。一方、CPUEは京都府の延縄で5～7kg/隻・日、福井県の延縄で6～15kg/隻・日、漕ぎ刺し網で20～55kg/隻・日で推移し、期間の後半では高めの水準となった（図2）。チューニングVPAにより推定された京都府および福井県の各対象海域における資源量はそれぞれ55～70トン程度、200～300トンとなった（図3）。両海域とも近年の推定値が高く、出漁隻数の減少も伴って漁獲割合は当初より低くなっていたが、期間途中の資源動向は異なっていた。雌雄別、年齢別の漁獲強度（漁獲死亡計数）は、アカアマダイが、ほぼ延縄でのみ漁獲される京都府では5、6歳（以上）、漕ぎ刺し網等で、より小型個体も漁獲する福井県では4、5歳で高く、4歳では福井県、6歳（以上）で京都府の値が高くなっていること

も海域による漁獲特性の違いを反映していると考えられた（図4）。

【次年度以降に向けた提言】

福井県および京都府の両海域で約10年分の年齢別漁獲尾数が推定され、基本的な資源量推定は可能となったが、現時点では試算段階であり、得られた結果、特に海域による資源動向の違いについては、手法上の問題点や、試料数の不足によるものではないかも含めて様々な側面から検証する必要がある。最終年度となる次年度は、Age-Length キーに用いる試料数の増強、計算手法の改善等により推定精度の向上を図るとともに、各海域における種苗放流の有無や種苗放流尾数の多寡等、諸条件を変えた場合の資源量および漁獲量の将来予測を実施する。以上により、若狭湾におけるアカアマダイ資源管理方策としての種苗放流の有効性および併せて実施すべき漁獲方策等についても検討する。

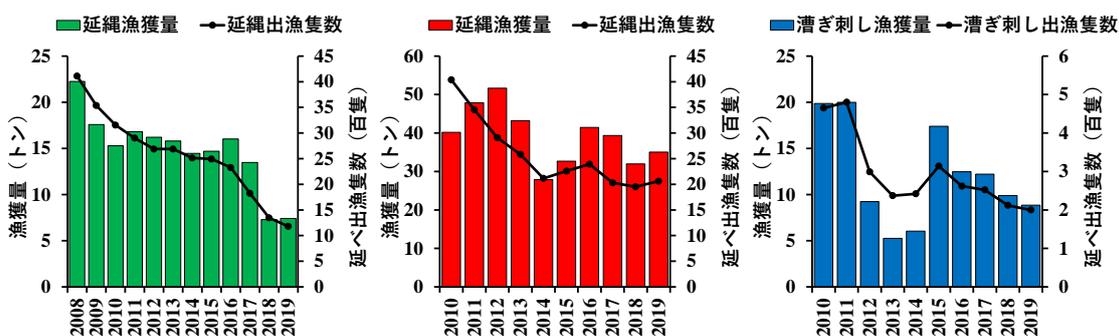


図1 主要港における漁獲量と出漁隻数の推移

左：京都、延縄、中：福井、延縄、右：福井、漕ぎ刺し網

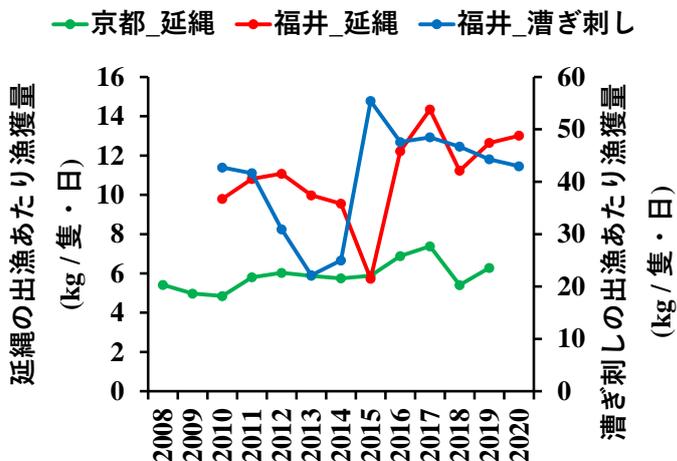


図2 出漁あたり漁獲量（CPUE、kg/隻・日）の推移

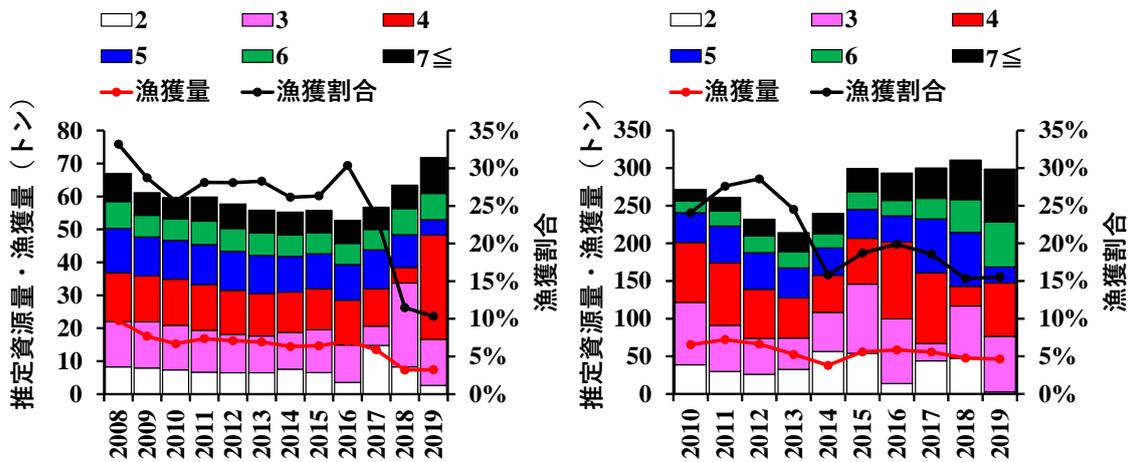


図3 京都府（左）および福井県（右）における対象海域の推定資源量、漁獲量および漁獲割合の推移

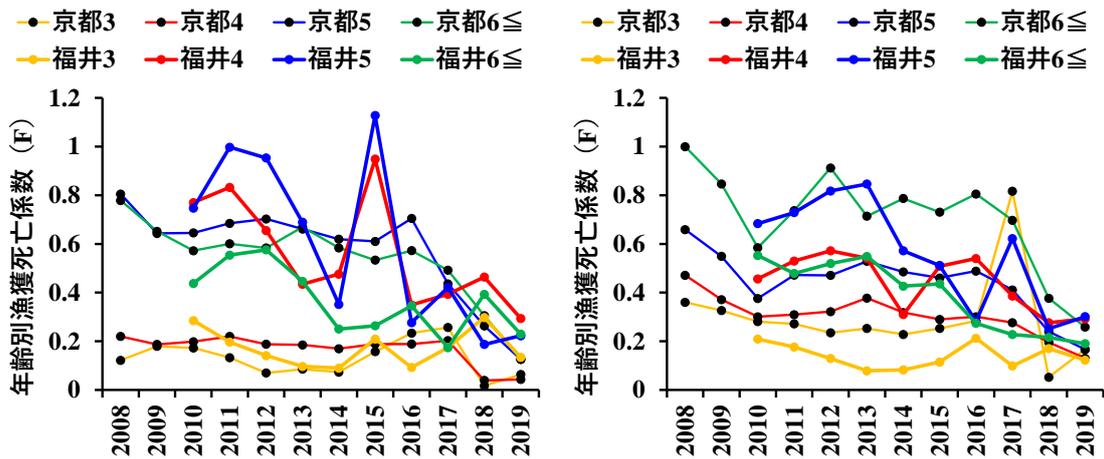


図4 年齢別漁獲死亡係数の推移（左：雌、右：雄）

※ 凡例の数値は年齢を示す

エ. 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

⑤山口県沖のアマダイ類の資源・生態調査

山口県水産研究センター

阿武 遼吾

【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、漁獲実態調査等により基礎的知見を収集し、本種の生態把握を目的とする。

【研究方法】

本県の瀬戸内海と日本海で漁獲されたシロアマダイの買取を行い、胸鰭サンプルの収集を行った。

【研究成果の概要】

瀬戸内海 28 サンプル、日本海 39 サンプルを収集した。これまで収集した胸鰭サンプル数は、日本海 92 サンプル、瀬戸内海 80 サンプルになった。

【次年度に向けた提言】

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。昨年度および今年度に生産した種苗は、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、来年度、遺伝子解析により集団構造を明らかにする。

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

⑥日向灘のアマダイ類の資源・生態調査

宮崎県水産試験場

中西 健二

(アカアマダイ)

【目的】

アカアマダイ種苗を放流する際に問題となる狂奔遊泳を防止することを目的とした。

【研究方法】

これまでの放流方法では、活魚タンクから種苗を取り出す際に種苗を驚かせてしまい、そのまま、落ち着く間もなく海中に放流されるために、狂奔遊泳するのではないかと考えられた。

そのため、活魚タンクから取り出す際にできるだけ驚かせず、また、海中に放つ前に馴致が可能なカゴを用いた放流方法が適しているのではないかと考えられたことから、まずは種苗をカゴに収容可能か、また、カゴに収容したまま運搬可能か検証を行った。

【研究成果の概要】

ヒラメやカサゴの放流に使用する 604 mm×354 mm×98 mm、容量 14.4L の PE ポリエチレン製のカゴ (写真 1) を用い、令和 3 年 2 月 25 日に (一財) 宮崎県水産振興協会 (以下、水産振興協会) から宮崎県水産試験場 (以下、水試) まで運搬試験を行った。

平均体重 7g 程度のアカアマダイ種苗を用い、収容量はヒラメやカサゴの放流種苗を運搬する際の収容量である 2kg/カゴ (高密度区) と 1kg/カゴ (低密度区) とし、それぞれ 2 カゴとした。

カゴへ収容時に一部の個体が暴れたが、フタを閉じて水槽に浮かべた直後には、どのカゴの種苗も落ち着きを取り戻し、水産振興協会から水試までの輸送中 (100km 程度、2 時間程度) にも暴れる様子は見られなかった (写真 2、3)。

水試到着後、カゴのまま FRP 水槽へ収容して馴致させている間も種苗は安静にしていたが、水槽内に放した途端に種苗の 1/3~1/4 が狂奔遊泳し、収容密度によらず種苗が落ち着くまでに 15 分程度を要した。その後 3 日間、FRP 水槽に移した種苗をカゴ別に観察したが、高密度区の 1 水槽で 2 尾、低密度区の 1 水槽で 1 尾が死亡したのみであった。

今回の運搬試験により、アカアマダイもヒラメやカサゴと同様の方法・収容量で運搬が可能であることが明らかとなり、種苗への負担が少ない輸送やタンクから取り出しが可能であることが明らかになった。しかし、カゴ内で安静にしているように見えても、海に放った途端に狂奔する可能性があることから、放流した種苗が落ち着くまでの対策が必要と考えられた。

【次年度以降に向けた提言】

実際の放流時に種苗のカゴでの運搬を検討するとともに、問題等が発生した場合には改善方法を検討し、より種苗に優しく効率的な方法に見直していく。



写真1 使用したカゴ



写真2 輸送用タンクへの
収容の様子



写真3 カゴ内の種苗の様子

(シロアマダイ)

【目的】

アマダイ類の中でも、漁獲量が少なく、成長や産卵期等の生態的特性が把握されていないシロアマダイの日向灘での漁獲実態や生態的特性を明らかにすることを目的とした。

【研究方法】

日向灘におけるシロアマダイの漁獲量の把握、市場調査による漁獲魚のサイズ組成の把握を行った。

【研究成果の概要】

本県の近年のシロアマダイの漁獲量を取りまとめた結果、2006年以降、2010年まで減少後、1,000kg～2,000kgの範囲で増減しながら、横ばい傾向で推移していることが明らかとなった(図1)。

2017年以降に市場調査及び買上調査で測定した1,383尾の全長と体重の関係を調べた結果、シロアマダイの全長と体重の関係は、 $\text{体重 (g)} = 8.80 \times 10^{-3} \times \text{全長 (cm)}^{3.085}$ で表された(図2)。

また、これまでに調査で、日向灘でのシロアマダイの産卵期が2～4月であることが明らかになっているため、満年齢前後の1～5月に市場調査及び買上調査で得た518尾の全長データをMicrosoft-ExcelのSolverツールを用いて年齢組成分解を行った。

その結果、1歳から5+歳までの年齢分解ができ(図3)、推定された年齢別の平均全長と平均体重を推定することができた(表1)。

【次年度以降に向けた提言】

シロアマダイの漁獲実態や生物学的特性の精度向上のために、市場調査を継続して取り

組むとともに、シロアマダイの遺伝的集団解析のためのサンプル採集に努める。

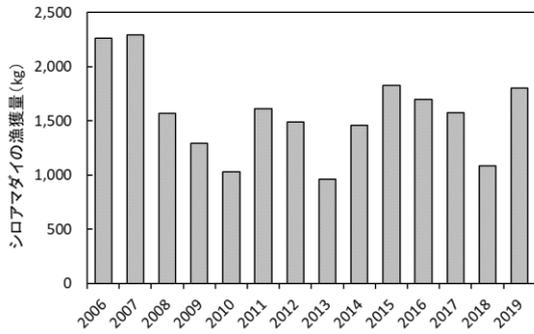


図1 宮崎県のシロアマダイの漁獲量の推移

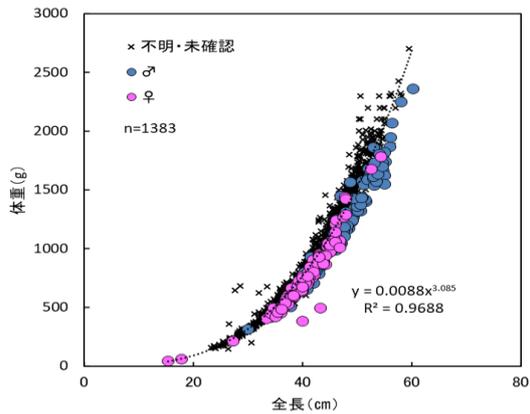


図2 日向灘産シロアマダイの全長と体重の関係

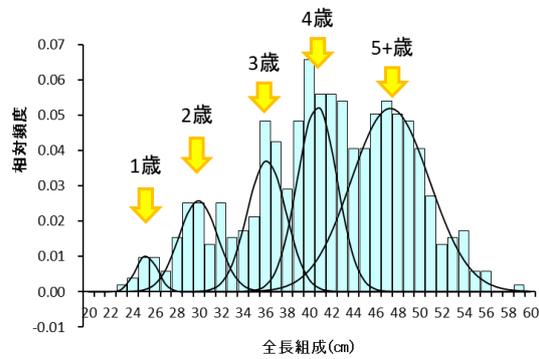


図3 日向灘産シロアマダイの全長組成の年級分解結果

表1 日向灘産シロアマダイの年齢と体重の推定結果（雌雄別混合）

年齢	1歳	2歳	3歳	4歳	5+歳
平均全長(cm)	25.1	30.0	36.1	40.7	47.5
平均体重(g)	184	318	563	815	1,306

※雌雄別混合

エ. 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

⑦放流魚調査技術の開発

山口県水産研究センター

南部 智秀

【目的】

近年、本県日本海側地先（長門市仙崎湾内）では秋に台風の接近等による時化が発生した際に、全長 30 cm以上のキジハタ成魚が刺網で大量漁獲（50 尾/日以上）される現象が確認されるようになった。

放流魚をより効率的に漁獲に繋げ、本種の栽培漁業を推進するため、この環境変化に起因する成魚の行動メカニズムを解明することを目的として調査を行った。

【研究方法】

1. バイオテレメトリー調査による行動把握

令和 2 年 8 月 21 日までに仙崎湾内の 7 ヶ所（図 1）に受信機（Vemco 社製 VR2W）を設置した。湾内における個体の行動を調べるため、図 1 中の②で漁獲された 12 個体（平均全長 35.9 cm（33.7～39.5 cm））の腹腔内に外科的手術で発信機（Vemco 社製 V13-1H コード化ピンガー）を挿入し、10 月 5 日と 12 日に漁獲場所で放流した。また、湾外から湾内への移動を調べるため、湾外で漁獲された 9 個体（平均全長 34.3 cm（30.0～38.0 cm））にも同様に発信機を挿入し、10 月 13 日に漁獲場所（図 1）に放流した。12 月 9 日から 14 日に全ての受信機を回収して受信記録を抽出し、得られたデータから個体の行動を解析した。

2. 漁獲と気象海況の関係の検証

平成 29 年から令和 2 年までの湾内の漁獲データと気象海況データ（最低気圧、水温、最大風速）を収集し、その関係を調べた。最低気圧は長門市仙崎に位置する仙崎海上保安部および山口県水産研究センターの観測値、水温は湾内北岸に位置する（公社）山口県栽培漁業公社外海第一生産部が毎朝 8 時半に地先で計測した値、最大風速は下関地方気象台油谷観測所の観測値を用いた。また、夜間に網に掛かった個体が朝に揚網されるため、漁獲日の前日の気象海況に着目した。

【研究成果の概要】

1. バイオテレメトリー調査による行動把握

回収した受信機には、昨年度、②で放流した個体のデータも記録されていたため、これらも含めて解析を行った。

1) 湾内での移動実態

②で放流した計 37 個体（R1 年度 25 個体、R2 年度 12 個体）について、放流後の移動方向や定着状況等を図 2 に示した。放流後、約半数の個体は湾内各方面へ移動していた。

これらの個体の約 33%は放流後 5~10 ヶ月を経過した後に移動先の受信機に記録されていることから、その間は湾内に生息していたものと推察された。すなわち、放流後に消息不明となった個体についても湾内に生息している可能性が高いと考えられた。

2) 湾外から湾内への移動

湾外に放流した 9 個体のうち、2 個体はそれぞれ③、④で記録が確認されたことから、湾外から湾内への移動が明らかになった。つまり、湾内で発生する大量漁獲には、湾外から移入してくる個体も関与していることが推察された。

3) 移動の時刻と速度

放流場所以外で確認された個体の受信記録を表 1 に示した。②以外の受信機は、個体からの信号を受信しやすいように岩礁等の構造物が少ない場所に設置している。そのため、②以外では 1 個体あたりの受信時間が平均 14 分間と短く、これは当該個体が移動中であることを示唆している。これらの記録を移動中の個体とみなすと、移動が行われた時間は主に夜間であることが解った (図 3)。また、同一個体の 2 地点での受信記録から、移動速度を算出したところ、約 1.0~1.5km/h 以上で湾内を移動していることが解った (図 4)。

4) 移動と漁獲量

表 1 のうち、令和 2 年 9 月~11 月に記録された 14 例について、当該月の漁獲量との関係を見ると、移動と漁獲量が増大するタイミングは概ね、一致していた (図 5)。

2. 漁獲と気象海況の関係の検証

1) 漁獲量と最低気圧の関係

漁獲量と最低気圧の関係を図 6 に示した。大量漁獲は 9 月中旬から 10 月下旬の間に、気圧の急激な低下を端緒として発生することが多かった。また、総じて気圧の急激な低下時に、漁獲量が増大する傾向がみられたが、その気圧に明確な指標は見いだせなかった。

2) 漁獲量と水温の関係

漁獲量と水温の関係を図 7 に示した。大量漁獲が発生した水温は 21.2~26.0℃であった。9 月上旬や 10 月下旬以降に、気圧が急激に低下したにも関わらず漁獲量が増大しない事例が散見されるが、これらは水温が 27.0℃以上、もしくは 21.0℃以下の日であった。

3) 漁獲量と最大風速の関係

漁獲量と最大風速の関係を図 8 に示した。大量漁獲の多くは最大風速が 7m/s 以上で発生しており、最大風速が 5m/s 以上を記録すると、漁獲量が増大する傾向がみられた。9 月上旬や 10 月下旬以降に 7m/s 以上の最大風速が記録されたにも関わらず、漁獲量が増大しない事例の多くは、水温が 27.0℃以上、もしくは 21.0℃以下の日であった。つまり、気圧の急激な低下や 5m/s 以上の最大風速に伴う漁獲量の増大は、特定の水温帯 (下限 21~22℃~上限 27℃) で発生するものと推察された。

【次年度以降に向けた提言】

定期的に受信機を回収して受信記録を収集するとともに、放流後に受信記録の途絶えた個体を追跡するため、受信機を船に備え付けて湾内の探索を検討する。大量漁獲以外に、普段よりも明らかに漁獲量が増大する事例があり、この現象と気象海況の関係についても調査する。漁獲量と気象海況の関係をより詳しく把握するため、湾外の水温や風向データを考慮して解析の高度化を図る。

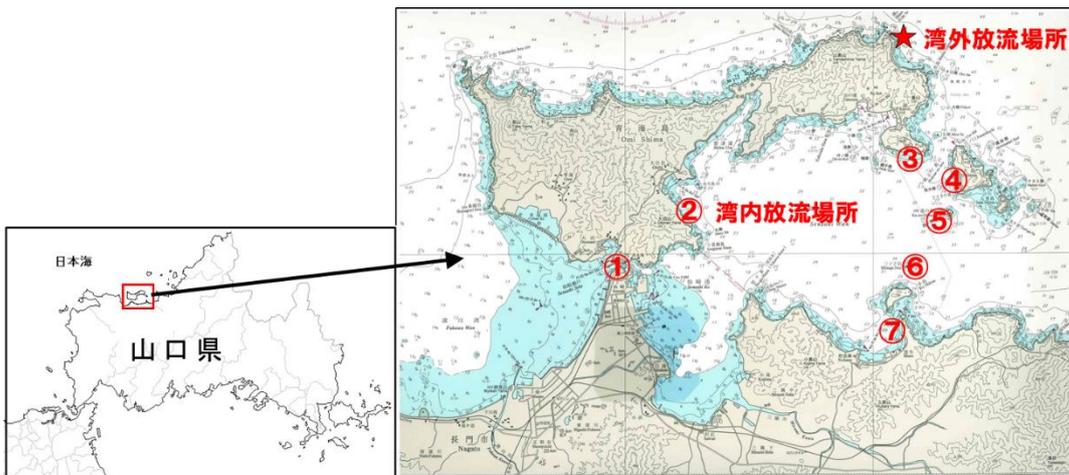


図1 受信機の設置場所 (①～⑦) と放流場所

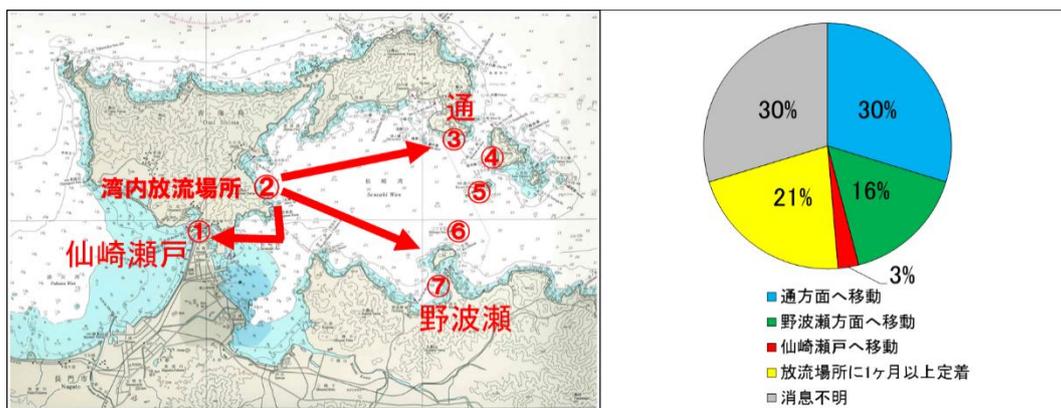


図2 放流後の移動、定着状況等

表 1 放流場所以外における受信記録

	放流場所	放流日	受信機設置場所						
			①	③	④	⑤	⑥	⑦	
1	湾内	R1.11.27		R1.11.28 17:46-17:51					
2	湾内	R1.11.27		R2.4.26 22:54-23:12					
3	湾内	R1.11.27		R1.11.27 21:05					
4	湾内	R1.11.27						R2.9.13 19:43	
5	湾内	R1.11.27		R1.11.28 21:12-21:23					
6	湾内	R1.11.27		R2.7.16 00:31-00:40					
7	湾内	R1.11.27		R1.11.28 19:40-19:57					
8	湾内	R1.11.27		R2.9.13 22:39-22:47				R2.9.13 18:18-19:08	
9	湾内	R1.11.27		R2.10.17 21:24			R2.10.7 19:11-19:27		
10	湾内	R1.11.27		R2.9.13 16:17-17:20				R2.10.9 16:45-16:59	
11	湾内	R1.11.27		R1.11.28 19:27-19:30					
12	湾内	R1.11.27		R2.4.21 20:44-20:52					
13	湾内	R1.11.27		R2.8.10 0:07					
14	湾内	R2.10.12					R2.10.12 22:09-22:18	R2.10.12 21:14	
15	湾内	R2.10.5						R2.10.6 03:01-03:13	
16	湾内	R2.10.5	R2.10.5 21:33-21:40						
17	湾内	R2.10.5		R2.11.9 00:43-01:56					
18	湾外	R2.10.13		R2.10.13 21:23-21:26					
19	湾外	R2.10.13			R2.10.18 22:34				

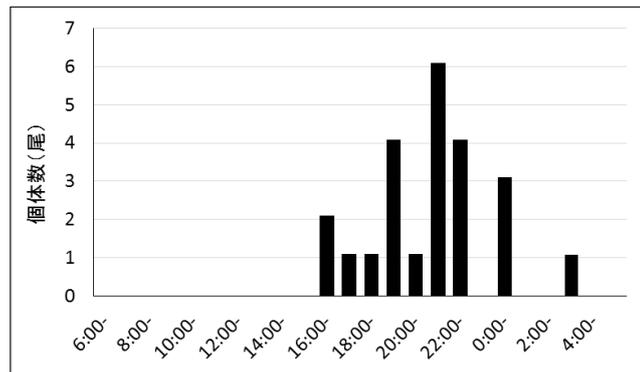


図 3 移動が発生した時刻と個体数

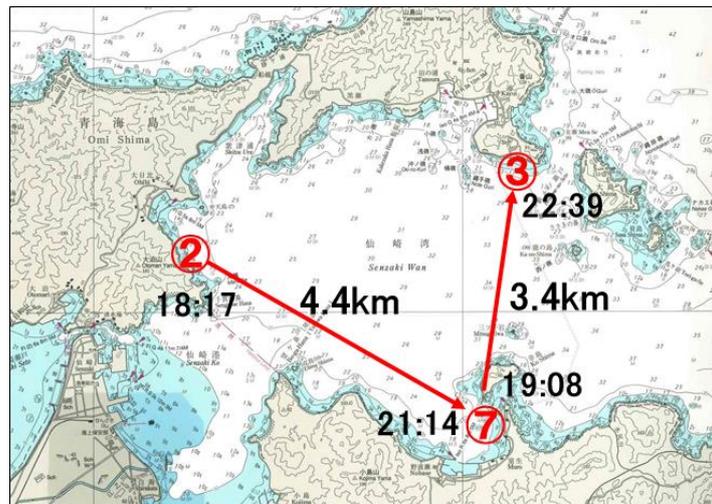


図 4 移動距離と時間

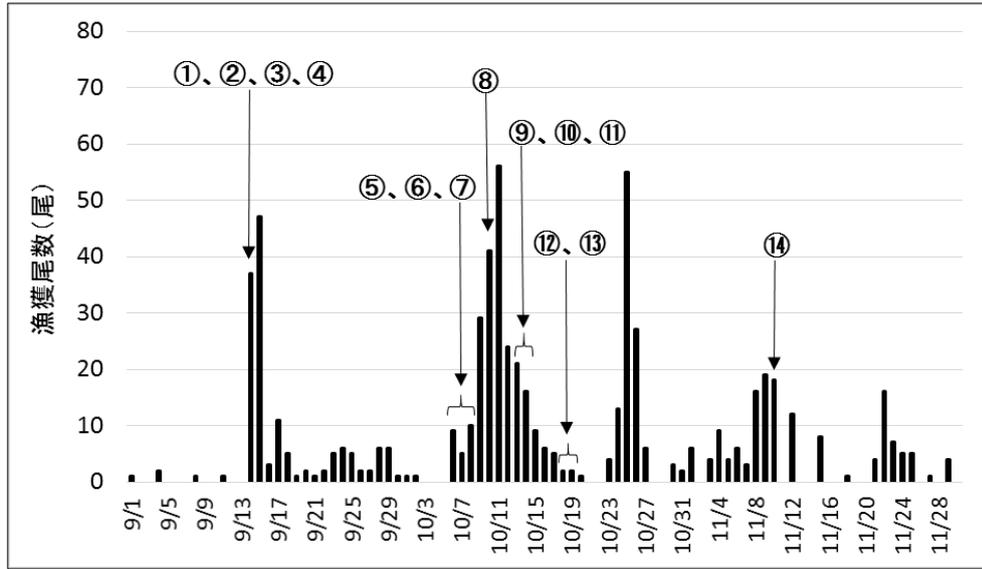


図5 移動(①~⑭)と漁獲量の関係

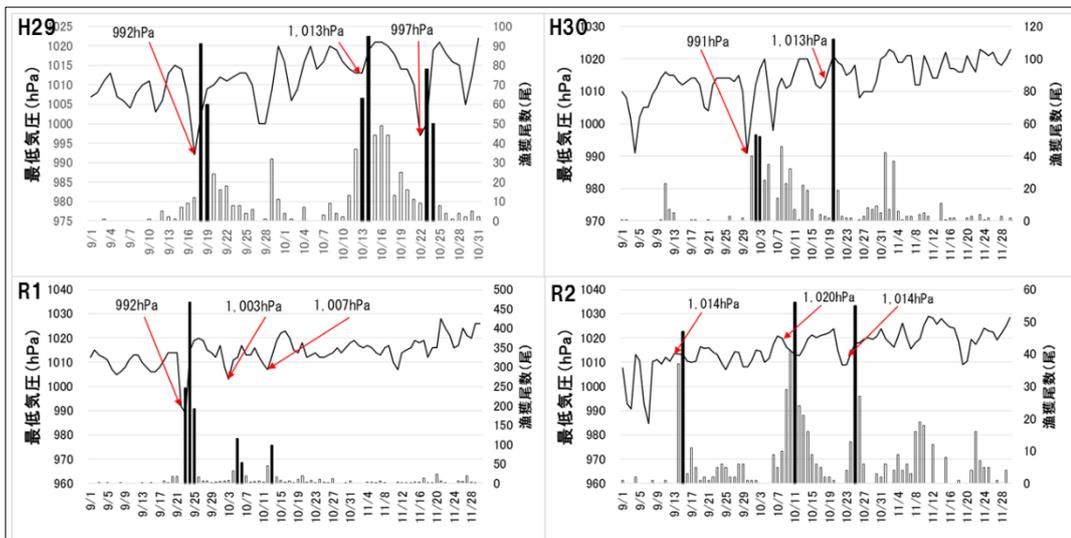


図6 漁獲量と最低気圧の関係

(折れ線：最低気圧、縦棒：漁獲尾数、黒い縦棒は大量漁獲を示す)

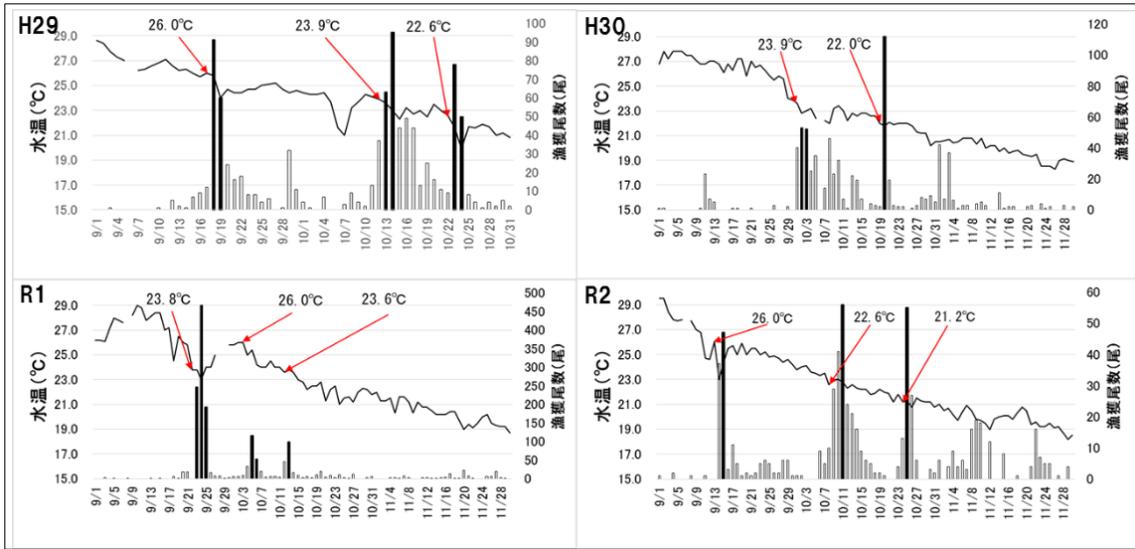


図7 漁獲量と水温の関係

(折れ線：水温、縦棒：漁獲尾数、黒い縦棒は大量漁獲を示す)

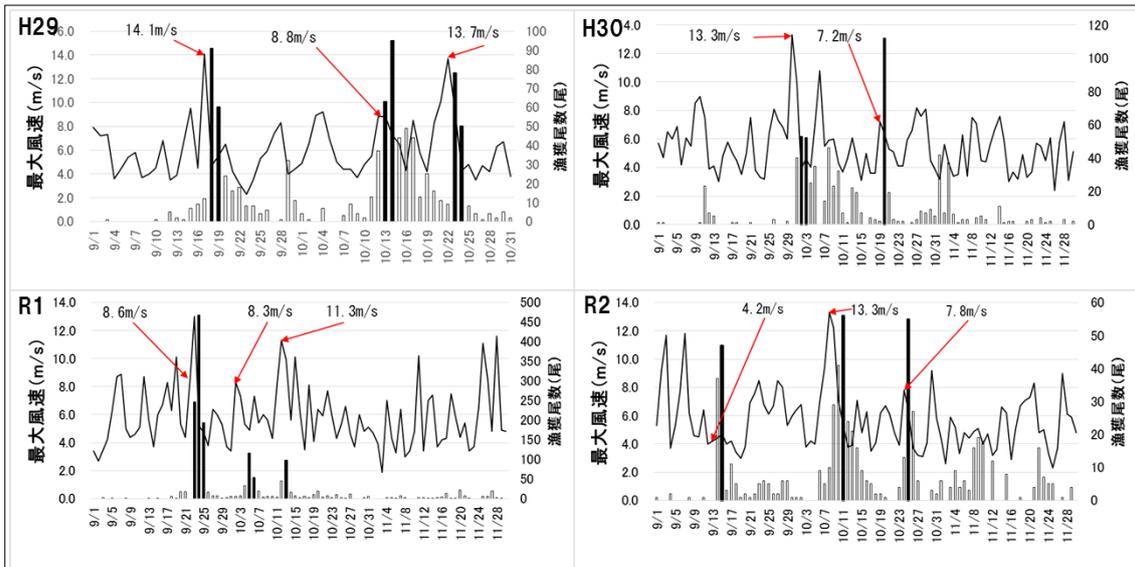


図8 漁獲量と最大風速の関係

(折れ線：最大風速、縦棒：漁獲尾数、黒い縦棒は大量漁獲を示す)

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

⑧放流技術情報の調査取り纏め

公益社団法人 全国豊かな海づくり推進協会

藤田 智也

【目的】

対象魚種に関する既往知見を収集し、本委託事業における種苗生産、放流技術開発に資する。

【実施方法】

本委託事業対象種について、Google が提供する検索サービス「Google Scholar」を用いて、「標準和名」、「英名」、「学名」をキーワードとして論文検索を行う。検索された論文から、本委託事業と関係の深い論文を抽出し、「漁業」「資源生態」「種苗生産」「種苗放流」「疾病防除」に分類し一覧を作成する。

本年度は、アカムツ及びシロアマダイについて情報を収集するとともに、昨年度調査したアカアマダイに関する情報を追加した。

【実施成果の概要】

(1) アカムツ

アカムツに関する論文 10 本（和文 10 本）を抽出し、論文タイトルを分類、キーワードとともにエクセルファイルに纏めた。分類毎の論文数は漁業が 2、資源生態が 7、種苗生産が 1 であった。これらすべての PDF ファイルを一つのフォルダに保存した。抽出した論文リスト（分類順）は以下のとおり。

<漁業>

河野光久, 小林知吉. (2008). 日本海南西海域で操業する沖合底びき網による漁獲物の投棄量と種組成. 山口県水産研究センター研究報告, (6), 25-29.

熊木豊, 山崎淳, 野口俊輔. (2020). 底曳網で漁獲されるアカムツの網目選択性. 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, (42), 9-16.

<資源生態>

今井千文, 道根淳, [村山達朗. (2017). 日本海西部海域産アカムツの資源動態. 水産大学校研究報告, 64(4), 217-222

河野光久. (2010). 日本海南西山口県沖におけるアカムツの年齢と成長. 山口県水産研究センター研究報告, (8), 45-47

河野光久, 小林知吉. (2011). 対馬海峡におけるアカムツの成熟および産卵. 山口県水産研究センター研究報告, (9), 119-123.

- 木部崎修. (1949). 日本海西南海産アカムツ *Doderleinia berycoides* の生態学的研究 1. 年齢及生長. 日本水産学会誌, 15(5), 221-225.
- 大西健美. (2009). 新潟県沿岸域におけるアカムツの年齢と成長及び産卵期. 新潟県水産海洋研究所研究報告, (2), 15-20.
- 田代征秋. (1988). 五島南部海域におけるアカムツの分布. 長崎県水産試験場研究報告, (14), 13-17.
- 八木佑太, 新田誠, 飯田直樹, 竹内宏行, 山田達哉, 長副聡, 上原伸二. (2015). アカムツの卵発生と仔魚の形態. 魚類学雑誌, 62(2), 163-168.

<種苗生産>

- 山田達哉, 八木佑太, 飯田直樹. (2015). アカムツの人工稚魚生産に成功 (特集 有用水産生物の種苗をつくる (1)). 海洋と生物, 37(1), 12-18.

(2) シロアマダイ

シロアマダイに関する論文 1 本 (和文、分類：種苗生産) を抽出し PDF ファイルを保存した。抽出した論文は以下のとおり。

<種苗生産>

- 門村和志, 築山陽介, 濱崎将臣, 土内隼人, & 宮木廉夫. (2011). 凍結および冷蔵精子を用いたシロアマダイ人工授精. 長崎県水産試験場研究報告, (37), 1-6.

(3) アカアマダイ

昨年度作成した論文リストに種苗生産に関する 2 本の論文を追加した。現在、論文 52 本 (和文 43 本、英文 9 本) を抽出し、論文タイトルを分類、キーワードとともにエクセルファイルに纏めている (分類毎の論文数は漁業が 5、資源生態が 18、種苗生産が 14、種苗放流が 13、疾病防除が 2)。このうち、インターネットで公開されている日本水産学会誌、水産増殖、水産技術や、海づくり協会が所有しているインターネット非公開論文 (栽培技術開発研究、栽培漁業センター技報) の原本 43 本 (和文 41 本、英文 2 本) については、PDF ファイルで一つのフォルダに保存している。現在の論文リスト (分類順) は以下のとおり。

<漁業>

- 河野光久, 天野千絵. (2005). 日本海南西部山口県沖におけるアカアマダイの資源管理に関する研究-I 山口県におけるあまだい漁業の実態. 山口県水産研究センター研究報告,(3), 55-59.
- 山下秀幸. (2004). 東シナ海産アカアマダイの水揚実態と Y/R 解析. 日本水産学会誌, 70(1), 16-21.

山下秀幸. (2005). 東シナ海産アカアマダイに対する底延縄と立延縄の漁獲物体長組成および漁場利用について. 日本水産学会誌, 71(1), 39-43.

Yamashita, H., Shiode, D., Tokai, T. (2009). Longline hook selectivity for red tilefish *Branchiostegus japonicus* in the East China Sea. *Fisheries Science*, 75(4), 863-874.

山下秀幸, 越智洋介, 塩出大輔, 東海正. (2010). アカアマダイに対する鯛縄針とムツ針の選択性曲線の比較. 日本水産学会誌, 76(1), 46-53.

<資源生態>

林泰行. (1976). 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究-I. 日本水産学会誌, 42(11), 1237-1242.

林泰行. (1976). 東シナ海産アカアマダイの成長に関する研究-II. 日本水産学会誌, 42(11), 1243-1249.

林泰行. (1977). 東シナ海産アカアマダイの成熟と産卵に関する研究-I. 日本水産学会誌, 43(11), 1273-1277.

林泰行. (1979). 東シナ海産アカアマダイの成熟と産卵に関する研究-II. 日本水産学会誌, 45(12), 1475-1479. 入江春彦. (1955). 本邦産アマダイ属魚類に関する研究 2: アカアマダイの産卵期に就いて. 長崎大学水産学部研究報告, 3, 6-9.

井関智明, 町田雅春, 竹内宏行, 八木佑太, 上原伸二. (2017). 耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長. 日本水産学会誌, 83(2), 174-182.

河野光久, 天野千絵. (2008). 日本海南西海域におけるアカアマダイの産卵期・産卵場および仔魚の出現. 山口県水産研究センター研究報告, (6), 31-36.

北原武. (1985). 若狭湾におけるアカアマダイ資源量の変動特性とその平均世代時間. 日本水産学会誌, 51(2), 239-246.

松本洋典. (2017). 島根半島産アカアマダイの年齢組成推定. 島根県水産技術センター研究報告= *Report of Shimane Prefectural Fisheries Technology Center*, (10), 1-8.

松本洋典. (2019). 島根半島沖産アカアマダイの年齢査定手法についての検討. 島根県水産技術センター研究報告= *Report of Shimane Prefectural Fisheries Technology Center*, (12), 1-4.

Nohara, K., Takeuchi, H., Tsuzaki, T., Suzuki, N., Tominaga, O., Seikai, T. (2010). Genetic variability and stock structure of red tilefish *Branchiostegus japonicus* inferred from mtDNA sequence analysis. *Fisheries Science*, 76(1), 75.

尾崎仁, 飯塚覚, 宮嶋俊明, 濱中雄一. (2008). 若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長. 京都府立海洋センター研究報告, 30.

渡辺健一, 鈴木伸洋. (1996). 徳島県太平洋沿岸のアカアマダイの性分化, 成熟および産卵期. 日本水産学会誌, 62(3), 406-413.

- 山下秀幸. (2007). 東シナ海産アカアマダイの体長組成の海域差. 日本水産学会誌, 73(6), 1074-1080.
- 山下秀幸, 酒井猛, 片山知史, 東海正. (2011). 東シナ海産アカアマダイの成長と成熟の再検討. 日本水産学会誌, 77(2), 188-198.
- 横田高士, 三田村啓理, 荒井修亮, 光永靖, 竹内宏行, 津崎龍雄, 井谷匡志. (2004). 超音波バイオテレメトリーを用いた魚類の行動追跡手法-若狭湾および舞鶴湾におけるアカアマダイの研究例. 海洋理工学会誌, 10(1), 29-40.
- 柳本卓, 山下秀幸, 酒井猛, 明神寿彦, 小林敬典. (2010). DNA 多型分析によって明らかになったアカアマダイの集団構造. DNA 多型= *DNA polymorphism*, 18, 127-130.
- Yoo, J. T., Choi, Y. M., Kim, Y. H., Choi, J. H. (2008). Age and growth of the red tilefish, *Branchiostegus japonicus* in the northern East China Sea. *J. Environ. Biol*, 29, 437-441.

<種苗生産>

- 藤浪祐一郎, 竹内宏行, 津崎龍雄, 太田博巳. (2003). 若狭湾西部海域で漁獲されたアカアマダイの精巣重量と精巣精子の運動活性. 日本水産学会誌, 69(2), 197-200.
- 藤浪祐一郎, 竹内宏行, 津崎龍雄, 太田博巳. (2003). アカアマダイ漁獲鮮魚から採取した精巣精子の運動活性と冷蔵保存. 日本水産学会誌, 69(2), 162-277.
- 平井明夫, 奥村重信. (1990). アカアマダイの未受精卵と受精卵の卵膜微細構造. 水産増殖, 38(4), 361-365.
- 本藤靖. (2001). 人工授精によるアカアマダイの種苗生産. 栽培漁業技術開発研究, 28, 73-79.
- 生田哲郎. (1978). アカアマダイの種苗生産に関する基礎的研究-I 産卵誘発 人工ふ化 仔魚飼育について. 京都府海洋センター研報, 2, 76-82.
- 生田哲郎. (1978). アカアマダイの種苗生産に関する基礎的研究-II 人工ふ化仔魚の形態変化について. 京都府海洋センター研報, 2, 76-82.
- 清川智之, 堀玲子, 佐藤利夫. (2014). 小型水槽を使用したアカアマダイの種苗生産. 水産技術, 6(2), 147-159.
- 菊池達人. (2006). アマダイ類の栽培漁業化に向けた種苗生産技術の開発 (1). 高知県海洋深層水研究所報, (7), 7-13.
- 菊池達人. (2006). アマダイ類の栽培漁業化に向けた種苗生産技術の開発 (2). 高知県海洋深層水研究所報, (7), 23-42.
- 奥村重信, 廣瀬慶二. (1991). 凍結保存精子によるアカアマダイの人工受精. 水産増殖, 39(4), 441-445.
- 奥村重信, 今泉均, 中園明信. (1995). 飼育下でのアカアマダイの受精率の向上. 水産増殖, 43(4), 449-454.

- Okumura, S., Tanaka, T., Nakazono, A. (1996). Spawning and mucus-enveloped pelagic eggs of the red tilefish, *Branchiostegus japonicus* (Malacanthidae), reared in captivity. *Copeia*, 1996(3), 743-746.
- 竹内宏行, 本藤靖, 渡辺税. (2004). アカアマダイの中間育成における適正水温の把握について. 栽培漁業センター技報, (2), 80-82.
- 豊村晃丞, 水田篤, 松浦光宏, 中西健二, 有瀧真人. (2017). アカアマダイ人工種苗に発現する形態異常. 水産増殖, 65(2), 117-124.

<種苗放流>

- 濱中雄一, 町田雅春. (2010). イラストマー標識を付けたアカアマダイの再捕 (資料). 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, (32).
- 濱中雄一. (2010). 輸送中の照度によるアカアマダイ人工種苗の放流直後の行動について (短報). 京都府農林水産技術センター海洋センター研究報告, (32).
- 本藤靖, 益田玲爾, 津崎龍雄. (2002). アカアマダイ人工種苗の巣穴形成能力の発現. 栽培漁業技術開発研究, 29(2), 85-89.
- 河野光久. (2010). 山口県日本海沿岸域におけるさめ類によるアカアマダイ放流種苗の被食. 山口県水産研究センター研究報告, (8), 27-29.
- 河野光久, 山本健也. (2016). 山口県日本海沿岸域に放流したアカアマダイ人工種苗の再捕率及び移動. 山口県水産研究センター研究報告, (13), 1-4.
- 町田雅春, 竹内宏行, 中川亨. (2007). アカアマダイ人工種苗の巣穴形成に及ぼす標識の影響. 栽培漁業技術開発研究, 35(1), 23-27.
- 町田雅春, 竹内宏行, 中川亨, 升間主計. (2010). アカアマダイ人工種苗へ装着したイラストマー標識の有効性. 栽培漁業センター技報, (12), 44-48.
- 竹内宏行, 渡辺税, 中川亨. (2003). 若狭湾におけるアカアマダイの標識放流試験とその再捕状況. 栽培漁業センター技報, (1), 102-104.
- Yokota, T., Masuda, R., Takeuchi, H., Arai, N. (2016). Development of diel activity and burrowing behavior in hatchery-reared red tilefish, *Branchiostegus japonicus*, juveniles. *Aquaculture Science*, 64(2), 147-155.
- Yokota, T., Mitamura, H., Arai, N., Masuda, R., Mitsunaga, Y., Itani, M., ... Tsuzaki, T. (2006). Comparison of behavioral characteristics of hatchery-reared and wild red tilefish *Branchiostegus japonicus* released in Maizuru Bay by using acoustic biotelemetry. *Fisheries science*, 72(3), 520-529.
- Yokota, T., Masuda, R., Arai, N., Mitamura, H., Mitsunaga, Y., Takeuchi, H., Tsuzaki, T. (2007). Hatchery-reared fish have less consistent behavioral pattern compared to wild individuals, exemplified by red tilefish studied using video observation and acoustic telemetry tracking. *In Developments in Fish Telemetry* (pp. 109-120).

Springer, Dordrecht.

Yokota, T., Masuda, R., Takeuchi, H., Tsuzaki, T., Arai, N. (2007). Individual consistency between diel activity during rearing and behavior after release in red tilefish *Branchiostegus japonicus* revealed by laboratory observation and acoustic telemetry. *Fisheries science*, 73(3), 500-511.

Yokota, T., Machida, M., Takeuchi, H., Masuma, S., Masuda, R., Arai, N. (2011). Anti-predatory performance in hatchery-reared red tilefish (*Branchiostegus japonicus*) and behavioral characteristics of two predators: Acoustic telemetry, video observation and predation trials. *Aquaculture*, 319(1-2), 290-297.

<疾病防除>

西岡豊弘, 森広一郎, 菅谷琢磨, 竹内宏行, 津崎龍雄, 升間主計, 中井敏博. (2011). アカアマダイ種苗におけるウイルス性神経壊死症の発生とその防除対策. *水産増殖*, 59(2), 275-282.

竹内宏行, 升間主計, 渡辺税. (2008). オキシダント海水がアカアマダイ卵に及ぼす影響. *栽培漁業センター技報*, (8), 5-8.

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

⑨常磐海域のホシガレイの資源・生態調査

福島県水産資源研究所

平川 直人

【目的】

ホシガレイは魚価が高く、高い放流効果が期待されることから、新たな栽培対象種としての要望が高まっている。福島県沿岸におけるホシガレイは天然資源が非常に少なく、震災以前は漁獲物における放流個体混入率は 8 割を超えることもあり、資源は種苗放流によって支えられてきた。東北太平洋系群を広域連携で継続的に増殖管理するためには、海域間で連携した放流実証試験を行い、ホシガレイ資源解析と放流効果の調査体制を確立する必要がある。このため、本研究は、福島県内の主要漁港における市場調査と漁獲個体の年齢調査を行い、漁獲実態と放流効果を明らかにすることを目的とした。

【研究方法】

1) 種苗放流試験

福島県水産資源研究所で生産した全長約 7cm のホシガレイ種苗 8 万尾を 2020 年 6 月 2～3 日に相馬市松川浦湾口部に放流した。また、国立研究開発法人水産研究・教育機構東北区水産研究所宮古庁舎（以下、東北水研宮古庁舎）で生産した全長約 6cm の種苗 10 万尾を 2020 年 6 月 23、26、30 日にいわき市小名浜港内に放流した。なお、福島県水産資源研究所で生産した種苗、東北水研宮古庁舎で生産した種苗にはそれぞれ、ALC によって耳石輪紋に 2 重、1 重の標識を施標した。

2) 漁獲物調査

福島県主要魚市場（新地、相馬原釜、請戸、久之浜、沼之内沼内）における市場調査（全長測定、天然・放流の判別）や、緊急時放射線モニタリング調査等で得られた個体の精密測定（全長、体長、体重、性別、生殖腺重量、年齢等）を実施した。

3) 耳石年齢査定

福島県いわき市沖で 2019～2020 年に漁獲されたホシガレイについて、耳石年齢査定を行った。耳石は無眼側耳石を用い、実体顕微鏡下で耳石画像を取得し、耳石半径と各輪半径の計測を行った。耳石輪紋形成期は、月ごとの縁辺部における透明体の出現割合、縁辺成長率によって評価した。

【研究成果の概要】

1) 漁獲物調査

福島県では 2018～2020 年に 18.0～24.2 万個体のホシガレイ種苗を放流した（図 1）。この放流量は震災前 5 年間平均の約 5 倍であるが、2019 年と 2020 年漁獲物に占める放流個体割合はそれぞれ 1.9%、6.2%であった（図 2、3）。福島県の沿岸漁業は福島第一原子力発

電所事故の影響によって、現在も限定的な操業である試験操業に限られ、2019年の総漁獲量は、2010年の14.0%であった。一方、ホシガレイ漁獲量は2016年以降増加し、2019年は1.8トンであった(図4)。この量は2010年の58.1%であり、総漁獲量の比(2019年/2010年=14.0%)と比較しても高かった。これらのことから、福島県沿岸におけるホシガレイは、天然資源が増加しているものと推察された。

2) 耳石年齢査定

耳石の縁辺部における透明体の出現割合は、雌雄ともに冬期に上昇した(図5)。また、縁辺成長率は、雌雄ともに冬期に低下した(図6)。これら結果より、福島県沿岸におけるホシガレイの輪紋形成期は、冬期と考えられた。耳石年齢査定の結果、オスは2~7歳、メスは3~9歳の個体が確認された(表1)。震災以前の結果(島村ら, 2007)と比較した結果、雌雄とも各年齢の全長が大きい個体が多く、特にオスでその差は顕著であった(図7)。

【次年度に向けた提言】

福島県では、2018年以降、18万尾以上のホシガレイ種苗放流を実施してきた。福島県ではホシガレイの水揚げを全長30cm以上に制限していることから、これらの種苗が本格的に水揚げされるのは2020年度以降になり、今後も放流効果調査の継続が必要である。

また、ホシガレイ放流効果の検証には、十分な量の放流が必要であることから、現在の規模での放流を複数年継続して放流効果を検証する必要がある。

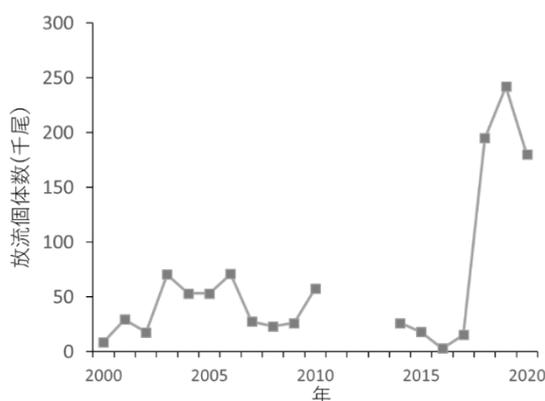


図1 福島県における2000-2020年のホシガレイ種苗放流個体数

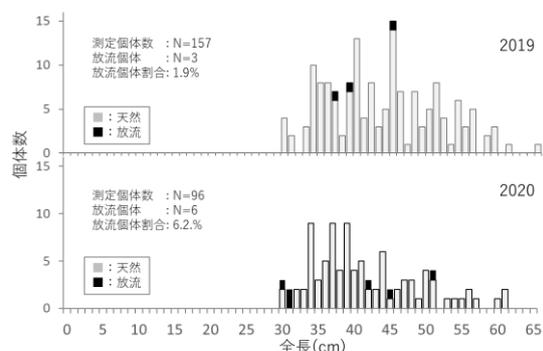


図2 相馬原釜地方卸売市場に2019-2020年に底びき網・さし網漁船によって水揚げされたホシガレイの全長組成

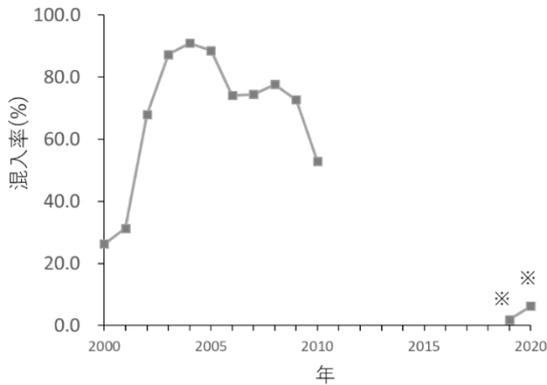


図 3 福島県における2000～2010年のホシガレイ混入率。※2019、2020年は調査個体に占める放流個体の割合

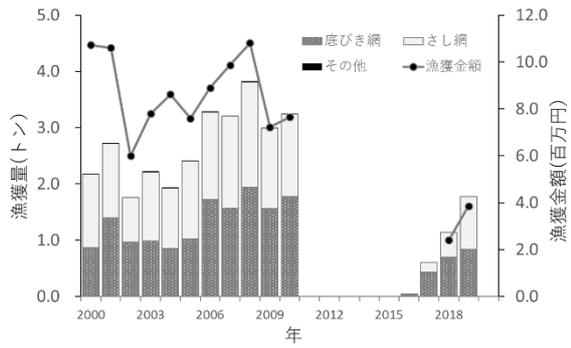


図 4 福島県における2000～2019年のホシガレイ漁法別漁獲量と金額。2016年以降は試験操業の値を示す。

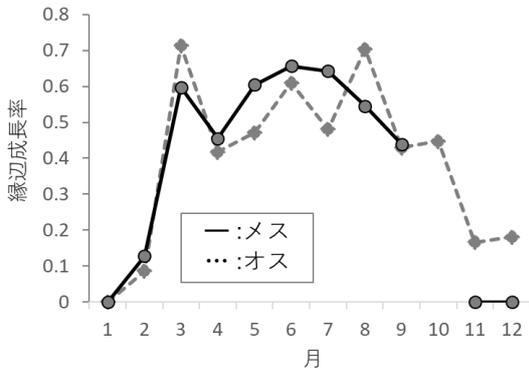


図 5 2019-2020年いわき市沖で漁獲されたホシガレイの雌雄別耳石縁辺成長率

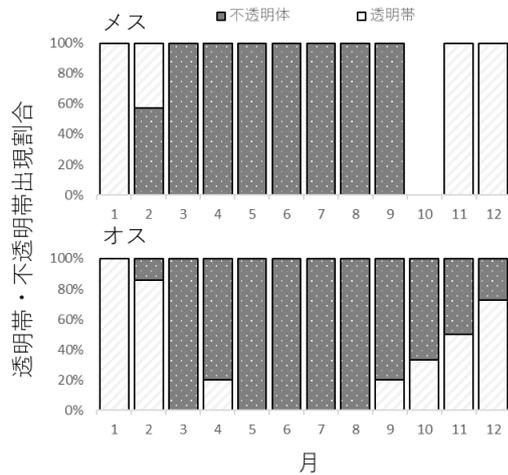


図 6 2019-2020年いわき市沖で漁獲されたホシガレイの耳石縁辺部における透明体出現割合。上段、下段はそれぞれメス、オスを示す。

表 1 ホシガレイの雌雄別耳石平均輪半径

性別	年齢	個体数	平均輪半径(mm)								
			r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9
オス	2	6	1.25	1.77							
	3	21	1.14	1.63	1.91						
	4	18	1.16	1.65	1.92	2.08					
	5	8	1.13	1.50	1.77	1.93	2.06				
	6	4	1.14	1.63	1.85	2.00	2.10	2.17			
	7	2	1.19	1.59	1.94	2.11	2.24	2.33	2.40		
	8	0									
メス	3	13	1.16	1.80	2.14						
	4	15	1.16	1.72	2.08	2.29					
	5	5	1.19	1.63	1.94	2.16	2.31				
	6	3	1.22	1.78	2.11	2.29	2.44	2.54			
	7	5	1.22	1.80	2.08	2.27	2.41	2.52	2.60		
	8	0									
	9	1	1.30	2.01	2.39	2.59	2.76	2.87	3.00	3.10	3.20

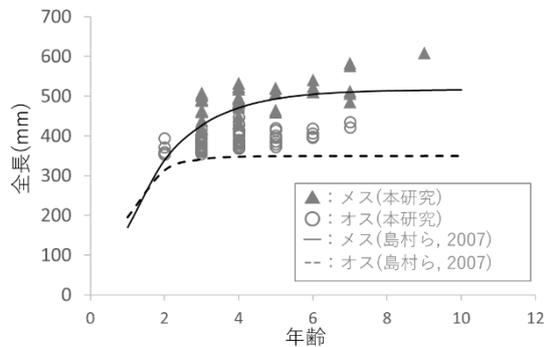


図 7 福島県沿岸におけるホシガレイの年齢と全長

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

⑩三陸海域のホシガレイの資源・生態調査

宮城県水産技術総合センター

上田 賢一・白石 一成・藤原 健

【目的】

宮城県内の主要漁港において漁獲量調査、漁獲されたホシガレイの買取調査（精密測定及び年齢調査）及び放流効果調査を行い、福島、岩手、宮城で連携した増殖管理を目指す。

【研究方法】

宮城県内の主要魚市場において、ホシガレイの水揚量調査及び買取調査（精密測定及び年齢調査）を行う。また、ホシガレイの水揚げが多い石巻魚市場において、水揚げされたホシガレイの全長測定、放流魚の混入率等の放流効果調査を行う。

【研究成果の概要】

（水揚量調査）

宮城県総合水産行政情報システムによる集計では、県内 9 魚市場の 2020 年 1～12 月のホシガレイ水揚量は 16.9 トンとなり、過去 5 ヶ年の平均（17.6 トン）と同程度であった（図 1）。

（水揚物調査）

2020 年 1～12 月に石巻魚市場に水揚げされたホシガレイの全長を測定した。全長範囲は天然魚（N=2,261）で 25～78cm、モードは 36cm と 47cm にみられた。一方、放流魚（N=93）の全長範囲は 29～60cm で、モードは 44cm と 47cm にみられた（図 2）。全測定数中のホシガレイの混獲率は 4.1%であった。

（買取調査）

2020 年 1～2 月に石巻魚市場に水揚げされたホシガレイ（放流魚：無眼側黒化）50 尾を買上げ、精密測定を実施した。このうち雄個体の全長は、1 歳魚で 30～32cm、2 歳魚で 30～40cm、3 歳魚で 30～42cm の範囲にあった。雌個体の全長は 1 歳魚で 36～42cm、2 歳魚で 42～52cm、3 歳魚で 40～52cm、4 歳魚で 48～50cm、7 歳魚で 64～66cm の範囲にあった。（表 1、図 3、図 4）。

（標識放流調査）

2017 年 8 月 25 日に万石浦針浜地先において、チューブ式タグを用いて 標識放流した 3,000 尾（全長 9～10cm）について、再捕状況を調べた（図 5）。宮城県内では、2018 年 8 月 22 日に石巻市田代島沖で 1 尾（全長 32cm）、同年 11 月 6 日に石巻市小湊浜沖で 1 尾（全長 37cm）がそれぞれ再捕されたほか、2020 年 7 月 15 日には、石巻市桃浦沖で 1 尾（全長 55cm）が再捕された（図 5）。また、2020 年 7 月 29 日には、福島県相馬市沖で 1 尾（全長

49cm) が再捕された (図 6)。

【次年度に向けて】

資源生態調査について県内魚市場の水揚調査、石巻魚市場での全長測定、放流魚混入調査、買上調査を計画的に実施できた。今後とも増殖管理の検討に必要なデータを蓄積していく。

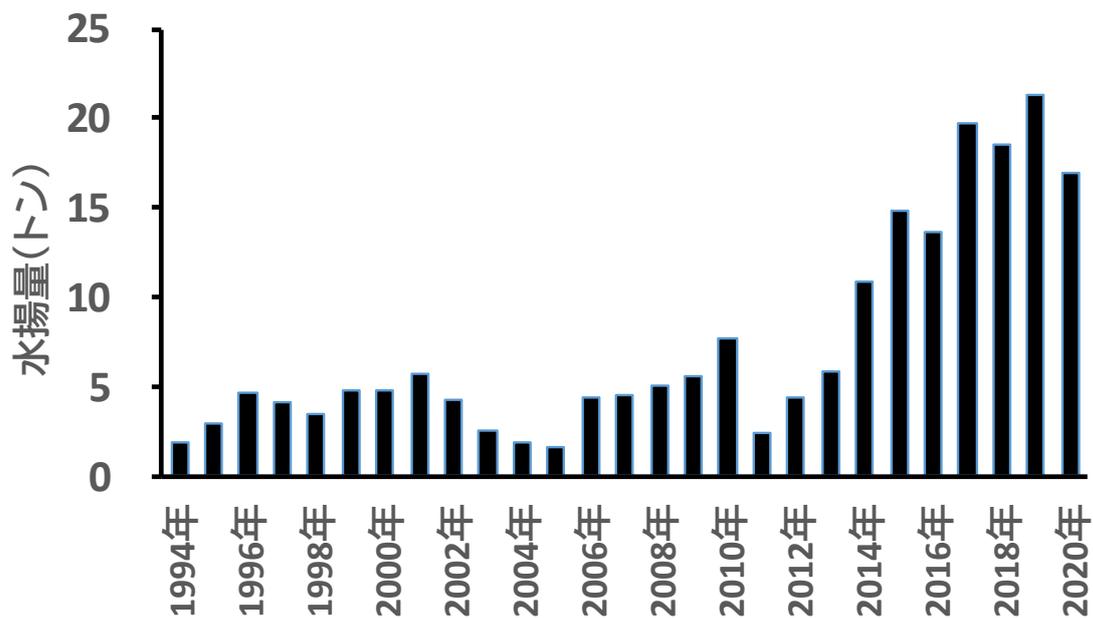


図 1 宮城県の水揚量の推移

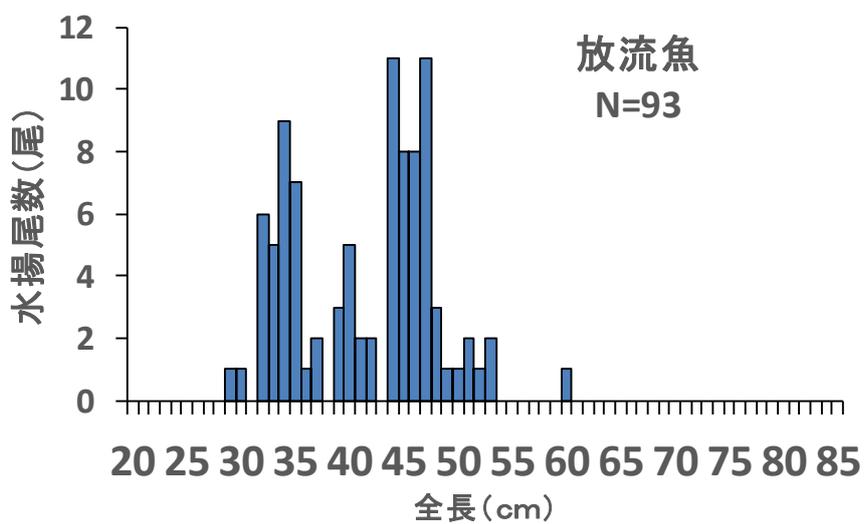
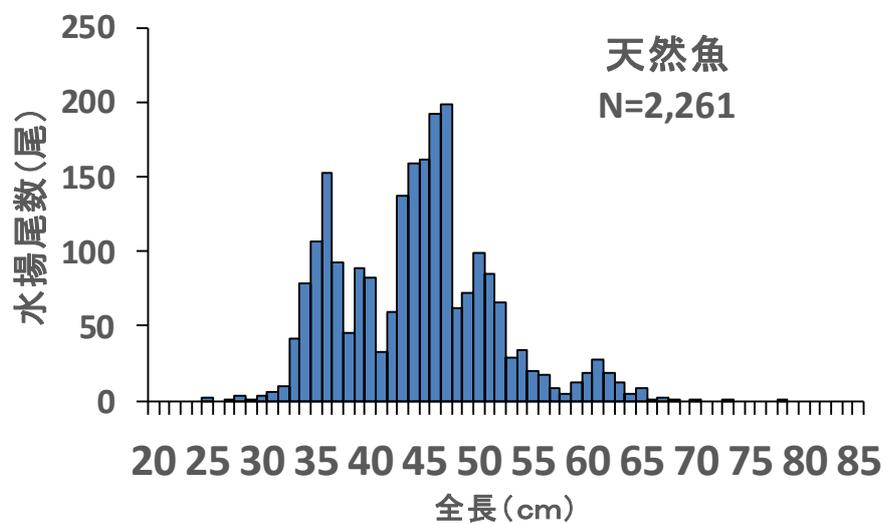


図2 ホシガレイ水揚物全長組成 (石巻魚市場)

番号	漁獲月日	漁業種類	全長(cm)	体重(g)	胃内容	胃内容重量(g)	性別	生殖腺重量(g)	年齢
1	8月9日	刺網	34.0	449.54	エビ類消化物・カニ類消化物	8.96	♂	0.41	2
2	8月9日	刺網	41.0	928.82	カニ類消化物	10.02	♀	46.45	3
3	10月15日	沖底	38.0	475.19	空胃		♂	5.27	2
4	10月15日	沖底	30.8	347.89	空胃		♂	1.75	1
5	11月4日	沖底	34.9	539.84	空胃		♂	7.42	2
6	11月4日	沖底	30.1	341.71	空胃		♂	5.16	2
7	11月4日	沖底	39.4	721.00	空胃		♂	11.62	2
8	11月25日	小底	49.0	1765.32	空胃		♀	250.31	2
9	11月25日	小底	49.0	1887.69	空胃		♀	179.49	2
10	11月25日	小底	47.0	1379.31	空胃		♀	118.32	2
11	12月3日	沖底	31.5	355.23	空胃		♂	4.52	2
12	12月3日	沖底	30.5	405.48	空胃		♂	6.76	2
13	12月3日	沖底	36.0	491.46	空胃		♂	8.36	2
14	12月3日	沖底	32.5	371.06	空胃		♂	5.53	2
15	12月3日	沖底	33.0	406.21	空胃		♂	7.54	2
16	12月3日	沖底	45.0	1119.18	空胃		♀	95.56	2
17	12月3日	沖底	41.0	754.89	空胃		♀	3.42	1
18	12月3日	沖底	37.0	559.41	空胃		♀	2.84	1
19	12月3日	沖底	34.6	468.32	魚類消化物	3.62	♂	6.65	2
20	12月3日	沖底	35.0	490.79	空胃		♂	7.71	2
21	12月3日	沖底	33.8	524.89	空胃		♂	0.34	2
22	12月3日	沖底	36.7	510.89	空胃		♂	11.36	2
23	12月3日	沖底	36.0	561.73	空胃		♂	16.69	2
24	12月9日	沖底	64.7	4177.89	空胃		♀	828.56	7
25	12月9日	沖底	34.0	471.86	空胃		♂	8.29	2
26	12月22日	小底	43.2	1211.70	カニ類	2.12	♀	153.58	2
27	12月22日	小底	49.6	1881.45	空胃		♀	373.11	2
28	12月22日	小底	42.9	1120.79	カニ類	7.77	♀	173.69	2
29	12月22日	小底	46.0	1094.28	カニ類	17.34	♀	5.55	2
30	12月23日	小底	37.0	635.47	空胃		♂	13.83	2
31	12月23日	小底	44.0	1078.81	空胃		♀	153.53	2
32	12月23日	小底	50.7	1749.85	空胃		♀	276.73	2
33	12月23日	小底	31.6	399.48	空胃		♂	8.42	1
34	12月23日	小底	32.0	373.25	空胃		♂	8.56	2
35	12月23日	小底	33.7	446.14	空胃		♂	12.66	2
36	1月28日	小底	52.0	1720.80	空胃		♀	33.01	3
37	2月3日	小底	45.0	1281.62	空胃		♀	141.54	3
38	2月3日	小底	34.9	563.02	空胃		♂	8.56	3
39	2月3日	小底	36.8	577.61	泥	2.08	♂	12.58	3
40	2月3日	小底	38.6	630.55	空胃		♂	4.54	3
41	2月4日	小底	33.4	402.41	カニ類消化物	3.39	♂	1.78	3
42	2月4日	小底	31.0	290.61	空胃		♂	2.75	3
43	2月4日	小底	34.8	449.86	空胃		♂	4.27	3
44	2月4日	小底	33.3	440.39	空胃		♂	4.67	3
45	2月4日	小底	34.3	439.91	空胃		♂	3.54	3
46	2月4日	小底	36.0	508.18	空胃		♂	1.45	3
47	2月4日	小底	37.0	524.14	空胃		♂	1.86	3
48	2月4日	小底	49.4	1598.98	魚類消化物	2.55	♀	26.40	4
49	2月11日	小底	38.5	607.06	カニ類	12.68	♂	2.25	3
50	2月11日	小底	40.6	695.25	カニ類・エビ類	4.85	♂	5.91	3

表1 ホシガレイ精密測定結果

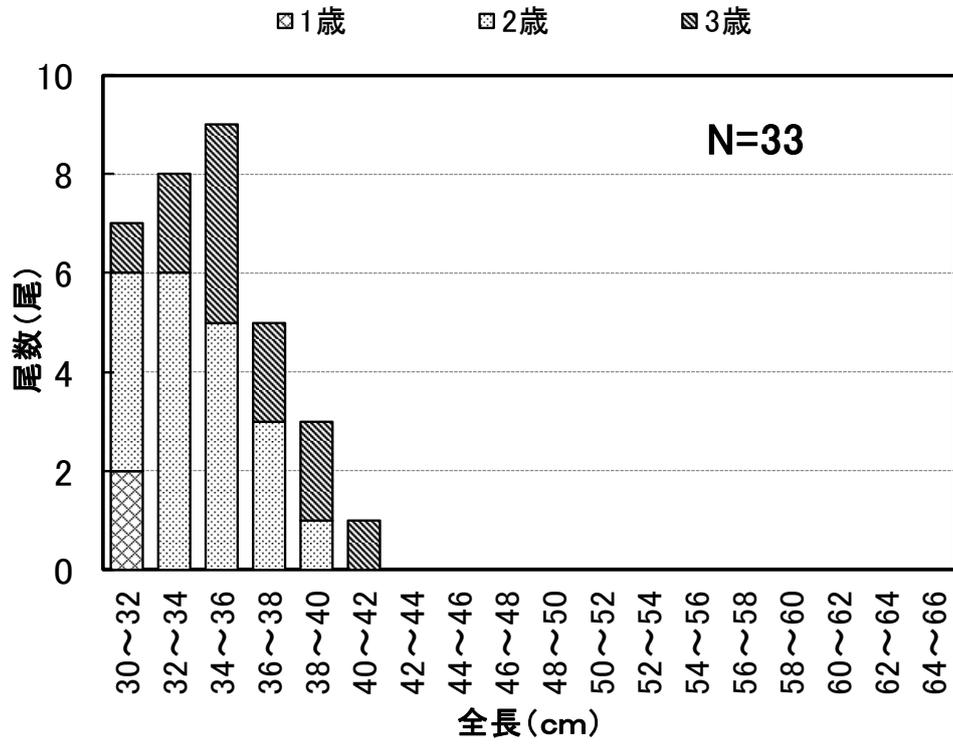


図3 ホシガレイ全長年齢別組成 (雄個体)

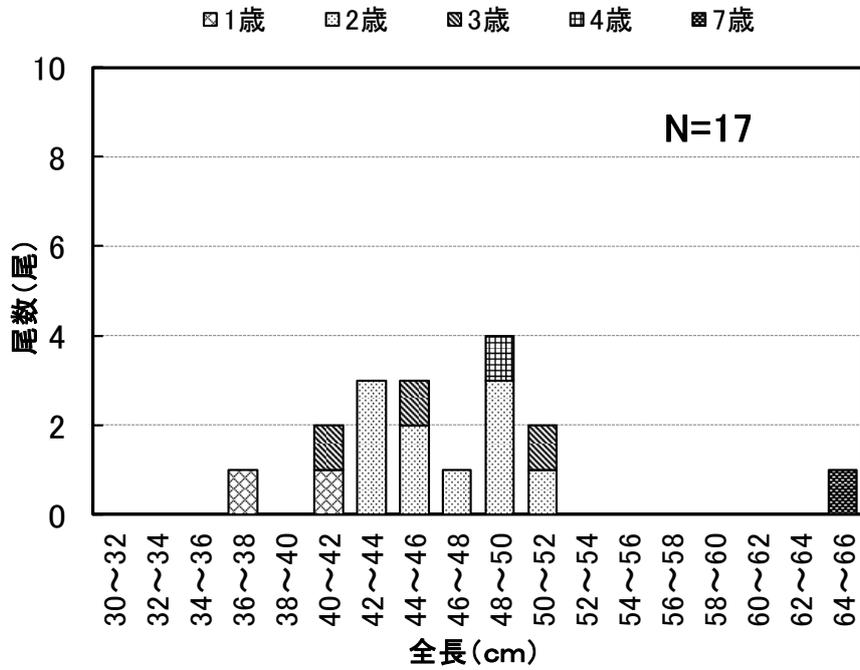


図4 ホシガレイ全長年齢別組成 (雌個体)

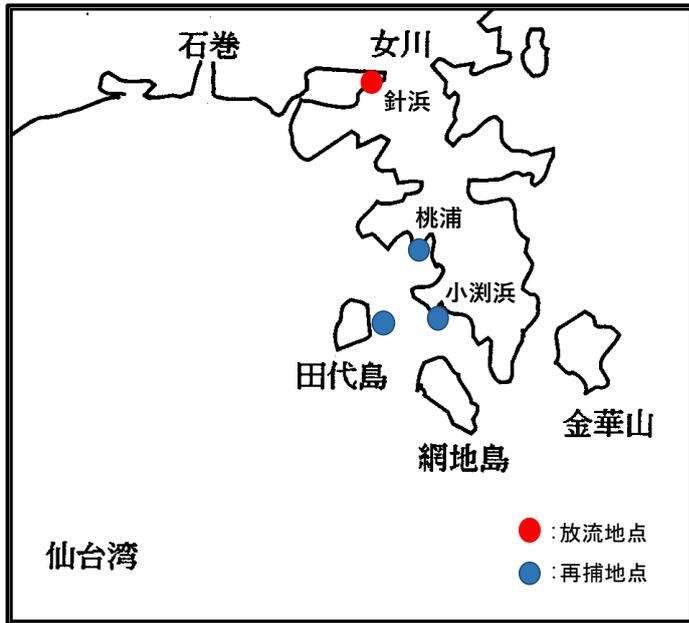


図5 標識魚の放流地点と再捕地点（宮城県内）



図6 標識魚の放流地点と再捕地点（福島県）

エ 技術を開発する魚種の自然界における生態等の把握

①三陸海域のホシガレイの資源・生態調査

(国研) 水産研究・教育機構 水産技術研究所

生産技術部

清水 大輔

【目的】

ホシガレイは、太平洋西部の沿岸域に分布するカレイ科魚類であり、その稀少性と市場価値の高さから、新たな増養殖の対象種として注目されている。特に 2011 年の東日本大震災で大きな被害を受けた東北太平洋沿岸では、沿岸漁業の復興に向けたシンボルとしてホシガレイの資源造成がニーズとして高い。

福島県、宮城県及び岩手県の東北太平洋沿岸に生息するホシガレイは、地域間で遺伝的な違いがないことから(關野ら 2011)、一つの繁殖集団「東北太平洋系群」であると考えられ、広域連携で増殖管理し利用する体制の構築が必要である。そのため、ホシガレイ東北太平洋系群の資源状態の把握、2018 年、2019 年に実施された大量放流の効果把握(2018、2019 年放流群)、さらには資源評価・放流効果の継続的な調査体制構築を目指す。

【研究方法】

岩手県の主要漁港において市場調査を行い、水揚げされたホシガレイの全長測定、放流魚の混入率等の放流効果調査を行う。また、水揚げされたホシガレイの一部を買取し、精密測定および年齢調査を行い、資源解析に必要なデータを蓄積する。

【研究成果の概要】

- 1) 宮古湾で放流したホシガレイが水揚げされる宮古魚市場において、2020 年 4 月～12 月に市場調査を行い(抽出率開設日の 76%)、水揚げされたホシガレイの全長測定、放流魚の混入率等の放流効果調査を行った。測定した 374 尾のうち放流魚は 127 尾で(混入率 84%)、全長範囲は 22～59cm、モードは 34cm と 48cm にみられた。現在のところ、2018 放流群の再捕は 104 尾、回収率 2.7%である。2019 年に放流した標識放流魚の採捕は無かった。
- 2) 2020 年 9 月～12 月に大船渡魚市場に水揚げされたホシガレイ 98 尾の買取を行った。この期間でのホシガレイの混獲率は 12.5%であった。現在、年齢査定を実施中である。

【次年度に向けた提言】

ホシガレイは水揚げが少なく高価であるため、資源解析に必要な Age-Length-key を作成するための精密測定を大量に行うことは困難である。そのため、毎年新たなキーを作成するのではなく、過去のデータを利用や毎年少しずつデータを積み重ねて更新していく必要がある。また放流魚の年齢情報の利用も検討していく。

計画は福島県・宮城県と連携して取り組み、種苗生産技術の普及、資源解析に向けたデータ蓄積ともに、計画どおり進んでいる。事業終了時は、東北3県で50万尾規模の量産技術が定着されると共に、ホシガレイ東北集団の資源評価、大量放流試験の放流効果把握（2018、2019年放流群）、資源評価・放流効果の継続的な調査体制が構築されることで、広域連携でホシガレイ東北集団を増殖・管理する体制が確立され、事業化に向けた検討が進められる。

参考文献

關野正志, 齊藤憲治, 清水大輔, 和田敏裕, 神山享一, 雁部聡明, Siqing Chen, 有瀧真人
(2011) Genetic structure in species with shallow evolutionary lineages: a case study of the rare flatfish *Verasper variegatus*., *Conservation Genetics*, 12(1), 139-159.

オ 検討会の開催

①現地検討会の開催

公益社団法人 全国豊かな海づくり推進協会

桑田 博

【目的】

現地検討会を開催することで、構成機関の連携強化を図り、技術開発を迅速かつ的確に推進する。

【実施成果の概要】

日時 令和2年12月8日（月） 13:30-16:30

場所 宮城県仙台市 TKP ガーデンシティ仙台カンファレンスルーム 30C（宮城県仙台市）

1. ホシガレイ資源生態・調査の進捗状況の検討

1) 水産研究・教育機構

この地域のホシガレイは、東京湾、瀬戸内海、東シナ海、渤海湾等とは独立した系群であり、3県（岩手・宮城・福島）が広域的に連携し、ホシガレイ東北太平洋系群として増殖・管理するのが適当。ホシガレイ栽培漁業技術開発が、水産庁補助事業や生研センター事業として行われてきたが、その中で50万尾規模の種苗生産技術が確立された。また、本事業が始まる令和元年度には、並行してホシガレイの資源評価事業も始まった。そこで、本事業では、R1～R3年度の間、ホシガレイの種苗量産技術に関係県の種苗生産機関に普及させるための技術指導を実施し、東北太平洋海域における本種の種苗生産体制を構築し、資源調査については、R3年度までは資源評価事業では天然魚調査を、本事業では放流魚の効果調査を行うことで仕分けした。

2) 宮城県水産技術総合センター

水揚げ量は震災前の1～5トンから震災後には15～20トンに増加したが、一方で混入率は40%から数%に低下しており、天然発生が増加したと考えられる。水揚げ協力金として8%を徴収しているが、漁獲量が増えているため漁業者に不満はない。しかし協力金で放流経費をすべて賄えるかという点、困難である。

漁獲魚のサイズのモードは、震災前には全長30cm前後にあったが、現在は45cm前後にあり、利用状態は悪くない。小型魚の漁獲が多かった沖底が、イカ狙いのために網を上げていて、小型魚の漁獲が少なくなっていることも影響している。65cmサイズの大型魚の水揚げ状態が資源状態の目安になる。震災前後のALKの比較を行う予定。

3) 福島県水産資源研究所

本事業では種苗生産と標識魚調査、操業記録の解析を行っている。混入率は、震災前の60

～80%から現在数%に下がっており、天然加入が増加したと考えられる。標識魚放流は2018年から20万尾前後に増やしていたのでこれからの漁獲増に期待している。

2. その他

・宮古庁舎ではR3年度までは本事業に取り組むので、ホシガレイ受精卵の供給が可能であるが、それで終わりとなる。その後の3県の連携体制も早めに協議が必要である。宮古庁舎のホシガレイ親魚と飼育技術は岩手県に技術移転を行っている。ホシガレイ親魚は周年継続して育成しないでも産卵前に親魚を収集して採卵する技術を確立して岩手県協会に技術移転した。ただし、岩手県協会もR4年度に供給を始めるのであれば、R3年度の早めに打診しないと急な準備はできない。そのため、各県では、岩手・宮城・福島の連携体制の構築の協議が必要なことを各県行政に伝えておいて欲しい。

・培漁業の連携体制については、県行政部局での調整が必要と思う。栽培漁業の広域連携の場での協議を考えてみたい。

令和 2 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（二枚貝）

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（二枚貝）グループ

令和 3 年 3 月

目 次

(1) はじめに	1
(2) 親貝の養成と採卵技術の開発	
① タイラギ親貝の養成と採卵技術の開発	8
② ハマグリ親貝の養成と採卵技術の開発	18
(3) 人工種苗生産技術の開発	
① タイラギ人工種苗生産技術の開発	24
② ハマグリ人工種苗生産技術の開発	
千葉県	30
愛知県	33
熊本県	40
(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発	
① 瀬戸内海東部海域におけるタイラギ育成技術の開発	45
② 瀬戸内海西部海域におけるタイラギ育成技術の開発	54
③ 東京湾におけるハマグリ育成技術の開発	62
④ 伊勢湾におけるハマグリ育成技術の開発	66
⑤ 有明海におけるハマグリ育成技術の開発	71
(5) 母貝団地造成技術の開発	
① 瀬戸内海西部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術の開発	74
② 大分県北部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術の開発	82
③ 三河湾におけるハマグリの母貝団地造成技術の開発	88
④ 伊勢湾におけるハマグリの母貝団地造成技術の開発	97
(6) DNA 標識技術の開発	
① 有明海におけるタイラギの DNA 標識技術の開発	101

(1) はじめに

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

伊藤 篤

【研究開発の目的】

近年、ホタテガイ、マガキを除く二枚貝は、全国的に漁獲量が低迷し、これまでのピークに比べ、タイラギは1/50、アサリは1/20、ハマグリは1/16にまで減少している。二枚貝に係る増殖等の取り組みは、漁協の単位などで行われてはいるものの、資源を回復させるまでには至らず、このままでは国内の二枚貝資源の安定供給に支障を来すことが懸念されている。タイラギとハマグリは有明海や伊勢湾等の地域特産種として象徴的な二枚貝であり、周辺各地では古くから無くてはならない重要食材として親しまれてきた。タイラギ漁はかつて有明海、瀬戸内海の地域経済を支える重要な産業でもあり、有明海では盛期に2万9千トンの漁獲があったが、資源量が激減したため、現在は休漁に追い込まれている。ハマグリ類は1965年には13,700トンあった漁獲が、1980年に2,000トン、2006年には867トン（うち有明海106トン）と低迷し、絶滅危惧種としてレッドリストに掲載されている状況である。

このような国内資源状態の中で需要に対応するために、両種は中国、台湾、韓国等からの輸入に依存するようになっており、ハマグリは国内流通量の90%以上、タイラギは約80%が輸入されている。しかし、輸入量の不安定性、貝毒や農薬の検出等による食の安全・安心の毀損、産地偽装や不当表示、輸入活貝に混在して国内に侵入する有害寄生生物や外敵生物による在来二枚貝への悪影響や遺伝的攪乱など、さまざまな問題が懸念されている。こうした水産業のみならず社会問題を背景として、両種の資源回復のための抜本的な方策が、漁業者や消費者から強く望まれている。

そこで、技術的課題の多いハマグリおよびタイラギの安定的な人工種苗生産技術の開発に取り組むとともに、親貝集団を造成するための稚貝育成技術を開発することで資源回復に向けた手法を開発することを目的とする。本事業は主要な産地である東京湾、三河湾、伊勢湾、瀬戸内海および有明海を中心として研究開発に取り組み、ハマグリおよびタイラギ資源の減少が著しい各海域へ広く成果を普及することを最終目標として、関係機関が有機的に連携した態勢で実施する。

【目標設定の妥当性】

タイラギの浮遊幼生は、D型幼生への変態直後から個体同士が凝集し、気泡や水面、飼育水槽の壁面および底面等に付着して死亡するものが多い。このため、アサリ・マガキ等の一般的な二枚貝類幼生飼育に用いられる飼育方法ではわずか数日しか飼育できず、人工種苗の生産ができなかった。この原因として幼生による粘液分泌、殻の物理化学的性状などが考えられているが、明確な結論は得られていない。このような状況の中で国立研究開発法人水

産研究・教育機構では、平成 23～27 年にかけて、タイラギ浮遊幼生の飼育装置の改良等に取り組み、平成 25 年に浮遊幼生から変態した稚貝（着底稚貝）の生産に初めて成功し、従来の生産記録（平成 18 年に長崎県総合水産試験場が生産した稚貝 1,500 個体）を大幅に更新する着底稚貝 7 万個体の生産を達成した。また、平成 27 年には 190 万個体を生産するなど、大量種苗生産技術は徐々に向上しつつある。しかしながら、親貝の養成と採卵技術はいまだに不安定であり、人工種苗を用いた増養殖技術への展開に必要な、脆弱な稚貝から小型サイズまでの中間育成技術、母貝団地造成技術および再生産への寄与を把握するための DNA 標識技術については未開発の状態である。タイラギは古くから水産物として利用されているにもかかわらず、その生態や生理特性には不明な点が多く、着底稚貝以降の好適な飼育・餌料環境については十分に把握されていない。成貝までの育成技術の不安定さと、成貝の適正環境等の知見の少なさが母貝団地造成の隘路となっており、その技術開発が喫緊の課題となっている。

一方、ハマグリの子種苗生産研究は 1950～80 年代にかけて取り組まれていたが、受精卵から稚貝までの生残率が低く、稚貝からの成長が遅く放流効果も低かったことから、ほとんどの機関で技術開発の取り組みを中止していた。近年、千葉県水産総合研究センターによって浮遊幼生期及び初期稚貝の飼育・餌料条件が見直され、1,000 万個体以上の着底直前幼生（フルグロウン期）の飼育が可能となったが、未だに着底期前後に原因不明の大減耗を引き起こすことが問題となっている。また、初夏に採卵、育成した稚貝は秋季には殻長 2 mm 程度に成長するが、秋～冬季はカゴ等により保護育成しても生残が低く、成長も停滞するなど、育成は困難であるのが現状である。本種の人工種苗を活用した母貝場造成を行うためには、これらの問題を解決していく必要がある。

本研究開発では、これらの問題を解決するためにタイラギとハマグリの飼育研究に実績のある複数の機関が連携し、従来の飼育手法の検証と改良を行うとともに、他貝種で開発された飼育手法や機器類などを導入することで、両種の種苗生産技術の開発を迅速かつ確実に遂行する計画となっている。さらに、母貝団地を造成するために適した環境条件を調査し、母貝場として適正と判断された海域に人工種苗を放流し、その母貝場における放流個体の成長と生残、成熟と産卵の調査（タイラギ、ハマグリ）や DNA 標識技術に基づく再生産効果の調査（タイラギ）を行うことで、天然資源への加入量の底上げに貢献することを目標としている。

以上の理由から研究目標は「栽培漁業総合推進委託事業（新たな栽培対象種の技術開発促進）」の目的を達成するために妥当であると考えられる。

【研究開発の内容】

（1）全体計画

本研究開発（全体計画 5 年間）では、タイラギとハマグリについて、親貝の養成と採卵技術、人工種苗生産技術、人工種苗から成貝までの育成技術、母貝団地造成技術

および DNA 標識技術を開発する。親貝の養成と採卵技術では、天然採苗が難しいハマグリとタイラギについて、飼育環境下での良質な親貝の養成と、対象種に応じた産卵誘発等の採卵技術を開発する。人工種苗生産技術では、タイラギ、ハマグリについて、飼育環境における水温、栄養条件、餌料密度、飼育密度等を変化させ、大量死亡時期等の把握から、幼生飼育で回避すべき条件の検討および着底までの飼育方法の検討等を行う。人工種苗から成貝までの育成技術では、タイラギ、ハマグリについて、種苗生産された稚貝が移植可能と考えられる殻長サイズまでの飼育試験を行い、効率的・効果的に成貝まで育成する手法を検討する。母貝団地造成技術では、タイラギ、ハマグリについて、人工種苗を天然海域に移植し、成長、生残、成熟の調査を行い、母貝団地の造成手法を検討する。DNA 標識技術では、タイラギについて、母貝団地に用いた人工種苗の再生産への寄与を把握し、効果的な母貝団地の造成を図るため、遺伝子型を分析し、DNA 標識技術を開発する。

なお、本事業では、実施計画及び実施結果について意見を求めるため、種苗生産・放流技術に精通した外部有識者を招聘し、検討会を各 1 回開催する。また、構成機関の連携強化を図り、技術開発を迅速かつ的確に推進するために、必要に応じて貝種ごとの現地検討会を開催する。

具体的な研究開発課題と担当機関は以下のとおりである。

(2) 研究開発課題と担当機関

1. 親貝の養成と採卵技術の開発

①タイラギ親貝の養成と採卵技術の開発：

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

②ハマグリ親貝の養成と採卵技術の開発：

熊本県水産研究センター、国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

2. 人工種苗生産技術の開発

①タイラギ人工種苗生産技術の開発：

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

②ハマグリ人工種苗生産技術の開発：

千葉県水産総合研究センター、愛知県水産試験場、熊本県水産研究センター

3. 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

①瀬戸内海東部海域におけるタイラギ育成技術の開発：

香川県水産試験場

②瀬戸内海西部海域におけるタイラギ育成技術の開発：

山口県水産研究センター 内海研究部

- ③東京湾におけるハマグリ育成技術の開発：
千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所
- ④伊勢湾におけるハマグリ育成技術の開発：
三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室
- ⑤有明海におけるハマグリ育成技術の開発
熊本県水産研究センター

4. 母貝団地造成技術の開発

- ①瀬戸内海西部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術：
山口県水産研究センター 内海研究部
- ②大分県北部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術：
大分県農林水産研究指導センター 水産研究部
- ③三河湾におけるハマグリ母貝団地造成技術の開発：
愛知県水産試験場 漁業生産研究所
- ④伊勢湾におけるハマグリ母貝団地造成技術の開発：
三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室

5. DNA 標識技術の開発

- ①有明海におけるタイラギの DNA 標識技術の開発：
国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所

6. 検討会の開催

- ①研究推進会議の開催：
国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所
- ②現地検討会の開催：
国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所（タイラギ）
千葉県水産総合研究センター（ハマグリ）

【研究内容と方法】

1. 親貝の養成と採卵技術の開発

- ①タイラギ親貝の養成と採卵技術の開発

担当機関：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

瀬戸内海および有明海産のタイラギ親貝を、三重県五ヶ所湾に位置する南勢庁舎地先筏および香川県屋島湾に位置する屋島庁舎地先筏から垂下して養成飼育する。生殖巣が十分発達した時期に産卵誘発を行い、時期による誘発に対する反応率の違い、誘発に反応して産卵する個体としない個体の成熟状況との関係を明らかにし、安定的な成熟・採卵技術開発に

取り組む。

②ハマグリ親貝の養成と採卵技術の開発

担当機関：熊本県水産研究センター、国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

有明海産の天然親貝を確保し、肥満度・成熟・水温等の経時変化を把握しデータを蓄積することで、産卵可能時期を把握し、親貝養成・採卵時期を検討する。さらに、千葉県水産総合研究センターで実施している産卵誘発手法を活用して安定採卵手法の検証に取り組む。

2. 人工種苗生産技術の開発

① タイラギ人工種苗生産技術の開発

担当機関：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

タイラギの浮遊幼生を飼育するために、瀬戸内海区水産研究所において開発した連結式飼育装置などを用いて、餌料プランクトンの種類が浮遊幼生の成長や生残に与える影響を調べて、人工種苗生産技術の安定化を検討する。

② ハマグリ人工種苗生産技術の開発

担当機関：千葉県水産総合研究センター、愛知県水産試験場、熊本県水産研究センター

千葉県水産総合研究センターの研究成果を活用してD型幼生から着底稚貝まで飼育し、特に、一番課題となっている着底が開始されるフルグロウン期から稚貝期初期の大量減耗に対処するため、栄養条件（複合餌料）及び着底前後の飼育水の好適塩分濃度を検証する。

3. 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

① 瀬戸内海東部海域におけるタイラギ育成技術の開発

担当機関：香川県水産試験場

着底直後の脆弱な殻長1cm程度の稚貝を、干潟に設置した容器や小割生簀から垂下した容器で飼育し、地先海域を利用したコストパフォーマンスの高いタイラギの飼育方法を検討する。

② 瀬戸内海西部海域におけるタイラギ育成技術の開発

担当機関：山口県水産研究センター

垂下カゴ等を用いて効率的な放流種苗の育成技術を開発する。種苗の収容密度と成長、生残との関係など、最適な条件を検討する。

③ 東京湾におけるハマグリ育成技術の開発

担当機関：千葉県水産総合研究センター

得られた着底稚貝を幼生飼育と同様のダウンウェリング方式による飼育装置を活用して、干潟への放流サイズまで育成するための飼育技術を開発する。さらに、成長が見込まれる春季に干潟域で被覆網を活用した稚貝保護育成試験を実施し、簡便な被覆網の設置方法を検討する。

④ 伊勢湾におけるハマグリ育成技術の開発

担当機関：三重県水産研究所

伊勢湾におけるハマグリの主産地である桑名地区において、人工種苗をかご等に収容して野外飼育し、成貝まで低コストで飼育する技術を開発する。野外飼育する適地・環境条件は、後述する天然ハマグリの分布中心における水質等の調査結果にもとづいて決定する。

⑤ 有明海におけるハマグリ育成技術の開発

担当機関：熊本県水産研究センター

種苗生産した着底稚貝を、陸上水槽（ダウンウェリング）、ブラウンウォーター給餌で干潟への放流サイズまで育成する飼育技術を開発する。

4. 母貝団地造成技術の開発

① 瀬戸内海西部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術の開発

担当機関：山口県水産研究センター

好適な環境条件を解明し、放流条件（放流サイズなど）と放流手法（網の設置など）を組み合わせた効果的な母貝団地の造成方法を検討する。

② 大分県北部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術の開発

担当機関：大分県農林水産研究指導センター水産研究部

大分県北部海域において、海底移植による増殖試験を実施し、成長や成熟等を調査することにより、人工種苗等を用いたタイラギ母貝団地造成の技術開発に取り組む。

③ 三河湾におけるハマグリの母貝団地造成技術の開発

担当機関：愛知県水産試験場

種苗生産及び中間育成によって得られたハマグリ稚貝を効率的、効果的に資源として、あるいは母貝となるように供給するにはハマグリの生活史に沿った種苗放流技術の開発が必要であることから、三河湾のハマグリがどのサイズの時期にどこに分布するのかを明らかにし、その環境要因を抽出して放流適地の選定を行う。

④ 伊勢湾におけるハマグリの母貝団地造成技術の開発

担当機関：三重県水産研究所

種苗の放流適地を明らかにするため、伊勢湾における天然ハマグリの主産地である桑名地区において、天然ハマグリの分布調査を実施する。また、分布中心の水質等の環境条件を確認する。選定した放流適地に種苗を放流し、かぶせ網等による母貝団地の造成技術を開発する。

5. DNA 標識技術の開発

① 有明海におけるタイラギの DNA 標識技術の開発

担当機関：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所

有明海産タイラギにおける一塩基多型 (SNP) サイトの情報をもとに、質量分析に基づく

遺伝子型決定に用いる領域特異的 PCR プライマーおよび一塩基伸長プローブを設計し、血縁解析のための SNP マーカーを開発する。

6. 検討会の開催

① 検討会の開催

担当機関：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

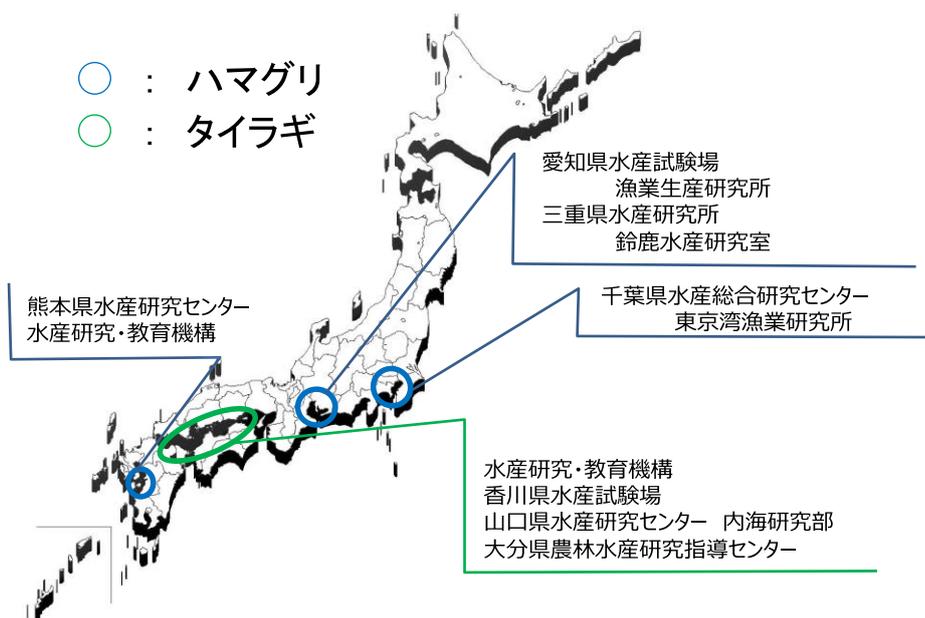
外部有識者を招聘し、年度ごとの研究計画と成果の取り纏め等を検討するための検討会を年2回開催する。

② 現地検討会の開催

担当機関：国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所（タイラギ）、
千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所（ハマグリ）

構成機関の連携強化を図り、技術開発を迅速かつ的確に推進するために、必要に応じて現地検討会を開催する。

貝種と実証試験海域



(2) 親貝の養成と採卵技術の開発

① タイラギ親貝の養成と採卵技術の開発

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

松本 才絵・船山 翔平・淡路 雅彦

小島 大輔・前田 雪・山田 充哉

1) 親貝養成

【目的】

種苗生産、中間育成を経て、低水温に耐久性のあるサイズのタイラギ稚貝を母貝場に移植するには、天然の産卵期より早期（5月）に採卵する必要がある。これまでに早期採卵のための親貝養成は、天然海域での垂下飼育後に陸上水槽で給餌飼育して行ってきたが、昨年度は天然海域での垂下飼育のみで養成することができた。今年度は天然海域での垂下飼育のみによる親貝養成手法の再現性を確認する。

【研究方法】

瀬戸内海産と有明海産のタイラギを親貝として養成した。

香川県高松市沖で採集され屋島湾で垂下飼育した個体（以降、高松産天然貝と呼ぶ）を、2020年1月から採卵直前の2020年5月まで三重県五ヶ所湾で垂下飼育によって養成した。

有明海産親貝は、2019年12月に佐賀県沖で採集された50個体（以降、2019年佐賀県産天然貝と呼ぶ）、2020年1月に福岡県沖で採集された25個体（以降、福岡県産天然貝と呼ぶ）、2020年3月に佐賀県沖で採集採取された50個体（以降、2020年佐賀県産天然貝と呼ぶ）であり、それぞれ採集後から採卵直前の2020年5月まで三重県五ヶ所湾で垂下飼育によって養成した。

垂下飼育中は水温やクロロフィル値を取得し、5月中旬には雌雄を判別するとともに、一部個体をサンプリングして生殖腺指数（以下 IOV）や生殖巣の発達状況を組織学的に調べた。

【研究成果の概要】

高松産天然貝は、生殖腺の発達状況を確認するため5月12日に雌雄2個体ずつをサンプリングしたところ、IOVが20～31で、いずれも成熟期にあると考えられた。さらに垂下飼育を継続し、メス13、オス4個体を5月20日に水産技術研究所百島庁舎へ送付し、翌21日に採卵した。

2019年佐賀県産天然貝50個体、福岡県産天然貝25個体、2020年佐賀県産天然貝50個体は、それぞれ2019年12月28日、2020年1月16日、3月6日に五ヶ所湾での垂下飼育を開始した（表1）。雌雄判別時（5月12日、14日）にはそれぞれ38、16、48個体が生存していた。生殖腺の発達状況を確認するため5月14日に雌雄2個体ずつをサンプリングしたところ、IOVが23～39で、いずれも成熟期にあり、生殖腺が十分に発達していると考え

られたので、5月中に採卵することにした。さらに垂下飼育を継続し、採卵用に送付するため5月25日に確認したところ、2019年佐賀県産天然貝は雌雄判別からの約10日間で21個体が死亡したのに対し、福岡県産天然貝、2020年佐賀県産天然貝ではこのような大量死はみられなかったことから、採卵用には2020年1月からと3月から垂下飼育の福岡県産天然貝15個体と佐賀県産天然貝30個体の合計45個体（メス20個体、オス25個体）を供した。これらの個体は5月26日に百島庁舎へ送付し翌27日に採卵した。

【次年度に向けた提言】

タイラギを三重県五ヶ所湾で垂下飼育すると、水温は3～5月に15～20℃に上昇し、その間生殖腺が成長初期から成熟期を示すまでに発達し、IOVが上昇することが以前の調査から明らかになっていた。しかし近年の黒潮大蛇行の影響で、五ヶ所湾においても貧栄養、高水温の状態が続いている。五ヶ所湾は冬期も海水温が10℃以下にならない温暖な海域であったが、黒潮の影響で、2018年の冬以降最低水温が15℃前後の高水温の状態が続いている。このため成熟の進行は早めで、一方貧栄養のため生殖腺重量増加の進みは遅い。このように、生殖腺の発達状況が以前とは異なる可能性を考慮して親貝を養成する必要がある。

昨年度は有明海産の親貝が養成中に大量に死んだため、今年度は垂下飼育開始後定期的に生存を確認した。5月の雌雄判別時まで大量死はみられなかったが、5月15日から25日の間に2019年12月から垂下飼育した群で38個体中21個体が死んだ。この群は他の群よりも垂下飼育開始が早く最も成熟が進んでおり、成熟が進んだ状態での雌雄判別作業が大量死の原因になったと考えられる。大量死を避けるために、垂下飼育開始時期を遅らせること、雌雄判別を早めに実施することに留意する必要がある。

表1 五ヶ所湾で垂下飼育した有明海由来タイラギ個体数の推移

	佐賀県産	佐賀県産	福岡県産
南勢へ送付	50個体	50個体	25個体
垂下時期 (五ヶ所湾)	2019年12月	2020年3月	2020年1月
雌雄判別時	38個体	48個体	16個体
採卵用送付時	17個体	46個体	15個体
百島へ送付		30個体	15個体
2021年1月	4個体	4個体	

2) 採卵

【目的】

有明海各県のタイラギ種苗生産のバックアップとして、有明海産タイラギから採卵して孵化幼生を得る。瀬戸内海各県が実施する増殖技術開発試験のため、瀬戸内海産タイラギから採卵して孵化幼生を得る。

【研究方法】

有明海産タイラギの採卵では、親貝として佐賀県および福岡県産天然貝を用いた。各個体の外套膜の粘液を採取して QuickGene DNA 組織キット S (富士フィルム和光純薬株式会社) で DNA を抽出し、ミトコンドリア DNA の COI 領域を LAMP (loop-mediated isothermal amplification) 法で増幅して種判別を行った。LAMP 法による種判別は Hashimoto et al., (2018) の方法で行い、有鱗型に相当する L2 型と判別された個体のみを採卵に用いた (102 個体中 95 個体が L2 型)。

2020 年 5 月 25 日、南勢庁舎の筏から供試貝を陸揚げして陸上水槽で馴致した。5 月 26 日、メス 20 個体オス 20 個体を百島庁舎へ宅配便で発送した。5 月 27 日、到着時の水温は 19.7°C で約 20 分間干出した。オス 1 個体を解剖して精子懸濁海水を作製し (精巢 21.5g/200L、水温 25°C)、全個体を浸漬した。30 分後、海水 300L を追加した。浸漬から約 1 時間後に放精と放卵が観察され、約 2 時間後までにメス 7 個体オス 14 個体が反応した。卵を含む海水を 105 μ m 目合いのポリエチレンネットに通してゴミを除き、17 μ m ネットで卵を回収した。卵は 25°C の精密濾過海水で洗浄・計数して、水槽底面積あたり 4500 個/cm² を目安に孵化水槽に収容して水温 25°C、微通気で孵化させた。5 月 28 日、ふ化幼生数を計数して、幼生飼育水槽に移送した。

5 月 27 日に採卵した親貝を水温 20°C で給餌飼育して、6 月 25 日に 2 回目の採卵を行った。約 20 分間干出した後に精子懸濁海水 (精巢 20.7g/200L、水温 25°C) にメス 14 個体オス 17 個体を浸漬した。約 30 分後に放精、約 1 時間後に放卵が観察された。約 3 時間後までにメス 8 個体オス 10 個体が反応した。卵の回収、洗卵、孵化管理は 1 回目の採卵と同様に行った。

瀬戸内海産タイラギの採卵には、高松産天然貝を用いた。2020 年 5 月 19 日、南勢庁舎の筏から供試貝を陸揚げして陸上水槽で馴致した。5 月 20 日、メス 13 個体オス 4 個体を百島庁舎へ宅配便で発送した。5 月 21 日、到着時の水温は 17.3°C で、全個体をたわしで洗浄した (約 10 分間)。オス 1 個体を解剖して精子懸濁海水を作製して (精巢 28g/200L、水温 25.2°C)、全個体を浸漬した。30 分後、海水 300L を追加した。浸漬から約 2 時間後に放精、約 3 時間後に放卵が観察された。約 6 時間後までにメス 6 個体オス 2 個体が反応した。卵の回収、洗卵、孵化管理は有明海由来のタイラギと同様に行った。

【研究成果の概要】

採卵結果を表 2 に示した。有明海産タイラギからは 1 回目に約 1 億粒、2 回目に約 2.2 億粒の卵が得られ、瀬戸内海産タイラギからは約 2.1 億粒の卵が得られた。これらの卵数は孵化率を考慮しても種苗生産するのに十分な数である。放卵放精はオスから始まり、放卵率は 35 から 57%、放精率は 59 から 74% とオスの方が高い傾向であった。孵化率は 50 から 96% で、同一採卵日でもふ化水槽によって大きな差がみられた。受精卵に関与した親貝の違い、洗卵

のタイミング、孵化幼生のサンプリングの偏り等が影響している可能性が考えられ、今後対策が必要である。今回は同じ親貝から約 1 か月の間隔を空けて 2 回の採卵に成功した。タイラギの幼生飼育は未だ不安定なので、常に採卵できるよう 20°C に冷却して給餌飼育を行った。その結果、採卵可能な状態を約 1 か月間維持できた。近年天然貝の入手が難しいため、少数の親から安定的に採卵する技術として重要と考える。有明海産の親貝については、採卵に用いた全個体の閉殻筋を冷凍保存して、「DNA 標識技術の開発」課題へ提供した。

【次年度に向けた提言】

二枚貝類から採卵した卵の状態を評価する方法として、卵径、受精率、孵化率、D 型変態率等が知られているが、タイラギの場合、放卵放精の時間差や幼生の付着特性の問題から、採卵作業と並行して正確な調査を行うことは難しい。現行の調査方法による孵化率は、ばらつきが大きく信頼性が低いため、卵の状態を評価するには不十分である。卵の状態を把握することは、浮遊幼生の飼育成績を評価する上でも重要であるため、より簡便で正確な調査方法を開発する必要がある。

【参考文献】

Hashimoto Kazumasa, Yamada, Katsumasa, Nagae, Akira, Matsuyama Yukihiro (2018). Lineage specific detection of the scaly form of the pen shell *Atrina* spp. by a loop-mediated isothermal amplification method. *Fisheries Science* 84. 10.1007/s12562-018-1231-4.

表 2 有明海と瀬戸内海由来の親貝からの採卵結果

		採卵誘発個体数		放卵・放精率 (%)		採卵数 (万粒)	ふ化率 (%)	
		メス	オス	メス	オス			
有明海	5月27日	20	19	35.0	73.7	9,880	50.1	56.9* ¹
	6月25日	14	17	57.1	58.8	22,200	65.3	97.7* ²
瀬戸内海	5月21日	13	3	46.2	66.7	21,297	66.9	96.2

*1：同一時刻に異なる孵化水槽から採取

*2：異なる時刻に同一の孵化水槽から採取

3) 人工受精

【目的】

これまでにタイラギ卵巣片からコラゲナーゼ消化して単離卵を得て、それをレチノイン酸処理することで卵成熟を誘起して、人工受精できることを明らかにした。この方法による受

精卵から孵化した幼生を給餌飼育することで稚貝が得られ、人工受精により種苗生産できることを確認したことから、本技術の普及を目指し種苗生産事例をさらに増やすことを目的とした。

【研究方法】

2020年7月8日に香川県水産試験場において、試験場筏で垂下飼育していた天然採集個体を親貝として人工受精を行った。翌9日には幼生が得られ給餌飼育を行った。

【研究成果の概要】

香川県水産試験場筏で垂下飼育していたタイラギを雌雄4個体ずつ解剖した。雌雄判別でオスと判定されていた4個体のうち1個体は雌雄同体、1個体はメスであったので、オス2 (IOV34と36)、メス4 (IOV25-37) 個体を人工受精に使用した。使用した貝の生殖腺の発達度は、組織観察より成熟期と放出期を示していた。メス個体毎の採取卵数は、11.3～25.0万/卵巣1gであり、これまで行ってきた人工受精の結果と同程度であった。得られた受精卵の一部を受精率、孵化率算出用にメス個体毎に5Lビーカーに収容し、残りはまとめて500L孵化水槽に収容した。翌日得られた孵化幼生は、香川県水産試験場で給餌飼育されたが18日目に全滅した。

【次年度に向けた提言】

人工受精に垂下飼育親貝を用いた場合、産卵期には生殖腺が発達し十分量の卵を採取することができ、孵化率は概ね30%以上であることがわかっている。香川県水産試験場筏で垂下飼育したタイラギの産卵期については以前の調査より7月下旬～8月と考えられたが、2019年は7月23日には既に産卵してしまった個体が多く認められた。このため、まだ産卵していない個体を使用できるように2020年は7月8日に人工受精を行った。卵巣1g当たりの採取卵数はこれまで行ってきた人工受精の結果と同程度であったが、水槽に収容できた卵数は昨年度よりも少なめであった。メス1個体から採取できる卵数が少ない場合は、人工受精に使用するメス個体数を増やすことで、水槽への収容卵数を増やせる可能性がある。

4) 関連技術開発

4-1) 産卵誘発刺激における精巣懸濁液の適正濃度の検討

【目的】

二枚貝類に対する産卵誘発刺激は、セロトニンや過酸化水素などの化学的刺激、生殖巣の懸濁液や微細藻類などの生物学的刺激、水温や塩分などの物理的刺激がある。百島庁舎ではこれらを元にタイラギ親貝に適した産卵誘発刺激を探索し、現在では30分以内の干出、5℃以上の水温上昇、精巣懸濁液の添加による刺激を与えている。この中で特に重要な刺激と考

えられる精巢懸濁液を作製するには、成熟したオスを解剖する必要がある。タイラギは準絶滅危惧種に指定されており入手自体が難しいため、解剖する個体数は少ないほど望ましい。そこで本研究では、経験的に目安としている精巢懸濁液濃度 0.1g/L よりも低濃度における産卵誘発効果を調べることで、解剖個体数低減の可能性について検討した。

【研究方法】

本試験を実施するにあたり産卵誘発刺激に反応する時期を把握する必要があるため、時期による誘発に対する反応率の違い、誘発に反応して産卵する個体としない個体の成熟状況を調べた。使用したタイラギは、百島庁舎の実験池、百島庁舎の陸上水槽、広島県尾道市沿岸、香川県屋島湾の4か所で垂下養成した。各養成群の産卵誘発刺激に対する放卵放精率および成熟指標として内臓指数を比較し、本試験で使用する群と時期を決定した。

産卵誘発試験は、試験例数を増やすために昨年度開発した個別産卵誘発法を活用した。20°Cで飼育したタイラギを約20分間干出して、25°Cの精巢懸濁海水の入った10Lバケツに個別に収容した。百島庁舎における産卵誘発処理は、200Lの水量に対して20個体程度の親貝を浸漬するため、1個体あたり10Lの水量に設定した。精巢懸濁液濃度は、経験的に採用としている0.1g/Lを基準として、0.01g/L、0.001g/Lの3段階とした。その後1時間おきに新しい25°Cの海水に入れ替えた。放卵放精の観察は、精巢懸濁海水に浸漬後3時間まで行った。試験は2020年7月6日から28日の間に12回実施した。

【研究成果の概要】

各養成群の放卵放精率と平均内臓指数を表3に示した。百島実験池区と百島陸上水槽区の個体は放卵放精が殆ど観察されず、内臓指数は16と13であった。一方、尾道沿岸区と屋島湾区は放卵と放精が観察され、内臓指数は24から41であった。両区とも産卵誘発日が遅くなるほど内臓指数が低下する傾向がみられた。時期による誘発に対する反応率の違いに明確な差は見いだせなかったが、放卵放精する集団は内臓指数が24以上であった。以上の結果から、本試験では尾道沿岸区および屋島湾区のタイラギを使用することとした。

各濃度試験区の反応率、放卵率、放精率を図2に示した。雌雄合計とオスの反応率は、最高濃度の0.1g/L区が0.01g/L区よりも有意に高かった(Tukey法、 $P < 0.05$)。メスの反応率は、0.1g/L区が最も高かったものの他試験区との有意差がなかった($P \geq 0.05$)。3試験区中で0.1g/L区が最も放精促進効果が高かったことから、0.1g/Lよりも低濃度では産卵誘発による反応率が低下する可能性が示された。したがって、解剖個体数の低減は難しく、1回の採卵に対して20gの精巢を準備する必要があると考えられた。

【次年度に向けた提言】

精巢懸濁液が濃いほど高い産卵誘発効果を示す可能性が示されたが、近年タイラギの入手は困難になっており、解剖する個体を増やすことは難しい。冷凍した精巢でも産卵誘発効

果があれば、親貝に余裕がある時に保存することで貴重な親貝を節約できる。冷凍した精巢懸濁液の誘発効果およびその保存条件等を調べる必要がある。

表3 各養成群の採卵日、使用個体数、放卵・放精率、内臓指数

試験区	採卵日	個体数	放卵率(%)	放精率(%)	内臓指数 (平均値±SD)
百島実験池	7/2	25	4.0	0.0	16.1±3.06 ^{ac}
	7/3	19	0.0	0.0	
	7/16	6	0.0	0.0	
	7/17	6	0.0	0.0	
百島陸上水槽	6/17	21	0.0	0.0	13.4±2.30 ^a
	6/18	16	0.0	0.0	
	7/16	4	0.0	0.0	
	7/17	4	0.0	0.0	
尾道沿岸	6/30	36	8.9	0.0	33.4±10.99 ^b
	7/1	35	0.0	25.7	
	7/14	12	0.0	0.0	
	7/15	11	0.0	36.4	
屋島湾	6/24	36	44.4	66.7	40.7±1.78 ^b
	7/6	12	33.3	33.3	30.7±13.98 ^{bc}
	7/9	8	0.0	60.0	

表中の異なるアルファベットは統計的有意差を示す（一元配置分散分析後 Tukey 法で多重比較、 $P < 0.05$ ）

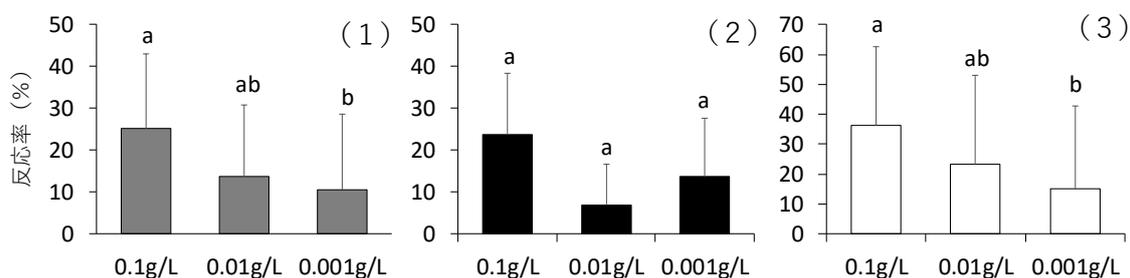


図1 産卵誘発刺激によるタイラギの反応率

(1)は雌雄合計 ($n = 12$)、(2)はメス ($n = 5$)、(3)はオス ($n = 12$) の結果を示す。縦軸は放卵あるいは放精した割合、横軸は精巢懸濁液の濃度、図中の異なるアルファベットは統計的有意差を示す (Kruskal-Wallis 後 Tukey 法で多重比較、 $P < 0.05$)

4-2) 生体組織採取検査（バイオブシー）方法の確立

【目的】

タイラギ親貝の成熟状態を、個体を生かしたまま確認するには、低温麻酔をかけて目視で生殖巣の発達状態を観察する必要がある。しかし、目視確認による成熟状態の判定は精度が低く、またこの操作自体が産卵誘発の刺激となり得るため、現状は養成飼育した親貝を産卵期に無作為に抽出して産卵誘発や人工受精に用いている。親貝の成熟状態を、個体を生かしたまま把握することができれば、親貝を効率的に選別し、より安定的に受精卵を得ることができる。そこで本研究では、バイオブシーによりタイラギ親貝の卵を採取する方法を検討し、それにより得られた卵を用いてレチノイン酸処理による卵核胞崩壊 (GVBD) が誘導される割合 (GVBD 率) を求めることで、卵の状態を調べた。

【研究方法】

上述の「2) 採卵」の項目で説明された手順で養成した高松産天然貝、および有明海産天然個体から生産した人工種苗を水産研究・教育機構 屋島庁舎の筏で 1 年以上養成した個体、合計 20 個体に対してバイオブシーを行い、その後の産卵誘発処理に対する反応率と生残率、および得られた卵の GVBD 率を調べた。

バイオブシー操作は次の通り行った。まず、タイラギの殻を開口器で開き、100 μ l の海水を含んだ 18G の注射器を挿入して卵巣に突き刺した。シリンジを引いて注射器内にピンク色の生体試料が採取されたことを確認して、卵巣からシリンジを抜いた。シリンジ内の生体試料を、精密ろ過海水を 1 ml 入れた 1.5 ml チューブに出し、2 回遠心分離と精密ろ過海水の添加を行なって洗浄して、卵を得た。バイオブシー操作後、産卵誘発処理を上述の「4-1) 産卵誘発刺激における精巣懸濁液の適正濃度の検討」の項目で説明された手順で実施し、反応率を調べた。また、バイオブシー操作後、2 週間以上の飼育を行って、7 月 31 日時点での生残率を調べた。

GVBD 率は次の通り行った。バイオブシー操作で得られた卵に対して、1 μ M レチノイン酸/精密ろ過海水を添加して 25°C 30 分インキュベートすることでレチノイン酸処理を行い、反応終了時に卵をエタノール固定した。DAPI 染色により核を可視化し、核の状態を観察して GVBD 率を算出した。

【研究成果の概要】

バイオブシー実施日、バイオブシー実施後に産卵誘発処理に反応した日、および死亡が確認された日を表 3 に示した。バイオブシー操作を実施した 20 個体中、産卵誘発に反応したのは 5 個体で、その反応率は 25%であった。また、7 月 31 日時点での生残個体は 15 個体で、生残率は 75%であった。産卵誘発に対する反応率は、「4-1) 産卵誘発刺激における精巣懸濁液の適正濃度の検討」の図 1 に示された産卵誘発刺激に対する反応率と比較して差のない値であり、また大量死が見られなかったことから、本研究で実施したバイオブシー操作は個

体の産卵誘発反応率および生残率に大きな影響を与えないと考えられた。

次に、バイオブシーで得られた卵の GVBD 率と産卵誘発に対する反応の有無を図 2 に示した。産卵誘発に反応した個体と反応しなかった個体で GVBD 率に顕著な違いは見られなかった。一方、各実施日における GVBD 率の平均値は、時期依存的に変化する傾向が見られた。特に、同一個体(#6 および#7)の GVBD 率は、7 月 8 日と 7 月 20 日で後者の方が低い値を示しており、同一個体でも時期依存的に GVBD 率が変化する可能性が示唆された。レチノイン酸による GVBD 誘導は、人工受精を成立させるために必須の反応であり、レチノイン酸によって GVBD が誘導されない卵は、精子と混合しても受精に至らない。本研究で確立したバイオブシー法を用いて、親貝を生かしたまま卵を採取し、その GVBD 率を調べて、高い GVBD 率を示す個体を親貝として人工受精に供することにより、親貝を節約しながら数多くの受精卵を確保する効率的な種苗生産が実施できると期待される。

【次年度に向けた提言】

本研究で確立したバイオブシー操作は、親貝の産卵誘発反応率や生残率に大きな影響を与えなかったが、シリンジ吸引により生じる陰圧によって、採取した卵に対して一定の物理的損傷を与えていた可能性がある。バイオブシーに用いる器具を再検討して、卵に対する損傷が小さくなるようにバイオブシー操作を改良する必要がある。また、得られた卵は洗浄後も一部が卵塊の状態であったため、正確な GVBD 率を求めるためにはコラゲナーゼ処理が必須と考えられる。

【参考文献】

Awaji Masahiko, Matsumoto Toshie, Ojima Daisuke, Inoue Shunsuke, Suzuki Michio, Kanematsu Masaei (2018). Oocyte maturation and active motility of spermatozoa are triggered by retinoic acid in pen shell *Atrina pectinata*. Fisheries Science 84. Pp535-551.

表 4 バイオプシーを実施した個体の産卵誘発反応日および死亡日

個体 ID	由来	バイオプシー実施日	バイオプシー後の放卵日	死亡日
1	高松天然	7/1, 7/20	-	-
2	高松天然	7/6, 7/20	-	7/27
3	高松天然	7/6, 7/20	7/20	-
4	高松天然	7/6, 7/20	-	-
5	高松天然	7/8, 7/20	-	-
6	高松天然	7/8, 7/20	-	-
7	高松天然	7/8, 7/20	7/9	7/22
8	高松天然	7/8, 7/20	7/9	-
9	高松天然	7/8, 7/20	7/9	-
10	高松天然	7/8, 7/20	7/9	-
11	高松天然	7/8, 7/20	-	-
12	有明人工	7/13	-	-
13	有明人工	7/13	-	-
14	有明人工	7/13	-	-
15	有明人工	7/13	-	-
16	有明人工	7/13	-	7/13
17	有明人工	7/13	-	7/23
18	有明人工	7/13	-	-
19	有明人工	7/13	-	7/19
20	有明人工	7/13	-	-

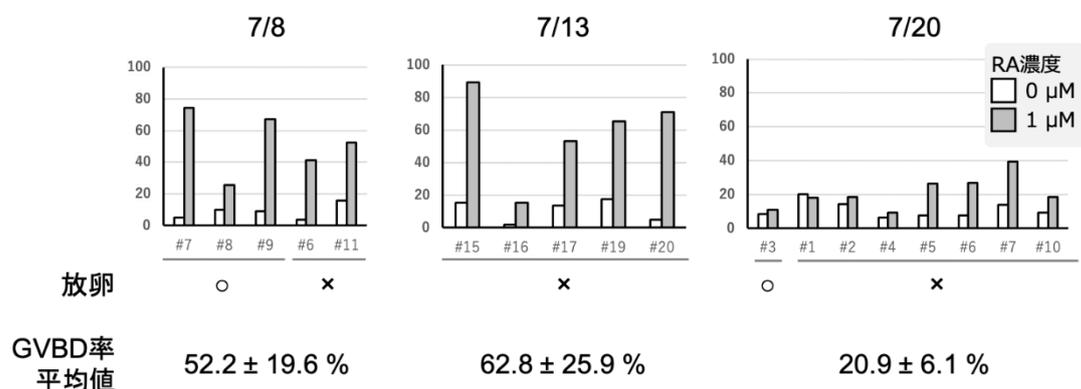


図 2 バイオプシーにより得た卵の GVBD 率と産卵誘発処理に対する反応の有無
○：産卵誘発により放卵した個体、×：産卵誘発により放卵しなかった個体

(2) 親貝の養成と採卵技術の開発

② ハマグリ親貝の養成と採卵技術の開発

熊本県水産研究センター

徳留 剛彦・中野 平二

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

松本 才絵

【目的】

ハマグリは、二枚貝の中でもアサリと並び、重要な水産資源として利用されてきたが、熊本県では、2006年には漁獲が106トンとピーク時の50分の1にまで減少している。ハマグリ資源の回復のためには、人工種苗を用いた母貝団地造成が必要とされており、安定的な人工種苗生産から母貝団地造成までの技術開発が不可欠となっている。

本研究では、種苗生産に必要な良質な卵を大量に確保するため、生殖腺成熟状況の調査と採卵技術を開発することを目的とした。

【研究方法】

① 生殖腺成熟状況の調査

1) サンプルング

2020年5月21日～10月19日の期間、熊本市地先の緑川漁場(図1)から汐毎にサンプル(大サイズ5個、小サイズ10個)を入手し、殻高、殻長、殻幅、殻付重量、むき身重量を測定し、肥満度を算出した。測定後サンプルをDavidson液で固定し、水産技術研究所に送付した。

2) 組織観察

軟体部をDavidson液で固定した軟体部の中央部を切り出しパラフィン包埋して切片を作製し、ヘマトキシリン・エオシン染色後に検鏡した。生殖腺の発達段階は、未分化期、成長初期、成長後期、成熟期、放出期、退行期の6段階に分類し、松本等(2014)に従って判定した。

3) 積算水温の検討

2020年1月24日～9月3日までの間、ペンダントデータロガー(Onset社製)を緑川河口域のハマグリ漁場のハマグリが潜砂していると考えられる砂面から10cm程度の位置に埋めて設置し、チョウセンハマグリの生物学的零度と言われている11℃から実際に産卵誘発に反応する日までの積算水温について検討を行った。

② 採卵技術の開発

1) 使用した親貝

川口漁業協同組合の生産者が緑川河口域で採捕したハマグリ(大サイズ、小サイズ)を買い上げ、採卵試験の親貝とした。持ち帰った親貝は、17℃に設定した恒温室内に設置した100Lパンライト水槽に収容し、1日以上静置してから採卵誘発に用いた。

2) 採卵誘発方法

採卵誘発は、大サイズと小サイズで分けて行い、50L アルテミア孵化水槽に棒状の 150W ヒーターを投入し、水温 20℃から 30℃まで、1~2℃/時間のペースで水温を上昇させる緩慢昇温刺激で行った。水温が 25℃を超えた時に、あらかじめオスから切り出した生殖腺懸濁海水を添加し、誘発刺激を行った。

得られた受精卵は、メッシュネット（目合：180 μ m（ゴミ取り用）、30 μ m（回収用））を用いて回収・洗卵した後、孵化水槽（200L パンライト水槽）に收容し、ウォーターバスもしくは空調にて水温が 25℃を下回らないように調整して孵化まで静置した。卵の收容密度は、3,500 個/cm³以下となるように收容し、採卵した翌日に、表層に浮いている幼生を回収し、計数した。

【研究成果の概要】

① 生殖腺成熟状況の調査

1) サンプルング結果

サンプルング回次別の測定結果を表 1 に、期間中の推移を図 2 に示した。

大サイズの平均殻高は 45.84~52.92mm、平均殻長は 55.55~64.34mm、平均殻幅は 29.64~34.06mm、平均重量は 49.35~69.85g、平均むき身重量は 7.81~15.44g、肥満度は最高が 5 月 21 日の 16.3、最低が 10 月 1 日の 8.5 であった。

小サイズの平均殻高は 29.61~34.85mm、平均殻長は 34.71~40.72mm、平均殻幅は 19.13~21.83mm、平均重量は 12.87~19.57g、平均むき身重量は 1.87~3.49g、肥満度は最高が 5 月 21 日の 15.9、最低が 10 月 1 日の 9.2 であった。肥満度は昨年度、今年度共に 7 月上旬から下旬にかけて低下しており、調査海域ではこの時期に産卵しているものと考えられた（図 2）。

2) 成熟状況調査結果

組織観察したハマグリ（大サイズ 5 個体、ただし 5 月 21 日のみ 10 個体、小サイズ 10 個体）生殖腺の発達段階を図 3 に示した（左：大サイズ、右：小サイズ）。大サイズでは調査開始時の 5 月 21 日に既に主に成熟、放出期を示しており、その後も同様の傾向が続いた。8 月 4 日には退行期の割合が増加し、肥満度の低下もみられることから 7 月 20 日から 8 月 4 日の間に大規模な産卵があったと考えられる。9 月 19 日以降は退行期を示す割合が増加した。小サイズにおいては、5 月 21 日から 6 月 18 日までは大サイズと同様に主に成熟、放出期を示していたが、7 月 2 日には退行期を示し産卵したと考えられる個体が認められた。8 月 4 日以降は放出期と退行期を示し、肥満度の低下からも多くの個体が産卵したと考えられる。9 月 19 日以降は雌雄の判別もできない未分化期を示す個体が認められるようになり、ほぼ産卵は終了したと考えられた。

3) 積算水温の検討

漁場水温と積算水温の推移を図 4 に示す。高島ら（2001 年）の報告に基づき、生物学的

零度を 11℃と仮定して検討した結果、漁場水温が 11℃を上回った 2 月 20 日から採卵可能となった 6 月 3 日までの積算水温は 1,744℃となった。高島ら (2001 年) の報告では、チョウセンハマグリにおける積算水温は 2,000℃と推定されており、有明海のハマグリでは、それよりも低い可能性が考えられた。

② 採卵技術の開発

採卵誘発試験を 7 回行い、その結果を表 2 に示した。初回の 5 月 21 日は両サイズ、6 月 18 日は大サイズが誘発に反応しなかったが、それ以外の採卵誘発では受精卵を得ることができた。6 月 3 日に大サイズ、小サイズともに採卵可能となり、7 月 20 日の採卵で大サイズが 4,220 万粒、小サイズが 2,040 万粒と採卵数がピークとなった後、8 月に入ると採卵数が減少するとともに、産卵誘発開始から放卵・放精するまでの時間が長くなる傾向があった。孵化率は大サイズが 36.6~63.2%、小サイズは 39.2~70.9%であり、正常 D 型幼生の割合は大サイズが 52.4~85.0%、小サイズは 29.5~90.1%であった。正常 D 型幼生の割合は採卵の回次ごとにばらつきが大きく、サイズ毎の卵質の影響より、卵の収容密度との間に強い負の相関 (相関係数: -0.82) が見られた。(図 5)

今年度の採卵試験では、親貝 1 個体あたりの産卵数 (万粒)、孵化率 (%) を乗じて、誘発に使用した親貝 1 個体あたりから生まれる幼生数を算出した結果、大サイズでは 7 月 20 日の採卵結果が最も良く、小サイズでは 6 月 18 日の採卵結果が最も良く、6 月中旬から 7 月下旬が採卵適期であると推察された。

【次年度に向けた提言】

① 生殖腺成熟状況の調査

成熟の指標となる肥満度については、令和元年度冬季が記録的な暖冬であったことから、昨年と同様に 5 月下旬の早い時期から高い数値となっており、組織観察においても成熟期、放出期が確認されたことから、産卵可能となる時期が早かった可能性が考えられた。

積算水温の検討では、ハマグリは生物学的零度が何℃であるか正確な知見がないため、次年度産卵期の調査に向けて 1 月からのサンプリングを行い、生殖腺発達が始まる時期と水温について検討する必要がある。来年度の調査では、引き続き同様の方法でサンプリングと組織観察を行うとともに、成熟と水温の関係を考察するため、漁場での水温ロガー等を用いた連続測定を行い、積算水温や成熟状況のデータを蓄積する必要がある。

② 採卵技術の開発

今年度の試験においても、緩慢昇温刺激による産卵誘発方法により安定して産卵することができたため、緩慢昇温刺激による誘発方法は有効であることが確認できた。

今年度の試験では、6 月上旬から 7 月下旬までは比較的安定した採卵が可能であり、生殖腺観察においても成熟した個体が多く観察されていたが、8 月に入り梅雨明けの水温上昇とともに漁場海域での産卵が進んだと考えられた。そのため、来年度の試験においては 5 月中下旬から、漁場海域で産卵が行われ採卵数が減少すると考えられる 8 月上旬まで潮

毎に採卵を行うとともに、生殖腺観察の状況と突き合わせ、成熟・産卵状況に関するデータを蓄積する必要がある。

参考文献

松本等、日本国内6地点におけるアサリの生殖周期 日本水産学会誌、80、548-560(2014)

高島葉二、鹿島灘はまぐりの産卵期－II 茨木水試研報 39、7～14 (2001)

【図表】

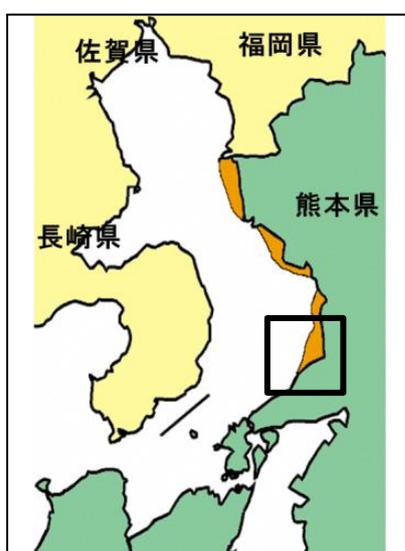


図1 ハマグリ採取場所

表1 サンプル測定結果

大サイズ						
採取日	平均殻高 (mm)	平均殻長 (mm)	平均殻幅 (mm)	平均重量(g)	平均むき身 重量(g)	肥満度
5月21日	47.75	57.17	30.24	52.21	13.74	16.3
6月5日	47.10	57.15	30.37	51.37	13.04	16.0
6月18日	50.85	60.18	31.94	63.66	15.44	15.2
7月2日	45.84	55.55	31.00	49.99	12.14	15.2
7月20日	47.12	57.29	30.84	52.07	11.66	13.9
8月4日	46.34	56.27	29.64	49.35	8.07	10.2
8月18日	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8月31日	49.31	59.03	31.41	55.85	9.01	9.7
9月19日	46.83	57.63	30.97	50.32	7.81	9.4
10月1日	52.92	64.34	34.06	69.85	9.89	8.5
10月19日	48.22	57.99	30.43	56.52	7.99	8.9
小サイズ						
採取日	平均殻高 (mm)	平均殻長 (mm)	平均殻幅 (mm)	平均重量(g)	平均むき身 重量(g)	肥満度
5月21日	30.37	36.08	19.49	14.51	3.49	15.9
6月5日	30.35	35.50	19.71	14.62	3.44	15.6
6月18日	30.55	35.49	19.50	13.97	3.38	15.8
7月2日	29.61	34.71	19.18	12.87	2.90	14.6
7月20日	31.82	37.99	20.40	16.59	3.36	13.4
8月4日	31.79	35.85	20.94	17.24	2.97	12.6
8月18日	34.85	40.72	21.83	19.57	3.23	10.2
8月31日	30.67	36.02	19.42	14.32	2.39	11.1
9月19日	32.68	39.36	21.32	16.82	2.88	10.5
10月1日	29.83	35.05	19.13	13.67	1.87	9.2
10月19日	31.25	36.89	20.06	15.55	2.45	10.4

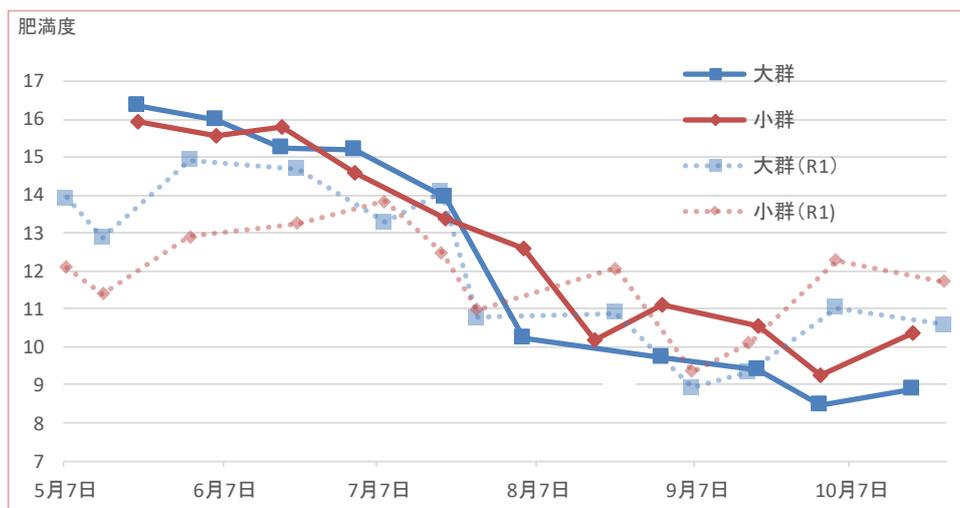


図2 令和元年度、令和2年度調査の肥満度の推移

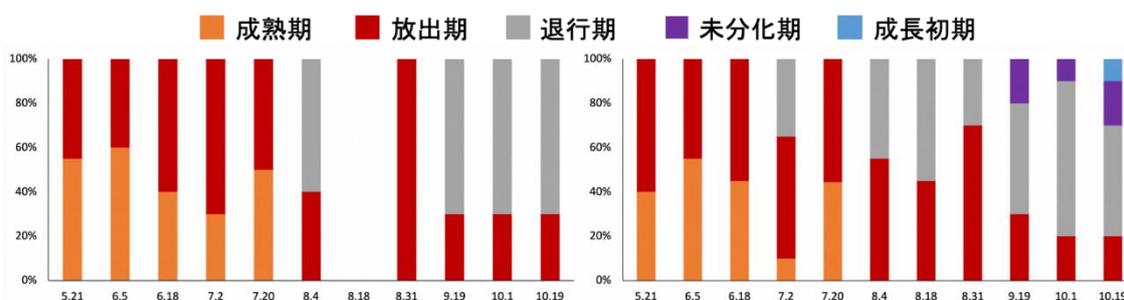


図3 組織観察によるハマグリ生殖腺の発達段階。
左：大サイズ5個体分、右：小サイズ10個体分の発達段階を示す。

採卵日	サイズ	親貝		採卵結果					
		使用親貝量 (kg)	使用親貝数 (個)	採卵数 (万粒)	1個あたり産卵数 (万粒)	卵収容密度 (粒/cm ³)	孵化率 (%)	正常D型 (%)	親貝1個あたり孵化幼生数 (万個)
5月21日	大	0.99	16	反応せず					
	小	0.75	48	反応せず					
6月3日	大	1.68	32	426.6	13.3	1,078	36.6%	85.0%	4.9
	小	1.32	84	940.0	11.2	1,188	39.2%	80.8%	4.4
6月18日	大	1.63	26	反応せず					
	小	0.99	59	1,576.0	26.7	1,991	68.2%	29.5%	18.2
7月6日	大	1.68	31	1,772.0	57.2	2,239	41.6%	52.4%	23.8
	小	1.18	82	1,198.0	14.6	1,514	67.2%	63.3%	9.8
7月20日	大	1.50	30	4,220.0	140.7	1,264	41.0%	79.3%	57.6
	小	1.11	69	2,040.0	29.6	1,264	51.0%	90.1%	15.1
8月6日	大	1.40	28	506.5	18.1	1,280	63.2%	63.0%	11.4
	小	0.87	66	576.5	8.7	1,457	70.9%	64.0%	6.2
8月24日	大	サンプルなし							
	小	1.41	105	397.3	3.8	1,004	51.1%	78.5%	1.9

表2 採卵誘発試験の結果概要 (5/21~8/24)



図4 漁場水温と積算水温の推移

(3) 人工種苗生産技術の開発

① タイラギ人工種苗生産技術の開発

国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所

伊藤 篤

【目的】

タイラギの浮遊幼生を飼育するために、瀬戸内海区水産研究所において開発した連結式飼育装置などを用いて、植物プランクトンの種類が浮遊幼生の成長や生残に与える影響を調べて、人工種苗生産技術の安定化を検討するとともに、タイラギの中間育成課題に着底稚貝を供試する。

【方法】

瀬戸内海由来のタイラギ(屋島湾で垂下育成していた高松産天然貝)を三重県五ヶ所湾で垂下育成したものを親貝として、「(1)親貝の養成と採卵技術の開発」における「①タイラギ親貝の養成と採卵技術の開発」課題において、5月21日に得られた受精卵からふ化した幼生を用いて、浮遊幼生飼育試験を実施した。

浮遊幼生飼育には、瀬戸内海区水産研究所で開発した連結式飼育装置(総水量1kL、以下連結水槽)8セットを用いた(図1)。採卵翌日にふ化水槽から、トロコフォア幼生からD型幼生に発生が進みつつある幼生を、飼育海水ごとバケツで各連結水槽に64.7~71.3万個体/連結水槽の密度となるように収容した。水槽内で回転させているローターの回転数は毎分90回転とした。また、水面への浮遊幼生の張り付きを防止するため、飼育水槽の上部から海水を間欠噴射した(20分間隔で20秒間の噴射)。飼育水温は25℃以上になるように、ウォーターバスで連結水槽を加温した。浮遊幼生への餌料には、市販の濃縮餌料 *Chaetoceros neogracile* (商品名:キートセロス・グラシリス、ヤンマー株式会社、以下CG) と *Chaetoceros calcitrans* (商品名:キートセロス・カルシトランス、ヤンマー株式会社、以下CC)、百島庁舎で培養した *Pavlova lutheri* (以下PL) と *Isochrysis sp. (Tahiti)* (以下IT) の4種類の植物プランクトンを用いて、各植物プランクトンを単独給餌する試験区を2セットずつ設けた(CG区×2セット、CC区×2セット、PL区×2セット、IT区×2セット)。各連結水槽には1日2回の給餌を行い、初日の餌料濃度は5000細胞/mlとなるように、2日目以降は餌料濃度が毎日1000細胞/mlずつ増えるように給餌した。また、連結海水中の細菌叢の安定を目的に(佐藤ら2000)、*Nannochloropsis oculata* (商品名:冷蔵ナンノ ヤンマリン K-1、クロレラ工業)を5000細胞/mlの濃度となるように1日1回添加した。単独餌料の給餌試験は8日齢まで実施して、9日目以降は、CC区の1つを、CC、PL、ITの3種混合給餌に(混合比率は2:1:1)、PL区の1つをPLとCCの2種混合給餌に(混合比率は1:1)、IT区の1つをITとCCの2種混合給餌として(混合比率は1:1)、14日齢まで観察した。

飼育海水の換水は、原則として3日に一度、浮遊幼生が連結式飼育装置の片側に寄ったと

きに、浮遊幼生がないほうの水槽を全排水して換水した。また、換水時に浮遊幼生がいるほうの水槽から、内径 4mm のアクリル管を用いて柱状採水 (20~50ml) を行い、幼生数の計数 (飼育幼生数の推定) と幼生サイズの測定を行った。いくつかの水槽では、幼生飼育の途中で分槽を行って、浮遊幼生の飼育密度を調整した。着底個体は、飼育海水を排水する際に 300 μ m のメッシュを通して回収した。また、水槽底面に張り付いている着底稚貝は、水流で稚貝を剥ぎ取るように洗い流して回収した。着底稚貝は、箱形プランクトン分割器を用いて計数した。回収した着底稚貝は、中間育成課題などに供試するまで、ダウンウェリング容器に収容して、*Isochrysis sp.* (Tahiti)などを給餌して飼育した。

また、有明海由来のタイラギ (福岡県と佐賀県で採取された天然貝) から、「(1) 親貝の養成と採卵技術の開発」における「①タイラギ親貝の養成と採卵技術の開発」課題において、5月27日 (1R) と6月25日 (2R) に得られた受精卵からふ化した幼生についても連結水槽で浮遊幼生飼育を行い、着底稚貝を生産した。

【成果概要】

単独餌料給餌試験では、PL 区の成長が最も良く、続いて CC 区、IT 区となり、CG 区はほとんど成長しなかった (図 2)。2 区ずつ設けた繰り返しは、ほぼ同じような傾向を示した。CG 区は 2 つとも 7 日齢で大きく減耗したため飼育を中止した。また、CG 区は他の給餌区と比較して、水槽内に設置している排水フィルターが汚れており、目詰まりが示唆された (図 3)。*Chaetoceros neogracile* の粒子サイズは 5~7 μ m で排水フィルターの目合 (40 μ m) は通過するサイズであるにも関わらず、このように排水フィルターが汚れたことから、*Chaetoceros neogracile* が飼育水中でフロック化していることが示唆された。連結式飼育装置の運用では、フィルターの目詰まりはフィルターへの幼生の張り付きを引き起こす可能性があるため、市販の濃縮 *Chaetoceros neogracile* はタイラギ幼生の初期餌料としては不適であることがわかった。

単独給餌試験の後の混合給餌試験では、PL 区と IT 区では、それぞれ PL 単独、IT 単独よりも、CC を添加した PL+CC 区、IT+CC 区のほうが高成長を示した (図 4)。一方で、CC 区では、CC 単独のほうが CC+PL+IT 区よりも高成長を示し、単独給餌と混合給餌の比較で相反する結果となった。

瀬戸内海由来のタイラギ (5月21日採卵)、有明海由来のタイラギ (1R : 5月27日採卵、2R : 6月25日採卵) の種苗生産における浮遊幼生総数、着底個体数を図 5 に示す。着底がもっとも早かったのは 29 日齢で、もっとも遅かったものは 93 日齢であった。どの生産群も着底までの最短日数と最長日数に 3 倍程度のばらつきがあった。また、着底のピークは、瀬戸内タイラギが 62 日齢、有明タイラギ 1R が 56 日齢、有明タイラギ 2R が 52 日齢であった。

今年度のタイラギ人工種苗生産の結果を表 1 に示す。瀬戸内海由来のタイラギの着底稚貝数は 214,729 個体、有明海由来のタイラギの着底稚貝数は 1R が 43,608 個体、2R が

508,978 個体で、合計 767,315 個体であった。着底率（収容幼生数に対する着底稚貝数の割合）は、瀬戸内海由来のタイラギでは 0～21.3%、有明海由来のタイラギでは 1 R が 0～5.0%、2 R が 1.5～21.2% で、全体では 3.1% であった。

本課題で生産した瀬戸内海由来のタイラギ人工種苗は、「(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発」の、「①瀬戸内海東部海域におけるタイラギ成技術の開発」と「②瀬戸内海西部海域におけるタイラギ育成技術の開発」課題に供試した。また、関係機関の承諾の元、有明海由来のタイラギ人工種苗 376,759 個体を福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県が実施する有明海漁業振興技術開発事業に供試した。

【次年度に向けた提言】

数年前に比べて、タイラギの人工種苗生産技術は格段に進歩しているが、未だに浮遊幼生期の大量減耗などが起こることがある。現在、種苗生産に用いている連結式飼育装置は総水量が 1kL もあることから、水槽を設置する広いスペースと維持管理の労力が必要となり、一度に多数の水槽を設けることが難しい。今年度、実施した植物プランクトンの種類が浮遊幼生の成長や生残に与える影響を調べる飼育試験は繰り返しの少ない試験であったことから（単独餌料給餌試験では 2 セットの繰り返し、混合餌料給餌試験では繰り返し無し）、その結果の再現性には疑いが残る結果となった。今後、タイラギ浮遊幼生の飼育条件を検討するためには、繰り返しのある飼育試験ができるような小型の飼育装置の開発を検討する必要がある。

表 1 令和 2 年度のタイラギ人工種苗生

母貝	水槽	収容数	分槽	稚貝数	着底率	着底日齢	飼育日数
瀬戸内	1	696,303	なし	0	0%	—	7
	2	688,014	1	380	0.06%	38	60
	3	679,794	なし	329	0.05%	38	47
	4	663,146	1	75,021	11.0%	29	84
	5	712,882	なし	0	0%	—	7
	6	646,567	1	137,656	21.0%	38	93
	7	696,303	なし	1,343	0.20%	32	47
	8	679,724	なし	0	0%	—	31
有明 1 R	1	1,193,662	なし	0	0%	—	20
	2	870,379	なし	43,608	5.0%	32	81
	3	969,850	なし	0	0%	—	29
	4	994,718	なし	0	0%	—	29
	5	1,127,348	なし	0	0%	—	29
有明 2 R	1	629,988	1	72,121	11.0%	34	91
	2	978,140	1	207,401	21.0%	34	91
	3	712,882	1	39,580	5.6%	40	91
	4	804,064	1	27,955	3.5%	31	91
	5	10,668,355	1	161,921	1.5%	—	53
計		24,412,047	26セット	767,315	3.10%		



図1 ウォーターバス内の連結式飼育装置

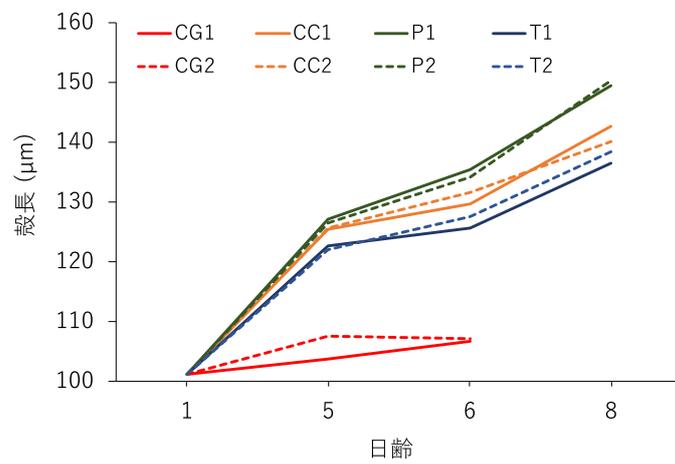


図2 単独餌料給餌試験におけるタイラギ浮遊幼生の成長
(図中の凡例の略記は本文参照、数字は水槽番号)



図3 単独餌料給餌試験における水槽内のフィルター（目合 40μm）の汚れ
(フィルターは1日に2回洗浄しており、写真は6日目の洗浄前の状態)

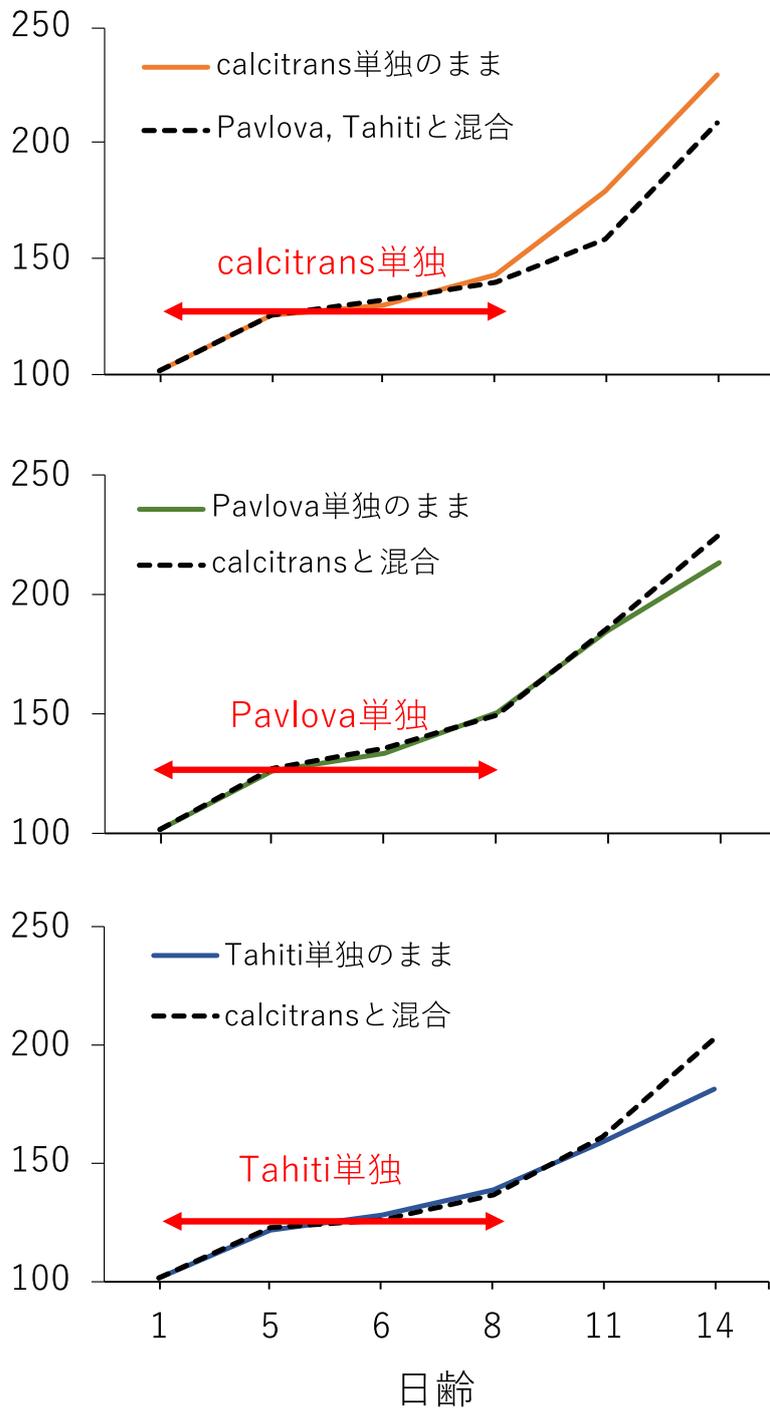


図4 混合餌料給餌試験におけるタイラギ浮遊幼生の成長

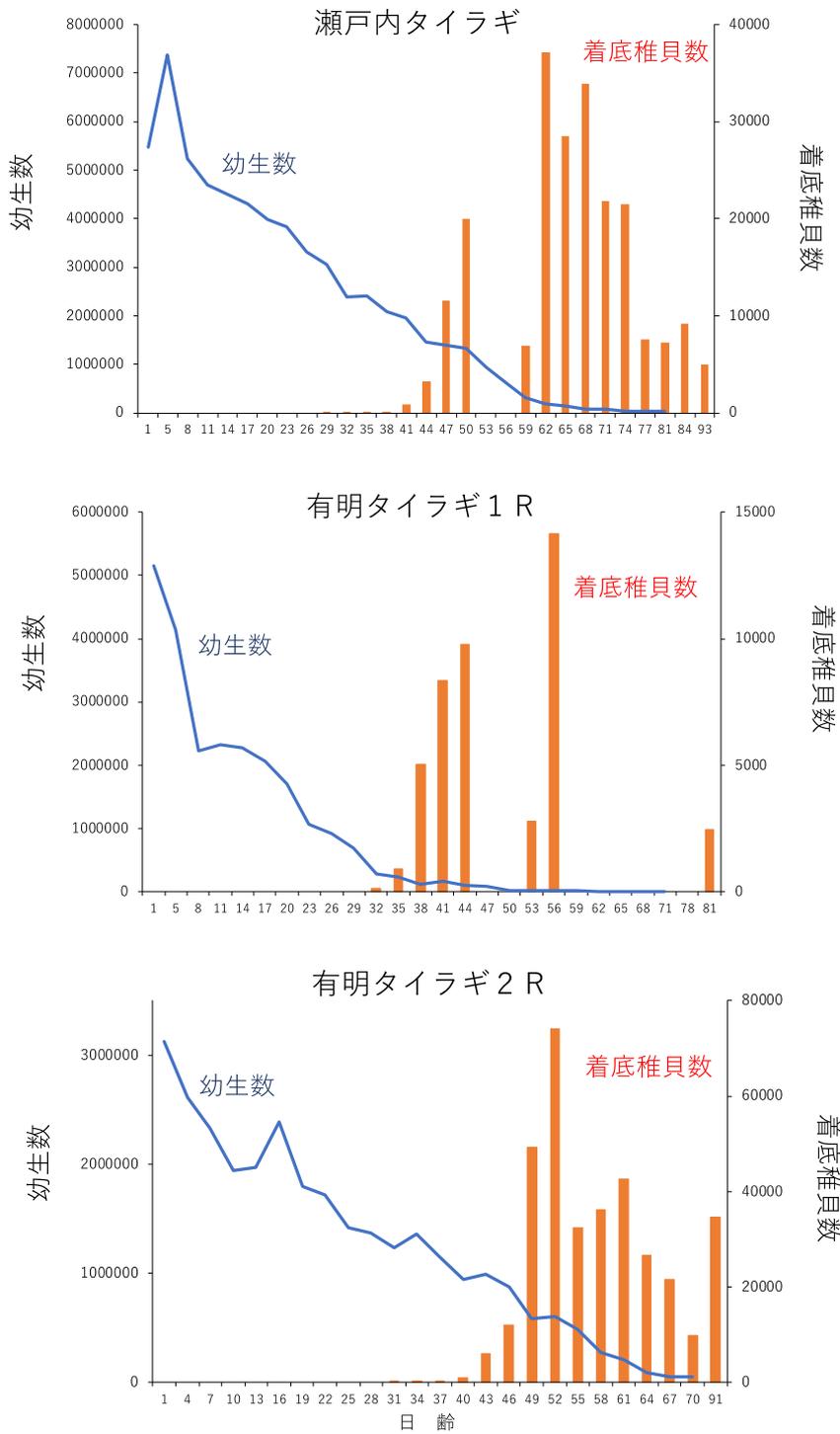


図5 令和2年度のタイラギ種苗生産における浮遊幼生数と着底稚貝数
(上：瀬戸内タイラギ、中：有明タイラギ1 R、下：有明タイラギ2 R)

(3) 人工種苗生産技術の開発

② ハマグリ人工種苗生産技術の開発

千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所

小林 豊

【目的】

浮遊幼生から殻長 1 mm 稚貝までの育成については、水温 33℃、60%希釈海水（塩分濃度 19～20）、餌料はパブロバ ルテリ（以降パブロバと呼ぶ）の飼育条件で育成できることが分かっている。しかし、着底期から着底初期に大量死亡が発生することがあり、種苗生産ではこの時期の大量死亡を軽減させる必要がある。

他の二枚貝種苗生産では、複数の餌料を使用していること、チョウセンハマグリの場合には、珪藻との複合餌料にすることで着底期から着底初期の大量死亡がほとんどみられなくなったとの事例が報告されている。

そこで、令和元年度に着底期から殻長 1 mm 稚貝までの育成について、パブロバの他に珪藻のキートセロス ネオグラシーレ（以降ネオグラシーレと呼ぶ）の混合割合を変えた餌料給餌試験を実施した結果、各試験区ともに生残率は良好（50～60%程度）であった。

本年度は、再現性を確認するため、同一条件での試験を実施した。

【研究方法】

2) 着底期から殻長 1 mm 稚貝までの複合餌料給餌試験

試験に使用した着底期幼生は、平成 29 年度に種苗生産し、干潟で育成した親貝から採卵して飼育したものである。

試験は 6～8 月に実施し、試験区は、令和元年度と同様、パブロバ 100%区、パブロバ 60%：ネオグラシーレ 40%区、パブロバ 70%：ネオグラシーレ 30%区、パブロバ 80%：ネオグラシーレ 20%区の 4 試験区とした。

飼育装置は多段式循環水槽を使用した。飼育架台は木製で、最下段に循環水槽（内寸 753×903×200 mm：RX-130 L、ダイライト（株））を配置し、その上に飼育水槽（内寸 903×1343×200 mm：RX-240 L、ダイライト（株））を 3 段配置し、循環水槽から水中ポンプ（CSL-100L、寺田ポンプ製作所（株））で各水槽へ注水し、再び循環水槽へ排水する仕組みとなっている。飼育海水を 33℃に保つため、下段の循環水槽に 1 kw チタンヒーターを設置した。飼育容器には塩化ビニール製の円筒型容器（直径 600 mm、高さ 150 mm）の底面に 85 μm または 125 μm 角目のナイロンネットを貼ったものを使用した。各水槽に 2 器設置することで、1 水槽当たり最大 6 器設置可能となっている。飼育容器への注水はダウンウェリング方式とし、容器への注水量は 0.5～1 L/分程度とした。

飼育海水は、砂ろ過海水を使用する前日に円形の 1 t 水槽に收容し、水道水で 60%に希釈し、通気しながら 1 kw チタンヒーターで 33℃に加温し、小型の紫外線殺菌装置（UV バズーカ、ゼンスイ（株））に循環させて殺菌処理を行った。收容個数は 1 水槽に 40 万個/器

×6 器を収容した。また、飼育容器内には着底促進のため貝化石約 50 g を敷設した。

飼育期間中の水槽内の飼育水は着底期から着底までは毎日、着底後は隔日で換水した。飼育容器内の稚貝および貝化石は、毎日海水でシャワー洗浄した。

給餌は、着底前は 1 日 1 回、着底後は 1 日 3 回（午前、午後、夜）とし、1 回給餌の場合は 23,000～44,000 細胞/ml/回、3 回給餌の場合は 16,000～129,000 細胞/ml/回を与えた。着底後の給餌目安は、午前中の給餌前にコールターカウンター（ベックマン・コールター社製 Z2）で残餌密度を測定し、残餌を 1,000 細胞/ml 以上とした。

【研究成果の概要】

1) 着底期から殻長 1 mm 稚貝までの複合餌料給餌試験

結果を表 1 に示す。生残率はパブロバ 100%区、パブロバ 60%：ネオグラシーレ 40%区、パブロバ 70%：ネオグラシーレ 30%区、パブロバ 80%：ネオグラシーレ 20%区のそれぞれ、26.6%、22.5%、28.6%、20.4%で、全ての試験区で 20%台となり、有意な差は見られなかった（分散分析： $P > 0.05$ ）。着底期から着底初期にかけての大量死亡は確認されなかったが、稚貝が殻長 1 mm 程度に達した時点で死亡が確認された。成長（平均殻長）はそれぞれ、1.46 mm、1.16 mm、1.40 mm、1.31 mm で、パブロバ 60%：ネオグラシーレ 40%区とパブロバ 100%区およびパブロバ 70%：ネオグラシーレ 30%区で有意な差がみられ（Tukey- $P < 0.01$ ）、成長ではパブロバ 100%とパブロバ 70%：ネオグラシーレ 30%が良い結果となった。

【次年度に向けた提言】

複合餌料給餌試験の結果から、パブロバ単独給餌とネオグラシーレとの混合給餌で生残率に差はなく、成長ではパブロバ単独とパブロバ 70%：ネオグラシーレ 30%で成長が良かったことから、パブロバ単独またはネオグラシーレとの混合給餌で問題はないと考えられる。ネオグラシーレなどの珪藻は濃縮による冷蔵保存が可能であることから、餌料の安定確保の点で非常に有効である。

本年度は稚貝殻長 1 mm 程度に達した時点で死亡がみられ、要因は不明であるが、貝同士が積み重なることで死亡すると推定されたことから、対策として、稚貝洗浄後に稚貝を一様に広げること、あるいは、稚貝が 1 mm 程度に達した時点で選別を行うことが必要と考えられた。

また、人工育成した親貝からの採卵が可能であることから、今後も人工育成した親貝を使用して種苗生産に取り組む予定である。

なお、本年度における各機関の種苗生産は不調であったことから、飼育管理における防疫対策について情報共有するとともに、好適飼育条件を絞り込み、検証していくことが必要と考えられる。

表 1. 1 回次試験結果（飼育期間：6 月 19 日～8 月 17 日、59 日間）

試験区	容器収容 個体数	1水槽収容 個体数	開始時平均 殻長 (mm)	平均生残率 (%)	標準偏差	平均殻長 (mm)	標準偏差
P100%	40万/器	240万	0.19	26.6	12.5	1.46 ^a	0.19
P60% : N40%	40万/器	240万	0.19	22.5	10.8	1.16 ^b	0.04
P70% : N30%	40万/器	240万	0.19	28.6	11.7	1.40 ^a	0.12
P80% : N20%	40万/器	240万	0.19	20.4	5.8	1.31 ^{ab}	0.06

P:パブロバ ルテリ、N:キートセロス ネオグラシーレ

参考文献

- 牧野 直・深山 義文・小林 豊 (2017) : ハマグリ種苗生産における着底期以後の稚貝の飼育条件. 千葉水総研報, 11, 23-29.
- 牧野 直・深山 義文・小林 豊 (2016) : ハマグリ種苗生産における浮遊幼生期の飼育条件について. 千葉水総研報, 10, 7-13.

(3) 人工種苗生産技術の開発

② ハマグリ人工種苗生産技術の開発 (愛知県)

愛知県水産試験場漁業生産研究所

長谷川拓也

【目的】

ハマグリ人工種苗生産の技術開発が進められているが、着底期前後に減耗が発生するなど、この時期の飼育条件の適正化が課題となっている。

そこで本研究では、ハマグリ浮遊幼生の着底期前後の生残率を向上させることを目的に、浮遊期、着底期及び着底期以降の好適塩分濃度を検討した。

【研究方法】

1) 採卵

採卵に使用した親貝は、令和2年6月～9月に、伊勢湾東岸の常滑地先、三河湾沿岸の蒲郡地先、衣崎地先において、徒手または小型底びき網で採取した。採取した親貝は18°Cに設定した恒温室内に設置した砂ろ過海水を入れたコンテナ(横47cm×縦37cm×深さ15cm)に收容し、適宜、通気・換水を行い採卵当日まで静置した。小林¹⁾の方法に準じて、恒温室内のコンテナから取り出した親貝を直射日光下に30分程度干出させた後、自然水温の砂ろ過海水を入れた100L黒色ポリカーボネイト水槽に收容し、ヒーターを用いて2°C/1時間の速度で昇温し、25°Cに達した時点で、放卵・放精がみられなかった場合には、精子懸濁液を投入し、水温を30°Cまで昇温することにより、採卵を行った。十分な産卵・放精が確認された際には、サイフォンにより産卵後の收容海水を目合い59µmのプランクトンネットでろ過し、受精卵を回収した。回収した受精卵は、27°Cに調温した精密ろ過海水で洗卵した後、27°Cの精密ろ過海水を入れ、止水・微通気とした100L黒色ポリカーボネイト水槽に底面積あたり1,500個/cm²の收容密度となるように收容した。採卵翌日、ふ化幼生がD型幼生に変態していることを確認後、サイフォンにより海水を目合い59µmのプランクトンネットでろ過してD型幼生を回収し、浮遊幼生飼育試験に供した。

なお、産卵を誘発しても放卵・放精が確認されなかった場合は、再度、18°Cの海水中に親貝を静置し、翌日に採卵を実施した。また、一部の親貝は採卵後、アンストラサイト(粒径:2mm)を敷いたカゴに收容して地先の港に垂下し、次回の採卵に使用するまで畜養した。また、一部の親貝については採卵後に殻長(mm)、殻高(mm)、殻幅(mm)、軟体部湿重量(g)を計測し、肥満度を算出した。

2) 浮遊幼生飼育試験

浮遊幼生の好適塩分条件を検討するために、回収したD型幼生を供試個体として、6月から8月にかけて試験を3回実施した。飼育は、ダウンウェリング法²⁾で行い、塩分を調節した精密ろ過海水を入れた60Lプラスチックコンテナ(縦48cm×横73cm×深さ20cm)内に底面を69µmの目合のプランクトンネットで覆った塩化ビニール製円形容器(内径

20cm) を 3 個設置した。円形容器に幼生を収容し、観賞魚用ポンプにより飼育水を上方から円形容器内へ散水させた。

飼育水の加温は、幼生収容した円形容器とプラスチックコンテナの間隙にヒーターを入れて行った。試験区はフルグロウン期幼生まで塩分 20 で飼育した試験区 (L20) とアンボ期に 15 に落とした試験区 (L15) とした。なお、塩分濃度は精密ろ過海水を、爆気して脱塩素した水道水で希釈して調節した。餌料は培養した *Pavlova lutheri* (以下、パブロバ) を使用し、10,000~25,000 細胞/mL の密度で 1 日 1 回、午前中に給餌した。換水は、飼育水と同じ塩分・水温の精密ろ過海水を用いて、全量を給餌前に 1 日 1 回行った。試験期間中、5ml 駒込ピペットでピペティング後、飼育水をサンプリングし、幼生の発育状況等を顕微鏡下で確認した。幼生がフルグロウン期になったことを確認した段階で、サイフォンを用いて海水を目合い 95 μ m のプランクトンネットですろ過し、フルグロウン期幼生を回収し、生残率の評価を行った。

3) 着底期幼生試験

着底期の幼生の好適塩分条件を検討するために、ダウンウェリング飼育でフルグロウン期幼生まで飼育した個体の一部を用いて試験を 2 回実施した。飼育水の塩分は浮遊幼生飼育試験と同様に調整した。収容容器には組織培養プレート (以下、プレート) を用い、プレートの各ウェル (直径: 2.5 cm、深さ: 1.9 cm) に塩分を調整した飼育水と底面基質として貝化石 (粒径: 125-250 μ m) を 0.5 cm の深さで収容した後、各塩分区 3 つのウェルにフルグロウン期幼生を収容した。幼生時の塩分条件を検討するため、塩分はフルグロウン期幼生まで 20 で飼育した飼育区 (以下、飼育 S20)、D 型期は 20、アンボ期には 15 に下げた飼育区 (以下、飼育 S15) の 2 区を設定した。飼育 S20 では、塩分 20、17.5、15、12.5、10、7.5、5 の計 7 塩分区、飼育 S15 では、塩分 15、12.5、10、7.5、5 の計 5 塩分区を設定した。餌料にはパブロバを使用し、各塩分区の餌料濃度が 20,000 個/ml になるよう、各ウェルに餌料を添加した。幼生を収容したプレートは蓋をした後、パラフィルムで密封し、水温 33 $^{\circ}$ C に保持したウォーターバス (発泡スチロール容器: 38 \times 30 \times 20 cm) 中に静置し、実験期間は 48 時間とした。48 時間後、ベラムが消失していない個体およびウェル中を泳いでいる幼生は未着底、足を出しながら匍匐運動を行う個体は着底したとして計数し、次式により着底率を算出し、各塩分と着底率の関係を検討した。

着底率 (%) = ウェル内で着底行動が認められた個体数 (個) / ウェル内の総個体数 (個) \times 100

4) 着底稚貝飼育試験

幼生期の塩分履歴を加味した条件で、着底期以降の好適塩分を検討するため、飼育水の塩分を 20、15、10 に設定した。幼生期は塩分 20 で飼育し、回収作業以降も塩分 20 で飼育した試験区 (T20)、アンボ期に 15 に落とし、回収作業以降塩分 15 で飼育した試験区 (T15)、アンボ期に 15 に落とし、回収作業以降塩分 10 に落とした試験区 (T10) の 3 試験区で飼育試験を開始した。飼育水槽は、プラスチックコンテナ (縦 48cm \times 横 73cm \times 深さ 20cm) 内に底面を 125 μ m の目合のプランクトンネットで覆った塩化ビニール製円形容器 (内径 20cm)

を3個設置した。飼育容器の底面には基質として貝化石（粒径125～250 μm ）を散布し、浮遊幼生飼育同様にダウンウェリング法により行った。飼育水の塩分は浮遊幼生飼育試験と同様に調整し、ヒーターで33 $^{\circ}\text{C}$ に加温して給餌前に毎日全量換水した。餌料には培養したパブロバを使用し、翌朝の飼育水槽内の餌料密度が2,000細胞/ml以上に保たれるように適宜調節して35,000～130,000細胞/mlを1日2回、換水作業後（11時頃）と17時に給餌した。試験終了時に、目合い355 μm のフルイを用いて、基質と稚貝を分離し、顕微鏡下で単位重量当たりの生残個体数を計数後、重量法により飼育水槽毎の生残個体数を推定した。

【研究成果の概要】

1) 採卵

採卵結果を表1に示した。採卵は令和2年6月から9月にかけて合計21回実施した。21回中11回で産卵が確認でき、合計約5,487万粒の受精卵が得られた。採卵翌日にD型幼生への変態を確認し、合計約1,910万個体のD型幼生を回収した。6月に蒲郡で採捕した親貝ロットから計6回受精卵得られたが、5月に三谷で採捕した親貝ロットからは計3回しか得られることができず、採卵実施時には親貝が成熟していることが重要であると考えられた。また、成熟した親貝であれば、複数回採卵に供することが可能であることが分かった。

2) 浮遊幼生飼育試験

試験は6月24日～7月5日、7月14日～24日と7月29日～8月6日の計3回実施し、それぞれの試験結果を表2に示した。飼育開始から8～10日目にフルグロウン期幼生が確認された。生残率は、L20では0.4～92.1%、L15では18.0～93.4%であり、L15の生残率が高かった（*Mann-Whitney U test: p < 0.05*）。

浮遊幼生の飼育条件として、ダウンウェリング法において水温を33 $^{\circ}\text{C}$ に加温し、塩分を幼生の発育段階に応じて段階的に20から15に調整する方法が適している事が示唆された。

3) 着底期幼生試験

試験は7月5日～7日と8月6日～8日の2回実施し、それぞれの試験結果を表3に示した。両飼育区で行った試験に回次間で有意な差は認められなかったため（*Two-way ANOVA: p > 0.05*）、1回目と2回目の試験結果を区別せずに扱うこととした。フルグロウン期幼生まで塩分20とした飼育区（S20）の場合、塩分20と12.5の間には有意な差は認められたが、17.5から10まで有意な差は認められなかった（図1）。また、7.5以下では着底率が有意に低くなった。平均着底率では、12.5で最も高かった（表3）。アンボ期に塩分15に下げた飼育区（S15）の場合、着底率は塩分12.5で有意に高く（図1）、平均着底率も高かった。また、15と10には有意な差は認められなかったが、12.5以降塩分が下がるにつれ着底率が有意に低くなった。以上のことから、着底期の条件は、塩分12.5が適している可能性が示唆された。

4) 着底稚貝飼育試験

1 回次および2 回次では、回収作業直後に大量へい死が生じ、試験を中止したため、3 回次（8 月 6 日～9 月 24 日）の結果のみ表 4 に示した。飼育開始から 49 日目に 1mm サイズの稚貝を回収し、T20 区、T15 区、T10 区の生残率はそれぞれ 3.2、4.0、0.8%であった。塩分の検討は行い、昨年度、T10 の条件で行った試験では好成績だったが、いずれの試験区においても、着底期間中に大量へい死が生じたため、再現性の検証はできなかった。

【次年度に向けた提言】

昨年度行った採卵では、多量（100 万のオーダー）の受精卵が得られたのは 17 回中 5 回であったのに対し、今年度は採卵を行ったすべての回次で 100 万以上の受精卵を回収することができた。また、受精卵を得られた回数も昨年度より多く、今年度導入した 1～2℃/時間の昇温刺激により安定して受精卵を回収することに繋がったと考えられた。

浮遊幼生飼育においては、ダウンウェリング法において水温を 33℃に加温し、塩分を幼生の変態時期に応じて段階的に 20 から 15 に調整する方法でフルグロウン期幼生までの生残率が高くなった。次年度以降は今年度結果の検証を行う必要がある。

着底期幼生試験では、塩分 12.5 で着底率が高かった。また、アンボ期に塩分 15 を経験したフルグロウン期幼生は塩分 20 を経験したフルグロウン期幼生よりも着底率が高くなった。次年度の試験において、今後同条件で試験を実施し、着底以降の生残率との検討を行う。

着底稚貝飼育については、昨年度起きなかった大量へい死が生じた。他共同研究機関においても、同様の大量へい死が生じたことから、飼育管理方法については引き続き連携しながら改善を図っていく。

参考文献

- 1) 小林 豊 (2019) ハマグリ人工採卵技術. 令和元年度二枚貝類飼育技術研究会.
- 2) 牧野 直・小林 豊・深山義文 (2016) ハマグリ種苗生産における浮遊幼生期の飼育条件について, 千葉水総研報, 10, 7-13.

表1 採卵結果

回次	採卵実施月日	親貝採取日・産地	親貝使用数(個)	水槽数(個)	収容受精卵数(万粒)	D型幼生(ふ化数)(万個)	ふ化率(%)	正常回収D型幼生数(万個)	正常D型回収率(%)	親貝1個体あたり正常D型幼生数(万個)	肥満度
1	5/26	5/25・三谷	144	2	0	—	—	—	—	—	15.4
2	5/27	5/25・三谷	135	2	0	—	—	—	—	—	15.4
3	6/1	5/20・衣崎	87	1	0	—	—	—	—	—	12.1
4	6/2	5/20・衣崎	83	1	0	—	—	—	—	—	12.1
5	6/3	5/20・衣崎	80	1	0	—	—	—	—	—	12.1
6	6/8	5/25・三谷	123	2	0	—	—	—	—	—	14.7
7	6/10	6/9・古場	71	2	468.8	236.5	50.4	192.0	41.0	1.4	15.2
8	6/11	6/9・古場	66	1	0	—	—	—	—	—	15.3
9	6/17	5/25・三谷蓄養	114	2	234.0	—	—	—	—	—	15.5
10	6/18	5/25・三谷蓄養	106	2	486.6	290.0	59.6	206.6	42.5	1.2	16
11	6/23	6/22・三谷	151	2	750	508	67.8	413	55.1	1.9	17.4
12	6/24	6/22・三谷	147	1	453	255	56.2	200	44.1	0.8	17.6
13	7/13	6/22・三谷蓄養	136	1	1,067	777	72.8	572	53.6	3.1	15.7
14	7/27	5/25・三谷蓄養	99	1	0	—	—	—	—	—	17.6
15	7/28	6/22・三谷蓄養	95	1	590	128	21.8	100	16.9	0.2	16.3
16	7/28	5/25・三谷蓄養	95	1	0	—	—	—	—	—	17.6
17	8/26	6/22・三谷蓄養	85	1	743	141	18.9	52	7.0	0.1	16.2
18	8/26	5/25・三谷蓄養	85	1	180	—	—	—	—	—	17.4
19	9/1	6/22・三谷蓄養	75	1	162	239	147.2	97	59.8	1.9	13.5
20	9/2	6/22・三谷蓄養	64	1	352	102	28.9	77	21.8	0.3	13.5
21	9/29	5/25・三谷蓄養+6/22・三谷蓄養	109	1	0	—	—	—	—	—	11.2

表2 浮遊幼生試験結果

飼育容器名	飼育開始	水温	塩分	使用水槽数	D型幼生収容数(万個・A)	着底稚貝回収数(万個・B)	生残率(%・B/A)
L20-1-1	6月24日	33°C	20	3	54	3.6	6.7
L20-1-2	6月24日	33°C	20	3	54	28.5	52.7
L15-1-1	6月24日	33°C	20→15	3	54	36.3	67.3
L20-2-1	7月14日	33°C	20	3	72.3	2	2.8
L20-2-2	7月14日	33°C	20	3	72.3	0.3	0.4
L15-2-1	7月14日	33°C	20→15	3	72.3	67.5	93.4
L20-3-1	7月29日	33°C	20	3	33.3	30.7	92.1
L15-3-1	7月29日	33°C	20→15	3	33.3	6.0	18.0
L15-3-2	7月29日	33°C	20→15	3	33.3	24.1	72.3

表 3 着底期幼生試験結果

飼育区	塩分区	平均殻長(μm)	供試個体数(個)	着底数(個)	着底率(%)
S20-1	20	186 ± 14	17.7±2.1	5.0±3.0	28.9±19.4
	17.5		15.3±3.8	5.3±3.1	32.9±14.4
	15		16.0±1.7	5.3±0.6	33.3±0.0
	12.5		19.0±1.0	8.7±0.5	45.7±5.2
	10		20.0±1.7	7.7±2.1	38.1±8.2
	7.5		12.3±2.3	0	0
	5		10.0±1.4	0	0
S15-1	15	193 ± 12	17.7±4.0	8.3±2.1	47.1±2.6
	12.5		23.0±7.5	13.7±3.5	60.3±4.8
	10		19.3±2.3	10.7±3.8	54.2±12.4
	7.5		38.7±15.2	12.7±2.1	35.3±11.1
	5		19.0±0.0	0	0
飼育区	塩分区	平均殻長(μm)	供試個体数(個)	着底数(個)	着底率(%)
S20-2	20	183 ± 12	26.0±4.6	8.3±2.5	32.4±10.1
	17.5		17.3±2.5	6.3±2.1	36.7±12.0
	15		19.0±1.0	7.3±1.5	38.6±1.5
	12.5		19.3±1.5	8.7±0.6	45.0±4.4
	10		20.0±3.0	8.0±2.6	39.4±7.3
	7.5		19.3±1.2	1.3±0.6	6.9±2.7
	5		9.7±3.1	0	0
S15-2	15	178 ± 10	17.7±4.0	8.7±2.3	48.7±2.2
	12.5		23.3±8.1	14.7±3.5	64.4±7.1
	10		19.3±2.3	8.3±2.1	54.2±12.4
	7.5		30.8±8.0	9.3±2.1	30.8±8.0
	5		19.0±3.0	0	0

表 4 着底稚貝飼育試験結果

飼育容器名	飼育開始	水温	塩分	使用水槽数	着底稚貝 收容数 (万個・A)	1mm稚貝 回収数 (万個・B)	生残率 (%・ B/A)
N1	7月29日	33°C	20	3	15	0.5	3.2
N2	7月29日	33°C	15	3	15	0.6	4.0
N3	7月29日	33°C	10	3	15	0.1	0.8

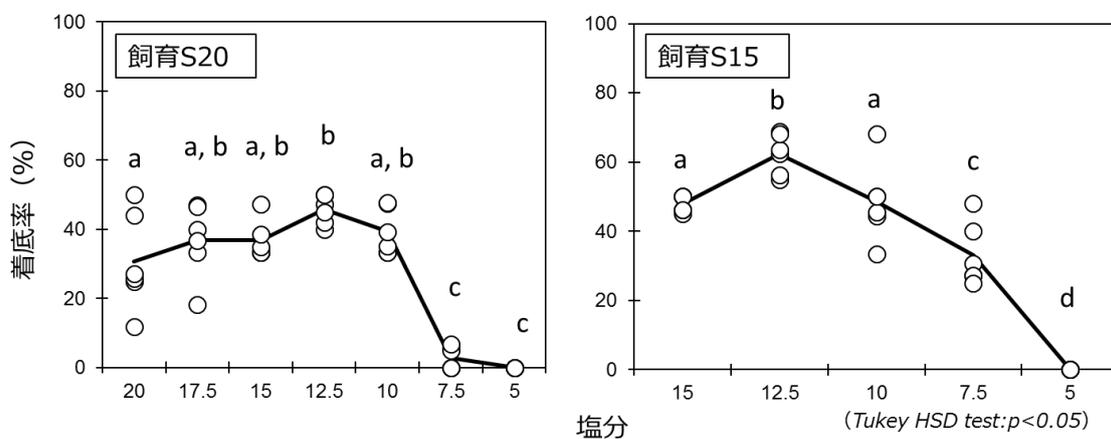


図1 飼育S20 (左) および飼育S15 (右) における各塩分区の着底率の比較

図中の実線は平均値，丸は実測値

上付きのアルファベットが異なることは，試験区間に有意な差があることを示す ($p < 0.05$)

(3) 人工種苗生産技術の開発

② ハマグリ人工種苗生産技術の開発 (熊本県)

熊本県水産研究センター

徳留 剛彦

【目的】

ハマグリは、二枚貝の中でもアサリと並び、重要な水産資源として利用されてきたが、熊本県では、2006年には漁獲が106トンとピーク時の50分の1にまで減少している。ハマグリ資源の回復のためには、人工種苗を用いた母貝団地造成が必要とされており、安定的な人工種苗生産から、人工種苗を用いた母貝団地造成までの技術開発が不可欠となっている。

本研究では、母貝団地造成に必要な人工種苗確保のため、初期着底稚貝を安定的に大量確保する技術開発を目的とした。

【研究方法】

① 採卵

緩慢昇温刺激と生殖腺（精子）添加による誘発刺激により採卵を行った。

※「(1) 親貝の養成と採卵技術の開発②ハマグリ親貝の養成と採卵技術の開発」にて報告済

② ダウンウェリング飼育での安定飼育再現性の検証

1) 飼育水槽 (図1) 及び飼育環境

浮遊幼生及び初期着底稚貝の飼育は、80L プラブネと 200L プラブネの 2 段水槽を使用した。80L プラブネには 500W 棒状ヒーターと水中ポンプ (EHEIM 製 コンパクトオン 1000) を設置し、200L プラブネには底面にメッシュネットを張った直径 50 cm、高さ 20 cm の幼生収容カラムを 2 個設置し、カラム上面から穴をあけた塩ビ管でダウンウェリング注水し、二つの水槽の飼育水を循環させた。幼生収容カラムのメッシュの目合いは、幼生の成長に合わせて 48 μ m、80 μ m、着底後は 125 μ m の目合いで飼育を行った。また、水槽上面には保温と遮光のために保温材を設置した。

飼育水は、ろ過 UV 殺菌した海水を 60% (塩分 19) に希釈して、33°C に加温したものを使用し、飼育期間中は原則毎日全換水した。浮遊幼生の匍匐運動が頻繁に観察され始めたら、粒径が 125-250 μ m の貝化石を投入し、着底を促した。

2) 飼育概要

飼育試験は、6月19日、6月23日、7月7日、7月21日、8月7日の5回行い、浮遊幼生の収容個数は、140万~509.6万個/水槽で飼育を行った。

餌料は、千葉県より分与を受け培養したパブロバ・ルテリ、及びヤンマーバイオノーバーションセンターマリンファーム製の濃縮キートセロス・グラシリス (以下グラシリス) または濃縮キートセロス・カルシトランス (以下カルシトランス) を単独もしくは混合給餌した。給餌量は、10,000~80,000細胞/ml を浮遊期は1日1回、着底後は午前と午後1日2回給餌を行った。換水前に血球計数板で残餌計数し、1,000細胞/ml以上に保たれ

るように給餌量を調整した。着底稚貝は、250 μ m のメッシュで留まったものを計数した。

③ 餌料比較試験

1) 飼育水槽 (図 2) 及び飼育環境

浮遊幼生及び初期着底稚貝の飼育は、プラスチックコンテナ内に、内径 150mm の塩ビ管の底面にメッシュネットを張ったカラムを 2 個設置し、150w 棒状ヒーターと水中ポンプ (EHEIM 製 コンパクトオン 1000) を設置し、カラム上面から穴をあけた塩ビ管でダウンウェリング注水し、水槽内の飼育水を循環させた。注水量は、幼生の成長に合わせて 0.25m³/分-0.75m³/分程度で調整し、幼生収容カラムのメッシュの目合いは、幼生の殻長に合わせ 48 μ m、80 μ m、着底後は 125 μ m の目合いで飼育を行った。また、水槽上面には保温と遮光のために保温材を設置した。

飼育水は、ろ過 UV 殺菌した海水を 60% (塩分 19) に希釈して、33°C に加温したものを使用し、飼育期間中は原則毎日全換水した。浮遊幼生の匍匐運動が頻繁に観察され始めたら、粒径が 125-250 μ m の貝化石を投入し、着底を促した。

2) 餌料条件

餌料は、「ダウンウェリング飼育での安定飼育再現性の検証」と同じ餌料を使用し、パブロバ 100% (以下 P 区)、パブロバ 50% : カルシトランス 50% (着底後グラシリスに切り替え) (以下 P+C 区)、カルシトランス 100% (以下 C 区) を設定した。給餌量はパブロバの細胞体積を基準として、グラシリスはパブロバと等量、カルシトランスは 1.7 倍量を給餌した。

3) 飼育概要

飼育試験は、6 月 23 日、7 月 7 日、7 月 28 日の 3 回行い、浮遊幼生の収容個数は、1、2 回次は 1 カラムあたり 10 万個収容し、3 回次飼育では 9.2 万個収容で飼育を行った。

給餌量は、パブロバ細胞数換算で 10,000~110,000 細胞/ml を浮遊期は 1 日 1 回、着底後は午前と午後の 1 日 2 回給餌を行った。換水前に血球計数板で残餌計数し、1,000 細胞/ml 以上に保たれるように給餌量を調整した。

【研究成果の概要】

① ダウンウェリング飼育での安定飼育再現性の検証

5 回の飼育試験結果を表 1 に示した。

1 回次の飼育では、509.6 万個の D 型幼生を収容したが、発生の遅いトロコフォア幼生が多かったことから、正常 D 型幼生の数に合わせて収容し、後日選別して数を調整する予定であったが、過密によって斃死したため飼育を中断した。

2 回次の飼育では、112.2 万個の D 型幼生を収容し、飼育 12 日目に 12.1 万個のフルグロウン期幼生が生残し、着底基質を投入後、8 月 17 日までの 55 日間の飼育で平均殻長 705.17 μ m の着底稚貝が 8.8 万個生残し、フルグロウン期からの生残率は 73.0% であった。2 回次飼育では、飼育スペースの関係から飼育 33 日目に飼育水槽を 150L のプラブネ

1つに変更し、飼育海水を100%海水で飼育を行った。

3回次の飼育では、200万個のD型幼生を収容し、飼育11日目に34.2万個のフルグロウン期幼生が生残し、着底基質を投入後、継続飼育を行ったが、飼育30日目頃から成長停滞と残餌が増加し、メッシュネットの汚れが多くなった。その後、斃死が増加したため飼育を中断した。

4回次及び5回次飼育では、238万個、140万個のD型幼生を収容した。どちらの飼育においても、殻長160~170 μm の飼育6~8日目に成長の停滞、幼生の沈降が確認された後に大量斃死が起きたため飼育を中断した。

今年度の試験では、比較的順調に飼育を行うことのできた昨年度と初期の幼生収容数が異なっていたため、全体的に過密傾向であったことが考えられた。また、ビブリオ等の細菌の可能性も考えられるため、消毒や飼育水の殺菌などの防疫体制の見直しも検討する必要がある。

② 餌料比較試験

3回の飼育試験結果を表2に示した。

1回次の飼育では、飼育9日目のフルグロウン期幼生の生残率がP区5.0%、P+C区24.0%、C区6.1%とかなり低く、実績のあるP区での生残が悪く、着底サイズでの斃死も多く見られたため、飼育を中断した。

2回次の飼育では、飼育10日目のフルグロウン期幼生の生残率がP区1.2%、P+C区3.6%、C区38.5%とC区以外は着底前に斃死が多かったことから飼育を中断し、C区のみ継続飼育を行い、8月28日までの52日間の飼育で平均殻長798.25 μm の着底稚貝が2.1万個生残し、フルグロウン期からの生残率は27.5%であった。

3回次の飼育では、飼育8日目のフルグロウン期幼生の生残率がP区67.9%、P+C区68.5%、C区86.4%であり、着底基質を投入し継続飼育を行い、9月14日までの48日間の飼育でP区は平均殻長494.33 μm 、生残数630個（生残率0.5%）、P+C区は平均殻長451.75 μm 、生残数62個（生残率0.05%）、C区は平均殻長835.82 μm 、生残個数2.6万個（生残率16.5%）であった。

一定サイズ以上の着底稚貝を得られたのはC区のみであったが、飼育実績のあるP区で着底稚貝を得られなかったことから、餌料よりも飼育環境に何らかの原因がある可能性が高いと考えられた。

【次年度に向けた提言】

① ダウンウェリング飼育での安定飼育再現性の検証

今年度の試験では、5回の飼育試験で約1,200万個の浮遊幼生を飼育したが、着底稚貝を得られたのは1回のみで、その数も8.8万個と安定した飼育を行うことができなかった。この原因としては2点考えられ、1点目は初期の幼生収容密度が昨年よりも多かった点が考えられる。2点目として、今回の斃死は飼育環境中の防疫体制が不十分であり、ビブリ

オ等の細菌感染によるものの可能性が考えられた。この点については、今回の試験ではごく一部の飼育水の検査でビブリオは確認されなかったが、必要なタイミングでの細菌検査を行うとともに、共同研究機関内で連携し、防疫体制の強化を図ったうえで再現性の検証を行うこととしたい。

② 餌料比較試験

3回の餌料比較飼育試験では、生残率は高いものではなかったが、カルシトランス給餌区のみで着底稚貝を得ることができた。カルシトランスは他の2種よりも細胞サイズが小さいため、底面メッシュネットが目詰まりしにくい傾向にあることは飼育管理を行う中で感じることはできたが、飼育実績のあるパブロバで有効な着底稚貝を得られていないため、餌料の種類よりも飼育環境そのものに生産不調の原因があると考えられた。さらに、前述の「ダウンウェリング飼育での安定飼育再現性の検証」の5回目の飼育においては、カルシトランスのみの給餌で飼育を行ったが、アンボ期～フルグロウン期前後で大量斃死が起きたことから、飼育環境や防疫体制の見直しを行った上で試験を行う必要がある。

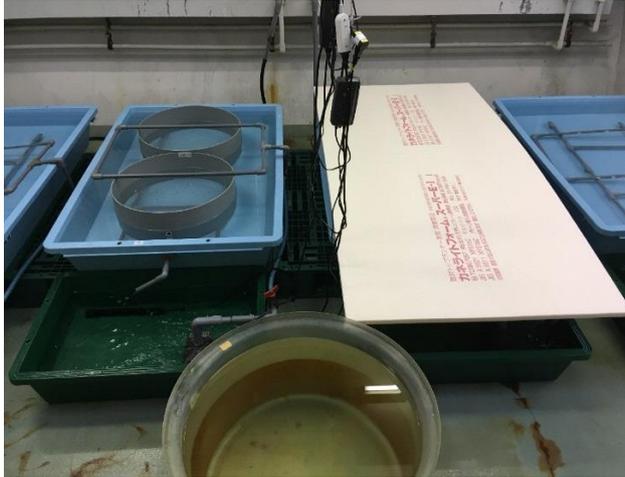


図 1. 飼育試験水槽の外観

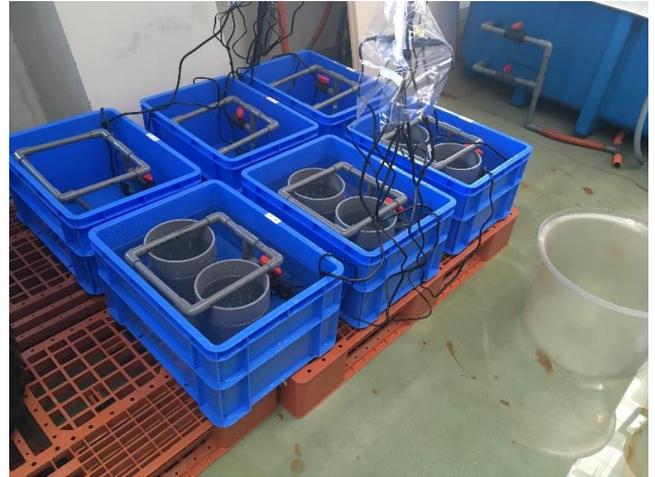


図 2. 餌料試験水槽の外観 (緑)

表 1. ダウンウェリング飼育での安定飼育再現性の検証の結果概要

	飼育開始日	飼育幼生数 (万個) ①	着底時幼生数 (万個) ②	着底時平均殻長 (μm)	飼育期間	生残率 (②/① *100)	着底稚貝数 (万個) ③	取上時平均殻長 (μm)	生残率 (③/② *100)	生残率 (③/① *100)	飼育期間
1R	6月19日	509.6	斃死多いため飼育中断								
2R	6月23日	112.2	12.1	182.1	12	10.8%	8.8	705.17	73.0%	7.9%	55
3R	7月7日	200	34.2	190.9	11	17.1%	成長停滞・斃死多いため飼育中断				
4R	7月21日	238	斃死多いため飼育中断								
5R	8月7日	140	斃死多いため飼育中断								
	合計	1199.8	46.3	—	—	3.9%	8.8	—	19.1%	0.7%	—

表 2. 餌料比較試験の結果概要

	飼育開始日	試験区	飼育幼生数 (万個) ①	着底時幼生数 (万個) ②	着底時平均殻長 (μm)	飼育期間	生残率 (②/① *100)	着底稚貝数 (個) ③	取上時平均殻長 (μm)	生残率 (③/② *100)	生残率 (③/① *100)	飼育期間
1R	6月23日	P区	20.0	1	188.9	9	5.0%	斃死多いため飼育中断				
		P+C区	20.0	4.8	182.5	9	24.0%					
		C区	20.0	6.1	190.7	9	30.3%					
2R	7月7日	P区	20.0	0.2	216.2	10	1.2%	斃死多いため飼育中断				
		P+C区	20.0	0.7	225.2	10	3.6%					
		C区	20.0	7.7	198.0	10	38.5%					
3R	7月28日	P区	18.4	12.5	193.8	8	67.9%	630	494.33	0.50%	0.34%	48
		P+C区	18.4	12.6	190.3	8	68.5%	62	451.75	0.05%	0.03%	48
		C区	18.4	15.9	196.3	8	86.4%	26,246	835.82	16.5%	14.3%	48
	合計		175.2	61.526	—	—	35.1%	48,136	—	7.8%	2.7%	—

(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

① 瀬戸内海東部海域におけるタイラギ育成技術の開発

香川県水産試験場

澤田晋吾・原佐登子・牧野弘靖

【目的】

大型二枚貝のタイラギは刺身や寿司ネタとして高値で取引され、本県では中讃地域（備讃瀬戸）を中心に、主に潜水器漁業により漁獲されており、潜水器漁業者の収入を支える重要な水産資源となっている。しかしながら、近年、環境変化や漁獲圧などにより漁獲量が減少しており、資源回復のための種苗放流や産卵量をかさ上げするための母貝団地造成などへの要望は強くなっている。

着底直後のタイラギの稚貝は殻が脆弱なため、主に陸上水槽で中間育成されているが、陸上水槽では餌である微細藻類の培養、ポンプ使用などのコスト面や飼育可能個体数の限界などの課題がある。また、人工培養した微細藻類を用いて長期飼育すると、大量減耗することが観察されているため、安定した種苗放流や母貝団地造成を行うためには、天然餌料を活用した中間育成技術の開発が必要である。これまで、本県では種苗生産した殻長約 1cm の有鱗型タイラギ稚貝を、種苗放流や母貝団地造成の際にハンドリングしやすい平均殻長 3～5cm まで成長させるため、海面における垂下式中間育成手法の開発を行い、一定の成果を得ている。

本研究では、垂下式中間育成により得られた知見を活かし、より高生残、高成長の中間育成手法の一つとして、令和元年度から引き続き、干潟での中間育成の開発を目的とした。

【研究方法】

1) 中間育成試験（干潟式中間育成と垂下式中間育成）

2020年8月18日～10月15日（飼育期間：58日間）に、瀬戸内海備讃瀬戸に位置する香川水試地先の屋島湾内の干潟及び小割筏にて試験を実施した（図1）。飼育容器であるカゴ（直径27×高さ23cm、8L；アロン化成）に着底直後のタイラギ稚貝を収容し、殻長が3～5cmになるまで中間育成を行い、生残率と成長率を調べた。

中間育成に供試した稚貝については、国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所百島庁舎において採卵、種苗生産した稚貝（有鱗型タイラギ：開始時平均殻長7.6mm）を使用した。

飼育容器は、ホヤ類やフジツボ類などが付着するのを防ぐため、シリコン系生物付着防止剤のセイフティプロ（西海養殖技研）によって防汚処理を施した。基質は、粒形1mmのアンスラサイト（トーケミ）を使用し、稚貝の食害防止とアンスラサイトの流出を防ぐため、収穫ネット袋（35×60cm；日本マタイ、通称、玉ねぎ袋）にアンスラサイトを約6L入れた後、飼育容器に入れた。今年度については、食害防止の観点から、カゴの中に入れる収穫ネット袋の枚数を2条件（1枚の試験区と2枚の試験区）設定した。飼育の途

中にネットを開いて、稚貝の観察や食害生物の除去等を行うが、収穫ネット袋に付属のビニールひもの劣化により作業し難いことがあるため、試験実施前にビニールひもを直径2～3mmの細いハイクレロープ（PKロープ）に交換した。

干潟式中間育成では、飼育密度を、飼育容器1個あたり120個（密度4,000個/m²：低密度）、240個（密度8,000個/m²：中密度）、360個（密度12,000個/m²：高密度）に設定し、稚貝を基質の上に置き、収穫ネット袋の口を閉めた後、香川水試地先の干潟に各密度4個（ネット1枚区2個、ネット2枚区2個）ずつ飼育容器を設置した。飼育容器は、干潟の表面に飼育容器の高さの半分程度の深さの穴を掘り、そこに埋設した。また、潮流等により飼育容器が流出することを防止するため、干潟に塩ビパイプ（2.5m）4本とコンクリートブロックを設置し、その間にロープを渡して、飼育容器を固定した（写真1）。

垂下式中間育成では、干潟と同様の収容密度、ネット枚数の条件で、香川水試地先の小割筏（水深約4m）の水深約1.5mの場所に飼育容器を垂下した。

また、干潟式及び垂下式とも、条件ごとに飼育容器を2個ずつ設置した。

中間育成期間中は、概ね2週間に一度、飼育容器を回収し、生残個体計数、殻長測定、食害生物除去、収穫ネット袋の交換作業等の飼育管理を実施した。

中間育成した稚貝の最終取り上げは、10月15日に実施した。取り上げ時には、木枠ふるい（枠寸法：400×600mm、目合：4.75mm）と特大型平バット（外寸法：924×616×210mm）を用い、基質と稚貝を選別した。選別後、生残していた稚貝の数をそれぞれの条件ごとに計数した。また、生残していた稚貝のうち、各試験区30個の殻長を測定し、平均殻長を算出した。生残稚貝が30個未満の場合は、生存が確認できた稚貝すべてを測定し、平均殻長を算出した。

今年度は、降雨時の低塩分対策として、大雨が予想される際には、干潟に設置した飼育容器を、陸上に設置したポリエチレンタンク（500L、モリマーサム樹脂工業㈱）に一時的に避難させ、精密ろ過海水で通水飼育した（写真2）。陸上水槽での飼育中は、給餌を実施しなかった。

【研究成果の概要】

中間育成試験の生残率の推移を表1、図2及び図3に示した。

まず、1カ月測定以降は、一部の試験区（360個収容、ネット2枚、小割垂下）を除き、ほとんどの試験区において、生残個体数に大きな減少は見られなかった。明確な食害生物の侵入についても、1試験区（240個収容、ネット1枚、小割垂下）以外では確認されなかったことから、干潟式、垂下式どちらの方法でも、沖出し後のサイズが小さい時期に、環境要因等により減耗が発生しやすく、特に干潟では減耗の度合いが大きかった。

最終2カ月後の生残率を、収容個数ごとに比較する。ここでは、ネット1枚と2枚の試験区を足した数を生残個体とする。120個収容の試験区では、干潟式の生残個体が計117個（生残率24.4%）に対し、垂下式の生残個体が計367個（生残率76.5%）となり、小

割垂下の方が約3倍も高い生残率となった(図4)。240個収容の試験区では、干潟式の生残個体が計109個(生残率11.4%)に対し、垂下式の生残個体が計454個(生残率47.3%)となり、1試験区でイシガニによる食害(写真3)がみられたものの、垂下式の方が約4倍高い生残率となった(図5)。360個収容の試験区では、干潟式の生残個体が計338個(生残率25.0%)に対し、垂下式の生残個体が計474個(生残率32.9%)となり、垂下式の方が約1.3倍高い生残率となった(図6)。全体でみると、垂下式の方が干潟式と比べて生残率が高くなったが、収容密度が高くなると、干潟式と垂下式の生残率の差は小さくなった。

次に、ネットの枚数の違いによる生残率を比較する。ここでは、干潟式と垂下式を足した数を生残個体とする。120個収容の試験区では、ネット1枚の生残個体が計253個(生残率52.7%)、ネット2枚の生残個体が231個(生残率48.1%)となり、生残率に差はほとんど見られなかった(図7)。240個収容の試験区では、ネット1枚の生残個体が計259個(生残率27.0%)、ネット2枚の生残個体が304個(生残率31.7%)となり、こちらも大きな差は見られなかった(図8)。360個収容の試験区では、ネット1枚の生残個体が計577個(生残率40.1%)、ネット2枚の生残個体が235個(生残率17.3%)となり、ネット1枚の方が2.3倍高い生残率となった(図9)。ネットを2枚にすると、珪藻等の付着による目詰まりが起りやすく、餌の供給量の減少や通水性が悪化し、収容密度が高いほど、その影響を受けて生残率が低くなることが推察された。

令和元年度に干潟式及び垂下式の間育成試験を行った際には、飼育期間を通して、食害生物の除去やネットの交換等の飼育管理を実施しなかったため、生残率が著しく低下したが(垂下式30~43%、干潟式0~10%)、令和2年度の試験では、概ね2週間おきに飼育管理を実施したため、生残率の向上が見られたと考えられる。

平均殻長の推移を表2、図10及び図11に示した。最終2カ月後の平均殻長を、収容個数ごとに比較する。ここでは、ネット1枚と2枚の試験区を足した数を生残個体とする。中間育成開始時点の平均殻長は7.6mmであった。120個収容の試験区では、干潟式の平均殻長は42.2~54.8mm、垂下式の平均殻長は39.8~52.3mmとなり、明確な成長差は見られなかった。240個収容の試験区では、干潟式の平均殻長は36.8~49.6mm、垂下式の平均殻長は35.5~50.9mmとなり、こちらも明確な成長差は見られなかった。360個収容の試験区では、干潟式の平均殻長は41.2~46.8mm、垂下式の平均殻長は36.5~50.6mmとなり、こちらも明確な成長差は見られなかった。

次に、ネットの枚数の違いによる生残率を比較する。ここでは、干潟式と垂下式を足した数を生残個体とする。120個収容の試験区では、ネット1枚の平均殻長は42.2~54.8mm、ネット2枚の平均殻長は39.8~48.7mmとなり、ネット2枚区の成長が少し劣る結果となった。240個収容の試験区では、ネット1枚の平均殻長は40.3~50.9mm、ネット2枚の平均殻長は35.5~42.9mmとなり、ネット2枚区の成長が劣る結果となった。360個収容の試験区では、ネット1枚の平均殻長は45.5~52.8mm、ネット2枚の平均殻長は36.5

～42.2mm となり、明確にネット 2 枚区の成長が劣る結果となった。このことは、ネットを 2 枚にすると、珪藻等の付着による目詰まりが起りやすく、餌の供給量の減少や通水性が悪化するため、稚貝を高密度に収容するほど、成長差が出るものと推察された。試験区ごとに最終殻長に差はあったが、概ね最終目標の 4～5cm のサイズまで成長させることができた。

最後に、ネットの枚数の違いによる食害防除の効果について検証する。今回の中間育成試験では、カニ等による明らかな食害が 1 例 (240 個収容、ネット 1 枚、小割垂下) のみ確認され (写真 3)、それ以外の試験区では食害によるへい死は確認されなかった。2 週間おきの飼育管理の際にネット袋を開けても、デトリタス食性のイッカクモガニが確認されただけで、食害生物の侵入は確認できなかった。ネットの枚数による食害防除効果については、今回の試験では確認できなかったが、飼育管理を頻繁にすることで、食害生物 (イシガニ、ワタリガニ等) の侵入を軽減できると思われる。

【次年度に向けた提言】

昨年度から引き続き、干潟式及び垂下式での中間育成試験を実施し、垂下式では生残率 90%以上、最終殻長が 50mm を超えるような試験区 (写真 4) もみられるなど、好成績を得ることができた。一方で、干潟式では、垂下式より劣るものの、生残率が 50%を超えるような試験区もみられた。一部試験区ではイシガニによる食害が確認されたものの、定期的にネットの交換などの飼育管理を行うことで、一定程度食害を軽減することができ、最終的な生残率の向上を実現できるものと推察された。

他方、水産技術研究所をはじめとした研究機関により、タイラギの種苗生産技術は向上しており、10 万～100 万オーダーの稚貝を生産することも可能となってきている。より多くの稚貝を中間育成し、母貝団地造成や種苗放流に供試するためには、飼育容器の大型化による収容個数の増加が求められる。そこで、次年度は、本年度に得られた好成績の試験区の結果を参考に、より多くの稚貝が収容できる大型の飼育容器を用い中間育成を実施し、殻長 5cm サイズの稚貝を効率的に生産できる手法の開発に取り組む必要があると考えている。

参考文献

タイラギ種苗生産・養殖ガイドブック 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 編

表 1. 中間育成試験の生残率

基質	収容 個数 (個)	収容 密度 (個体/m ³)	収穫ネット 枚数 (枚)	設置場所	1カ月後		1.5カ月後		2カ月後		
					個体数 (個)	生残率 (%)	個体数 (個)	生残率 (%)	個体数 (個)	生残率 (%)	
開始殻長: 7.6mm											
アンスラ サイト6L (粒径1mm)	120	4,000	1枚	干潟	4	3	3	3	3	3	
	120	4,000			25	21	25	21	25	21	
	120	4,000		小割	120	100	118	98	114	95	
	120	4,000			115	96	114	95	111	93	
	120	4,000		2枚	干潟	18	15	18	15	18	15
	120	4,000				73	61	72	60	71	59
	120	4,000	小割		79	66	66	55	62	52	
	120	4,000			85	71	83	69	80	67	
	240	8,000	1枚		干潟	53	22	41	17	21	9
	240	8,000				58	24	56	23	51	21
	240	8,000		小割	183	76	180	75	172	72	
	240	8,000			16	7	16	7	15	6*	
	240	8,000		2枚	干潟	36	15	19	8	13	5
	240	8,000				41	17	29	12	24	10
	240	8,000	小割		181	75	157	65	150	63	
	240	8,000			181	75	129	54	117	49	
	360	12,000	1枚		干潟	161	45	154	43	152	42
	360	12,000				91	25	87	24	84	23
	360	12,000		小割	142	39	132	37	129	36	
	360	12,000			236	66	226	63	212	59	
	360	12,000		2枚	干潟	25	7	25	7	25	7
	273	9,100				104	38	89	33	77	28
	360	12,000	小割		236	66	154	43	54	15	
	360	12,000			214	59	165	46	79	22	

* イシガニによる食害のため、生残率が低い

表 2. 中間育成試験の平均殻長および成長率

基質	収容 個数 (個)	収容 密度 (個体/m ³)	収穫ネット 枚数 (枚)	設置場所	1カ月後		1.5カ月後		2カ月後		
					平均殻長 (mm)	日間成長率 (mm/日)	平均殻長 (mm)	日間成長率 (mm/日)	平均殻長 (mm)	日間成長率 (mm/日)	
開始殻長: 7.6mm											
アンスラ サイト6L (粒径1mm)	120	4,000	1枚	干潟	20.0	0.44	31.4	0.58	42.2	0.62	
	120	4,000			30.3	0.81	44.8	0.91	54.8	0.84	
	120	4,000		小割	33.8	0.87	46.4	0.90	51.4	0.75	
	120	4,000			33.5	0.86	44.6	0.86	52.3	0.77	
	120	4,000		2枚	干潟	29.7	0.79	41.5	0.83	48.7	0.73
	120	4,000				28.3	0.74	37.7	0.73	48.0	0.72
	120	4,000	小割		30.3	0.76	36.3	0.67	39.8	0.55	
	120	4,000			32.4	0.83	41.0	0.78	46.4	0.67	
	240	8,000	1枚		干潟	29.4	0.75	38.6	0.76	40.3	0.58
	240	8,000				30.4	0.79	41.6	0.83	49.6	0.75
	240	8,000		小割	32.0	0.79	44.3	0.85	47.5	0.69	
	240	8,000			27.9	0.65	39.9	0.75	50.9	0.75	
	240	8,000		2枚	干潟	21.9	0.49	28.1	0.50	39.0	0.56
	240	8,000				21.9	0.49	29.3	0.53	36.8	0.52
	240	8,000	小割		31.4	0.77	38.2	0.70	42.9	0.61	
	240	8,000			31.2	0.76	34.7	0.61	35.5	0.48	
	360	12,000	1枚		干潟	27.8	0.72	39.6	0.78	45.5	0.68
	360	12,000				28.0	0.73	38.6	0.76	46.8	0.70
	360	12,000		小割	34.7	0.87	45.1	0.85	52.8	0.78	
	360	12,000			34.0	0.85	45.1	0.85	50.6	0.74	
	360	12,000		2枚	干潟	21.9	0.51	31.1	0.57	41.2	0.60
	273	9,100				25.9	0.65	36.9	0.72	42.2	0.62
	360	12,000	小割		29.7	0.71	36.0	0.65	39.5	0.55	
	360	12,000			28.5	0.67	31.6	0.55	36.5	0.50	

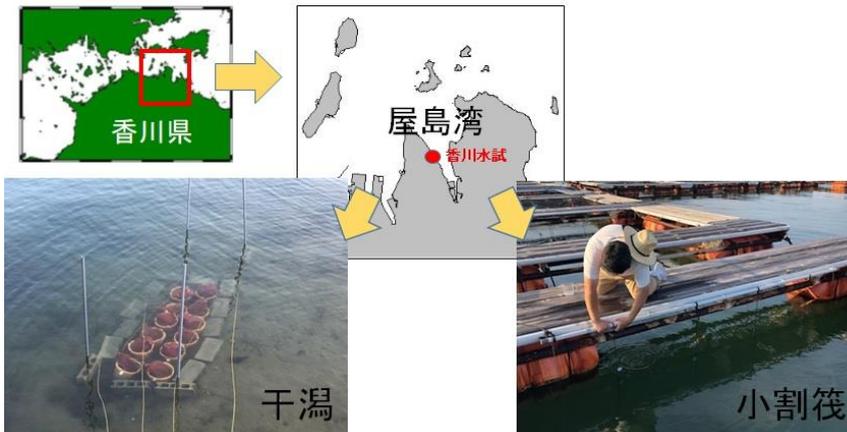


図 1. 中間育成試験場所（香川県水産試験場地先の干潟及び小割筏）

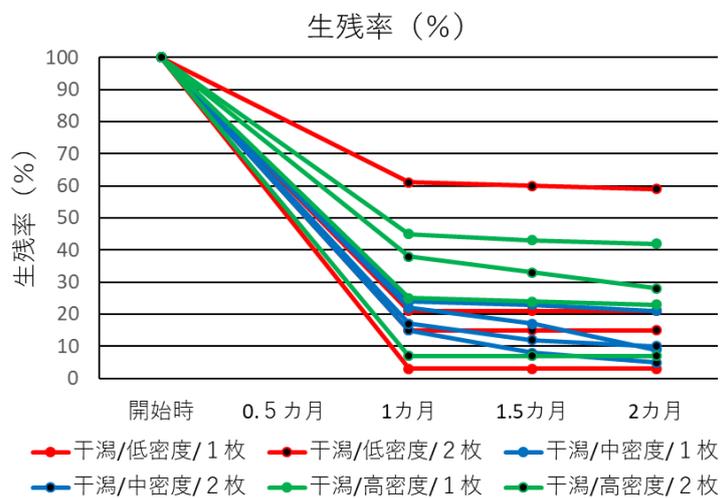


図 2. 干潟式中間育成での生残率推移

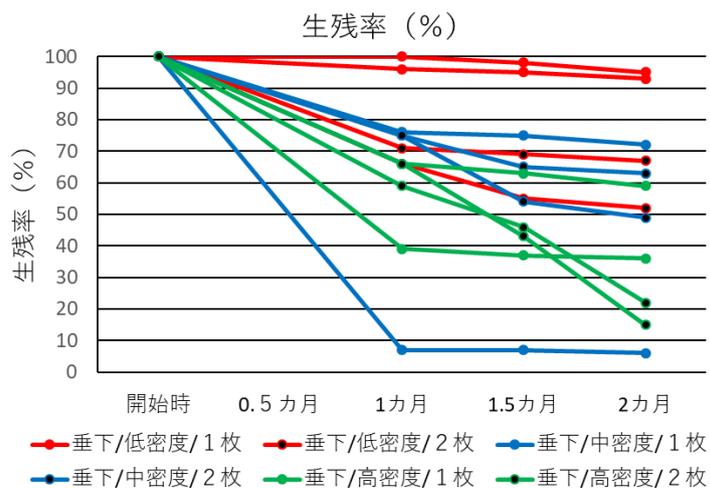


図 3. 垂下式中間育成での生残率推移



図 4. 設置場所別の生存率比較 (低密度)

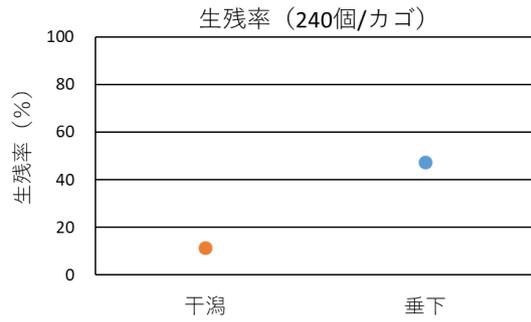


図 5. 設置場所別の生存率比較 (中密度)

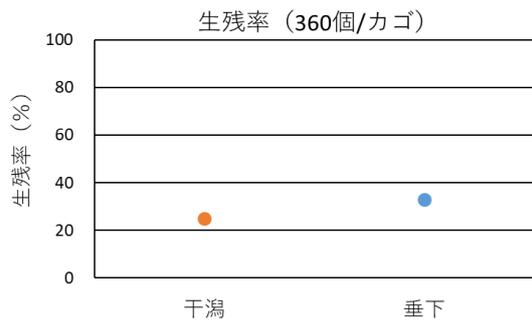


図 6. 設置場所別の生存率比較 (高密度)

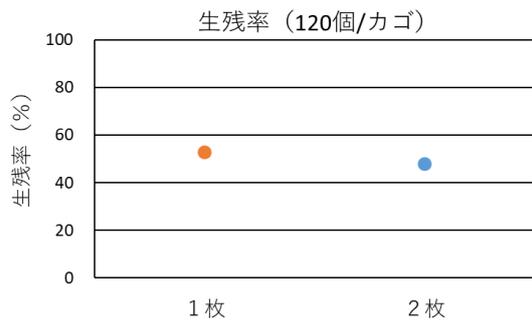


図 7. ネット数別の生存率比較 (低密度)

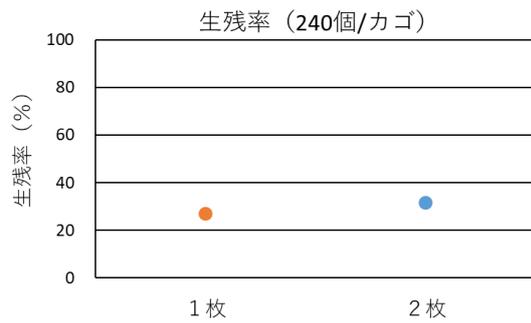


図 8. ネット数別の生存率比較 (中密度)

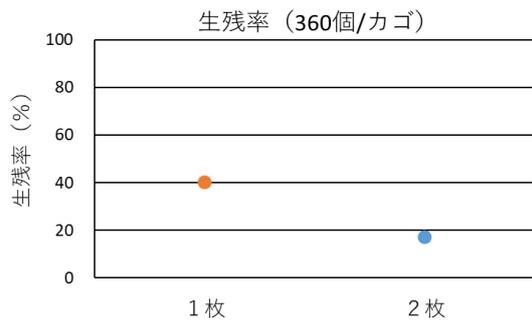


図 9. ネット数別の生存率比較 (高密度)

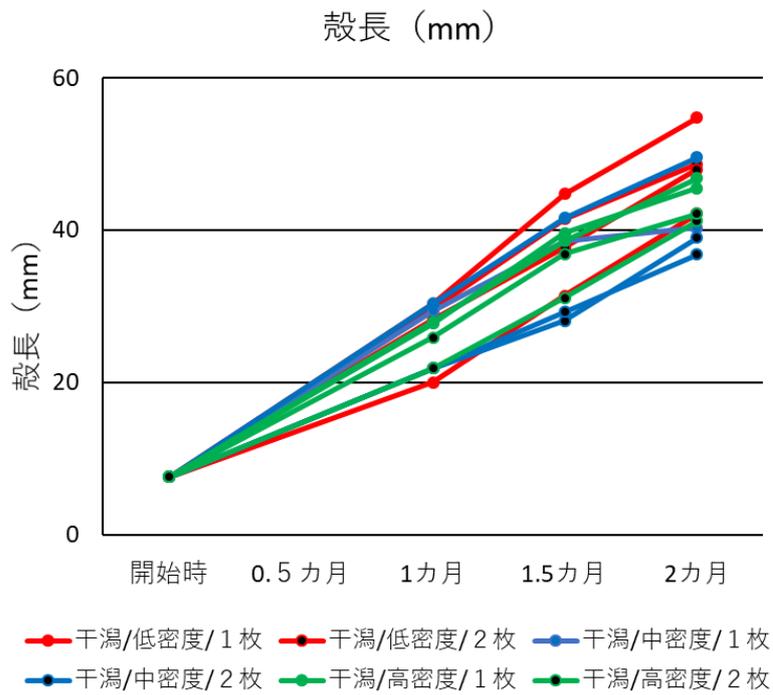


図 10. 干潟式中間育成での殻長推移

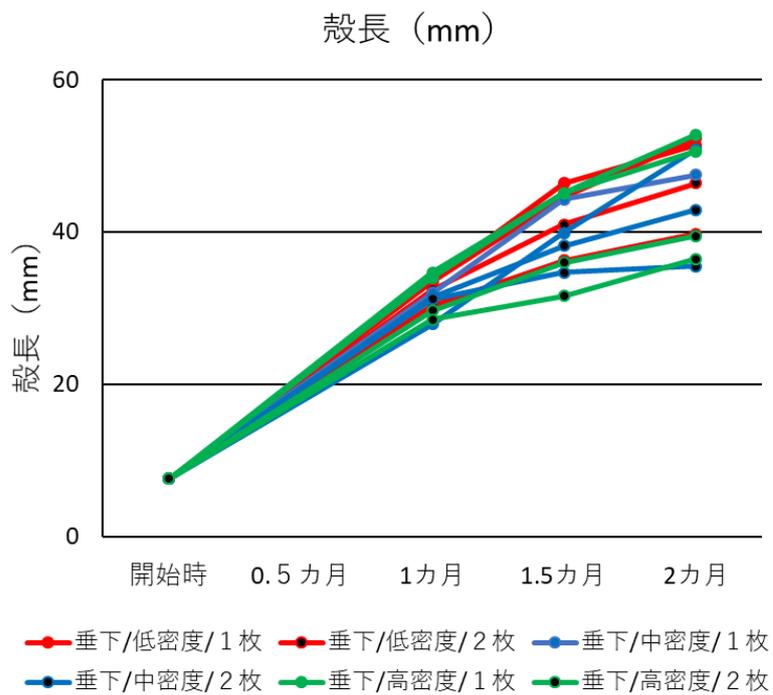


図 11. 垂下式中間育成での殻長推移



写真 1. 干潟での中間育成



写真 2. 避難用陸上水槽



写真 3. 食害生物



写真 4. 中間育成終了時の稚貝 (平均殻長 51.4mm)

(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

②瀬戸内海西部海域におけるタイラギ育成技術の開発

山口県水産研究センター内海研究部

多賀 茂

【目的】

ふ化したタイラギ幼生は水温25℃程度では4週間程度で変態・着底を開始し、7～8週間で約8割程度が殻長0.6～0.8mmの着底稚貝となる。着底直後の稚貝は脆弱で環境変動や食害による斃死が多く、小型稚貝となっても低水温に非常に弱いことから、母貝団地造成用の種苗として、これらの減耗要因に耐えうるサイズまで速やかに育成する必要がある。この中間育成では、稚貝の成長・生残に最適な密度等の飼育条件、好適な餌料、作業の省力化及び低コスト化が求められる。そこで、海面でのカゴ垂下式及び山口県水産研究センターが開発した陸上水槽の1種である水路を用いた稚貝の育成（以下、陸上水路式）に取り組み、効率的な飼育方法の開発を行う。

【研究方法】

1) カゴ垂下式

陸上水路式での中間育成では、基質であるバンカー砂表層を粒径の細かい砂で覆うことでタイラギの潜砂を促し生残率向上を図ることができた。カゴ垂下式においても、同様の手法で生残率向上を図ることを目的に試験を行った。

試験は瀬戸内海西部海域に位置する山口県山口市の山口湾に設置されたロープ筏で行った。試験容器には、これまでの試験結果からタイラギの飼育に適していると判断された、サンテナーカゴ（幅35×長さ52×高さ27cm、底面積0.182m²、容量44.6L）を用いた（図1、2）。飼育容器内に基質としてバンカー砂（粒径3mm）を約5cmの厚さに敷きつめ、その上に粒径3mm（a区）、0.7mm（b区）および0.25mm（c区）の3種類の砂をそれぞれ1cmの厚さで添加した。試験は各区3面の飼育容器を用い、合計9面で実施した。各区には、5月～6月に早期採卵され、水産技術研究所百島庁舎で生産された殻長8.1mmの稚貝1000個（密度5,495個/m²）を収容した。これらの試験容器を2020年8月12日に水深1.5mに垂下し、育成試験を開始した。なお、稚貝の食害を防ぐため、サンテナーカゴの蓋とカゴの穴をネット（目合1mm）で塞いだ。

2) 陸上水路式

①陸上水路の基本構成

山口県水産研究センター内海研究部の敷地内に外壁をコンクリートブロックで組み、内側に水漏れ防止用のゴムシートを張った、1列が長さ4m×幅0.25m×深さ0.4mの陸上水路を設置し、一方から毎時900Lで生海水を給水し、もう一方から排水することで流れをつくり、水路内の流速を調整した。水路内の砂床にはバンカー砂を水面から砂床表面まで

の水深が 3 cm 程度になるように敷設し、砂床表層 1 cm だけは粒径 0.25 mm 以上の砂を用いた。また、水路砂床内には、トリカルネット(目合 7.5 mm)で作成した升(0.5m×0.25m×h0.2m)を縦に 8 個埋設しておき、種苗取り上げ時には升ごとフルイがけすることで種苗への物理的負担を軽減した(図 1、3)。餌料用に、キャンバス水槽(16 t×2 基、50t×2 基)でケイ酸栄養資材(ゲルカルチャー)とアサリ施肥育成用配合肥料(フィッシャリー MF)を投与してプランクトンを粗放的に培養した。その培養水を毎時 45L で生海水の給水と同時に給餌した。供試タイラギは前述のカゴ垂下式と同じ稚貝を用いた。

②陸上水路式遮光試験

育成中のタイラギは、夕方～夜間にかけて後縁部を開き外套膜を広げて活発な濾水を行っている様子が確認される。そこで、より効率的な中間育成をするため、水路への遮光試験を行った。遮光率を、0%、50%および 100%で設定、それぞれを試験区 d、e、f とし、試験区毎に 3 つの水路(n=3)を準備した。遮光材として、試験区 e(50%遮光)には農業資材である 50%遮光ネット、試験区 f(100%遮光)には建材である黒の断熱ボードを用いた。なお、試験区 d(0%遮光)においても食害生物の侵入を防止するため、目合 9 mm の防鳥ネット(網糸径 0.4 mm)で水路を覆ったため、網地分だけ遮光されるが 0%遮光として扱った(図 4)。2020 年 8 月 9 日～10 日にかけて生海水の給水と稚貝 2,400 個/水路(m²)を各試験区に収容し、2020 年 8 月 11 日から培養水の給餌を行い、育成試験を開始した。殻長測定は毎週、生残は毎月 1 回目視による全数計数を行った。

③陸上水路式砂床表層のクロロフィル a 量比較

遮光による、各試験区の砂床表層に発生する底生微細藻類の違いを観察するため、砂床表層泥のクロロフィル a 量を測定して比較した。2020 年 9 月 15 日に各試験区の砂床表面で 10 cm×10 cm の方形枠を用い、約 5 mm 厚の表層泥を採取した。試料毎 1g～2g の湿泥を 500ml の精密ろ過海水で十分攪拌し、懸濁液をメンブレンフィルター(0.45 μm)でろ過した。フィルターに残った残渣物から吸光法によりクロロフィル a 量(μg)を求め、乾泥 1g に換算した。

③明暗飼育によるタイラギ摂餌試験

育成中のタイラギについて明るさの違いによる摂餌の影響を調べる試験を行った。試験は、1 日 24 時間の内 9 時間(8:00～17:00)を照明で明るくし 15 時間(17:00～8:00)を暗くする方法および 24 時間全てを暗くする方法の 2 種類で行った。それぞれを試験区 g、h とし、タイラギを収容する水槽(n=3)を試験区 g～i 及び試験区 h～i、タイラギを収容せず微細藻類の自然増減を確認するための水槽(n=1)を試験区 g～ii 及び試験区 h～ii とした。各試験区とも 9:00 にパブロボ・ルテリを 50,000 細胞/ml の密度となるよう給餌を行い、1h(10:00)、2h(11:00)、4h(13:00)、8h(17:00)後に計数をした。試験装置は、屋内の暗室内(室温 20℃維持)に 500L 角型水槽をウオーターバスとして設置し、内部に 250L の水道水を貯水して 19℃となるよう水温を保った。ウオーターバス内部にパンライト水槽(30L)を収容し、試験区 g ではパンライト水槽直上に 18W 蛍光灯 2 灯の照明装置を置いてタイマ

一により照明のオンオフを行い、試験区 h では、ウオーターバスである角型水槽上部を建材である黒の断熱ボードで蓋をして内部を暗くした (図 5)。30L パンライト水槽に精密ろ過した海水 (1 μ m フィルター使用) 25L を注水し、試験区 g~i 及び試験区 h~i には平均殻長 65.9 mm \pm 1.7 のタイラギ 3 個を基質 (砂 0.5 mm \times) に潜砂させて収容した 500ml ビーカーを設置した。試験は 2020 年 12 月 17 日に行った。前述の試験も含め、統計値の計算にはエクセル統計を用いた。

【研究成果の概要】

1) カゴ垂下式

①垂下カゴ内基質表層粒径の違いによる生残・成長

2020 年 8 月 12 日から 9 月 23 日にかけて容器に収容する基質表層の粒径を変えて育成した結果、生残率と平均殻長は、試験区 a で 29.0% \pm 14.3 及び 36.8 mm \pm 1.1、試験区 b で 26.3% \pm 19.5 及び 37.0 mm \pm 0.3、試験区 c で 41.5% \pm 15.9 及び 36.9 mm \pm 2.4 であった (図 6)。各試験区が生残率及び殻長には、ともに有意差が認められなかった (ANOVA, *n. s.*)。

②今年度の減耗要因の推定

タイラギ稚貝の潜砂を促し生残率向上を図る目的で、表層 1 cm を覆う砂の粒径を変えた試験を行ったが、試験区毎の生残率には差は見られずまた、前年と同様に全体の生残率も 40%未滿と低かった。育成期間中の水温と塩分の推移では、タイラギに影響を与えるような値は観測されておらず、またカニ等の食害生物は全ての飼育容器で確認されなかった。生残率が低くなった原因としては、台風 9 号および 10 号を避けるため陸上水槽への避難が 10 日にわたって続いたことが考えられる (図 7)。8 月 31 日に避難のため陸上へ持ち帰った際、各試験区の計数 (n=1) と殻長測定を行ったところ、生残率と殻長は、試験区 a で 100%及び 20.5 mm、試験区 b で 100%及び 22.3 mm、試験区 c で 100%及び 23.6 mm となっており、育成は順調に推移していたと思われる。その後、陸上の角型水槽 (5t) に飼育容器ごとタイラギ稚貝を収容し、砂ろ過海水 1t/h の給水とエアレーションで陸上飼育を続けた。しかし、避難から 7 日を過ぎた辺りから死殻が散見されるようになり、9 月 10 日には死殻が目立ってきたため、台風による波浪が弱まり次第、海での垂下飼育を再開したが、9 月 23 日には大量の死殻が確認された。

飼育容器内のタイラギ密度は 5,495 個/m²と高く、台風避難として準備した水槽サイズや換水条件が不十分であったこと、避難が 10 日におよんだこと等で容器内の環境が悪化して、へい死した可能性が考えられた。

2) 陸上水路式

①陸上水路式遮光試験

2020 年 8 月 11 日から 11 月 11 日にかけて、水路の遮光条件を変えて育成を行った結果、生残率及び殻長は、試験区 d で 46.0% \pm 7.8 及び 55.7 mm \pm 0.66、試験区 e で 83.2% \pm

10.8 及び $52.2 \text{ mm} \pm 0.79$ 、試験区 f で $67.3\% \pm 2.4$ 及び $51.4 \text{ mm} \pm 0.17$ であった(図 8、9)。各試験区の生残率と殻長には、ともに有意差が認められた(ANOVA, $p < 0.05$)。試験区毎のタイラギ総重量は、試験区 d で $2.9 \text{ kg} \pm 0.3$ 、試験区 e で $4.3 \text{ kg} \pm 0.6$ 、試験区 f で $3.4 \text{ kg} \pm 0.5$ であり有意差が認められた(ANOVA, $p < 0.05$)。このことから、生残率と総重量で優れている試験区 e の 50%遮光が中間育成に適していると思われる。生残率の推移を見ると、全ての試験区で育成開始直後に大きく減少し、その後の変化は小さかった。中間育成期間中の水温・塩分・クロロフィル a 量の推移を見ると、水温は 9 月中旬まで 25°C 以上であったが、9 月下旬以降下がり続け、試験終了時には 17°C となった。塩分は 30~32 を保ち続けた。クロロフィル a 量は、育成期間を平均すると $14 \mu\text{g/L}$ (最大 $28 \mu\text{g/L}$) であったが、台風の接近や雨天が続くとクロロフィル a 量が 0 となる期間もあった(図 10)。

②陸上水路式砂床表層のクロロフィル a 量比較

遮光を行うと、水路砂床表層の底生微細藻類の繁殖に影響を及ぼす可能性がある。微細藻類の指標としてクロロフィル a 量を測り遮光による影響を調べた。

乾泥 1g に含まれるクロロフィル a 量は、試験区 d で $58.0 \mu\text{g} \pm 7.1$ 、試験区 e で $45.4 \mu\text{g} \pm 9.6$ 、試験区 f で $9.9 \mu\text{g} \pm 5.3$ であった。各試験区のクロロフィル a 量には、有意差が認められた(ANOVA, $p < 0.05$) (図 11)。なお、微細藻類を顕微鏡観察したところ、試験区 d ではイカダケイソウやメロシラといった群体性の微細藻類が多く、試験区 e ではニッチアやプレウロシグマといった単体の微細藻類が多く見られた。

③明暗飼育によるタイラギ摂餌試験

2020 年 12 月 15 日に陸上水路式(自然光)で飼育中のタイラギ(平均殻長 65.9 mm)を屋内に移動させ試験を開始した。試験環境に 2 日間馴致(無給餌)させ 3 日目の 12 月 17 日に給餌観察を行った。試験区の飼育海水中に含まれる微細藻類(パブロバ・ルテリ)を計数したところ、給餌開始から 8 時間後の微細藻類数が試験区 g で $34,365 \text{ 細胞/ml} \pm 2,837$ 、試験区 h で $26,738 \text{ 細胞/ml} \pm 1,350$ となり有意差が認められた(t 検定, $p < 0.05$)。なお、試験区 g-ii 及び試験区 h-ii では微細藻類数の差や増減が小さかったことから、試験区による微細藻類の自然増減は考慮しなかった(図 12)。

【次年度に向けた提言】

カゴ垂下式では、基質表層を粒径の細かな砂で覆うことで、生残率向上を図ろうとしたが、効果を把握することはできなかった。また、最終的な生残率は、前年に続き 40%未満となっており、カゴ垂下式における生残率向上は引き続き重要な課題である。前年は、台風による海域の低塩分がへい死の要因と推定されたが、今年は、台風を避けるための陸上避難の長期化がタイラギに負担となったと思われる。

陸上水路式では、遮光により生残と成長に差が見られ、50%遮光をすることで効率的な中間育成を行うことができると判明した。砂床表面のクロロフィル a 量の観察では、遮光率によって値が増減し、遮光率が低いほど値が大きいため、餌料としての効果も高かった

可能性がある。明暗飼育による摂餌試験では、暗い状態を保つ方で摂餌量が多くなったが、育成結果を総合的に考えれば、水路を100%遮光するメリットは少ないと思われる。試験区毎の生残状況を詳しく観察すると全ての試験区で育成開始直後に生残率が大きく下がり、その後は変化が小さかった。育成開始前後に生残率を低下させる要因の有無について課題があると思われる。

カゴ垂下式では、育成開始から20日目(8/31)における生残率は100%であったが、陸上水路式では育成開始1週間後には生残率が40%~80%に低下した。カゴ垂下式と陸上水路式のタイラギ稚貝は同じ種苗であり、2020年8月8日に車で百島庁舎から移送され屋内水槽に収容された後に、8月9日~8月10日にかけて陸上水路式、8月12日にカゴ飼育容器に移し海上のローブ筏でカゴ垂下式の育成を始めた。種苗移送後の取り扱いの違いが、育成開始直後の生残に影響を及ぼした可能性が考えられる。

次年度は、カゴ垂下式と陸上水路式において、タイラギ種苗移送後に屋内水槽から陸上水路やカゴ垂下に移すための条件について検討を行い効率的な育成方法を開発したい。

参考文献

山本昌幸、伊藤 篤、山崎 英樹、兼松正衛. 異なる基質・密度で中間育成したリシケタイラギ稚貝の生残率と成長率. 水産増殖 2017; 65: 263-269.

沼口勝之. アサリ漁場における底層水,セジメントおよび底泥のクロロフィル a とフェオ色素量. 養殖研報,18: 39-52

千葉健治・大島泰雄. アサリを主とする海産二枚貝の濾水・摂餌に及ぼす濁りの影響. 日本水産学会誌, 23(7/8): 238-353

Kurihara T, Nakano S, Matsuyama Y, Hashimoto K, Yamada K, Ito A, Kanematsu M. Survival time of juvenile pen shell *Atrina pectinata* (Bivalvia:Pinnidae) in hyposaline water. *International Aquatic Research* 2018; 10: 1-11.

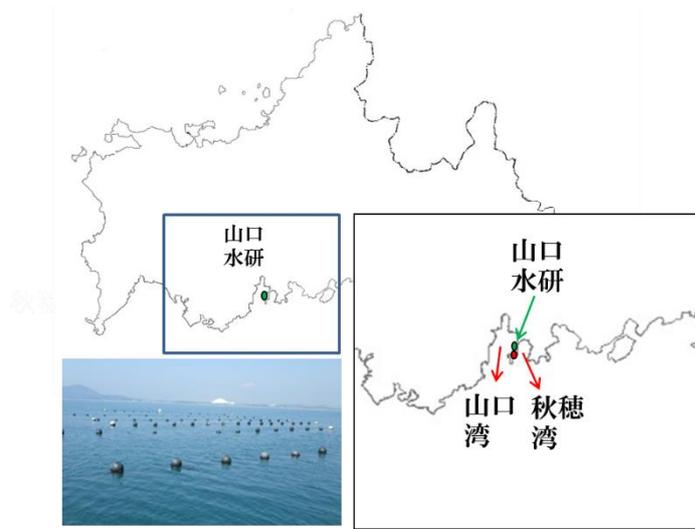


図1 カゴ垂下式及び陸上水路式育成を実施している山口湾及び山口県水産研究センター
写真はロープ筏



図2 サンテナーカゴ



図3 陸上水路

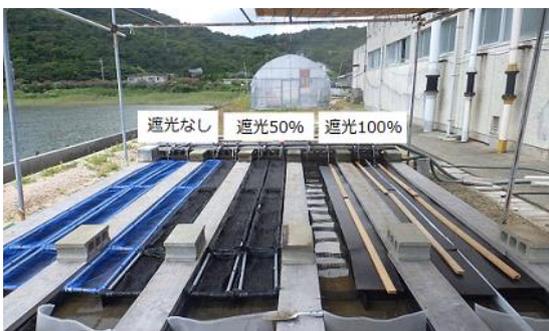


図4 陸上水路式遮光試験の様子



図5 明暗飼育によるタイラギ摂餌試験

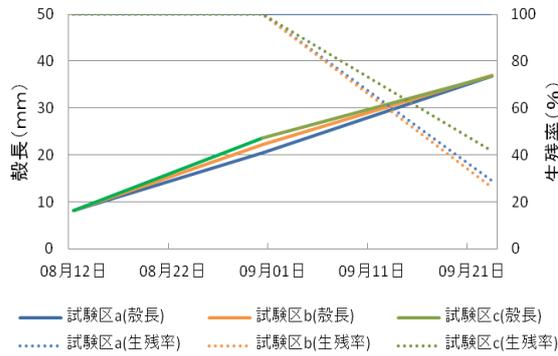


図6 カゴ垂下式容器内基質表層粒径の生残・成長の推移の

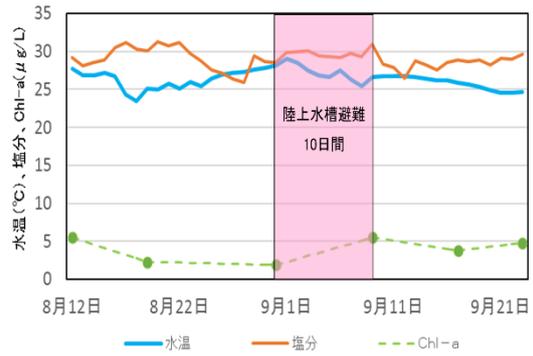


図7 カゴ垂下式中間育成期間違いによる水温・塩分 Chl-a 量の推移

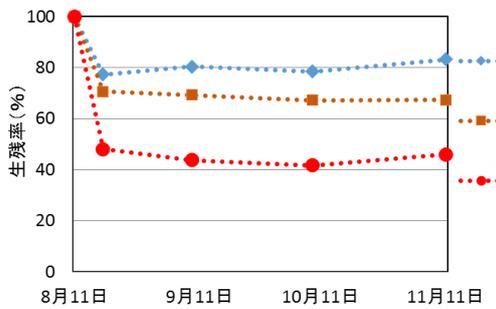


図8 陸上水路式遮光試験の生残率推移

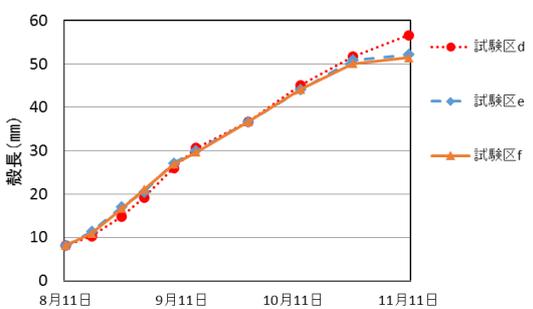


図9 陸上水路式遮光試験の殻長推移

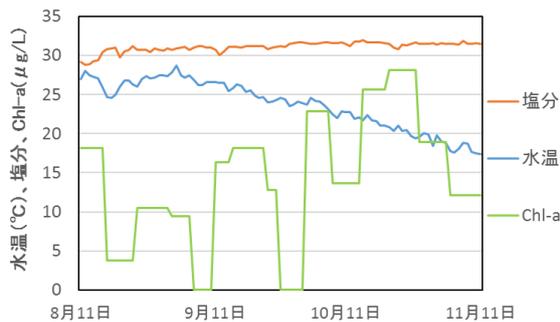


図10 陸上水路式の水溫・塩分・Chl-a 量推移

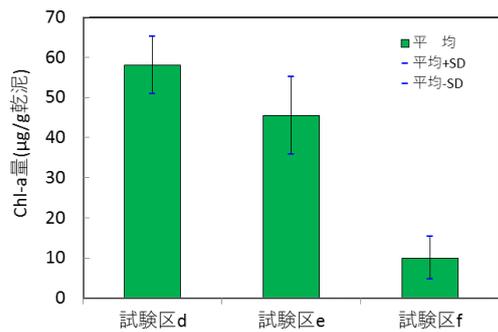


図11 陸上水路式砂床表層の Chl-a 量

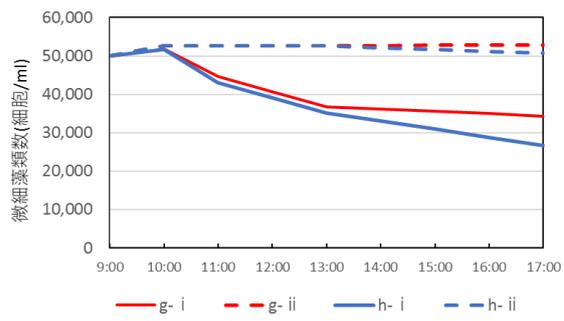


図 12 明暗飼育によるタイラギ飼育水槽内の
微細藻類数推移

(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

③ 東京湾におけるハマグリ育成技術開発

千葉県水産総合研究センター 東京湾漁業研究所

小林 豊

【目的】

これまでの試験結果から、殻長 1 mm 以降の稚貝育成については、3 段式循環水槽（ダウンウェリング方式）で継続して育成し、越冬させることが可能となった。また、春季に殻長 3 mm 程度に成長した稚貝は干潟で被覆網を使用して保護育成することで夏季までの残留率 50%を達成することが可能となった。

しかし、殻長 1 mm の稚貝を、3 段式循環水槽で室内育成する際の適正な育成密度は判明していない。そこで、令和 2 年度は殻長 1 mm からの育成密度の比較試験を実施し、翌春までに殻長 3 mm 程度に育成することを目標とした。

一方、春夏季の被覆網による干潟育成では、稚貝の流出防止のため被覆網の縁辺部を 15 cm まで埋める必要があり、非常に作業負担が大きい。簡易に被覆網を設置できるような作業方法の改良が課題となっている。令和元年度は、縁辺部を埋設せず、四方に 80 g/m の沈子ロープを装着した網を杭で固定してみたが、杭を固定するためのハトメ加工部分に隙間ができ、その部分から稚貝が流失した可能性が考えられた。そこで、令和 2 年度は、隙間ができないよう改良した被覆網と縁辺部を埋設した網による比較試験を春夏季に実施した。さらに、春夏季に育成した稚貝（殻長 14 mm）を秋冬季に被覆網で育成するための適正密度を把握するため、育成密度試験を実施した。

【研究方法】

1) 3 段式循環水槽を使用した殻長 1 mm 以降の育成密度比較試験

使用した水槽は多段式循環水槽（ダウンウェリング方式）である（詳細は、「(3) 人工種苗生産技術の開発、②ハマグリ人工種苗生産技術」参照）。散水量は 1.2~1.5 L/分とし、基質（貝化石）は使用しなかった。試験は令和 2 年 9 月 17 日から開始し、試験開始時の稚貝の平均殻長は 1.8 mm であった。育成密度は、直径 60 cm の飼育容器に 5 万個体/器（18 個体/cm²）と 10 万個体/器（35 個/cm²）の 2 段階とし、各水槽に 3 器収容した。餌料はパブロバ ルテリとキートセロス ネオグラシーレを与え、給餌回数は 1 日 3 回（午前、午後、夜）とした。給餌量の調整は、午前の給餌前にフックスローゼンタール血球算定盤で残餌を計数し、残餌が 2,000 細胞/ml 以下の場合には給餌量を増加した。飼育水温は 33℃、60%希釈海水（19 程度）とし、水温は室内温度の低下に合わせて 10 月 15 日に 30℃、11 月 5 日に 28℃、12 月 26 日に 26℃とし、その後は概ね 1 週間に数回の間隔で 1~2℃下げて令和 3 年 1 月 10 日からは 12℃とした。塩分は放流場所の塩分と合わせるために上げていき、2 日後には 26 程度、12 月 18 日には 28 程度を目安とし、3 月からは希釈せず、30 程度とした。水換えと容器・稚貝洗浄は隔日に実施した。月 1 回の間隔で生残率と成長を把握した。

2) 設置方法の異なる2種の被覆網による春夏季育成試験

試験は令和2年5月27日から9月30日までの126日間実施した。育成場所は千葉県木更津市盤洲干潟の小櫃川河口北側干潟域の岸側（地盤高+0.9 m程度）とし、令和元年度の初夏～秋に採卵し、室内で越冬させた平均殻長3.3 mmの稚貝を使用した。

被覆網は「縁辺部埋設」（以降、縁辺部埋設区と呼ぶ）および昨年度の被覆網の改良型「沈子ロープ（80 g/m）を2重とし、ハトメ加工せず、直接、杭で網の縁辺部を固定する方式（以降、杭固定区と呼ぶ）」の2種類とした。被覆網の区画は3×3 m、目合は2 mm角目、育成密度は8,900 個体/m²とした。追跡調査は月1回実施し、内径65 mmのコアサンプラーで網内の6か所を各1回採取し、推定残留率及び成長（殻長）を把握した。なお、被覆網は概ね月1回交換した。

3) 秋冬季における被覆網育成密度比較試験

試験は令和2年11月30日から開始した。育成場所は春夏季育成試験と同様の場所とした。ハマグリ稚貝は、干潟で春夏季育成した平均殻長14 mmの稚貝を使用した。育成密度は400、800、1,200 個体/m²の3段階とした。被覆網の区画は3×3 m、目合は4 mm角目とした。設置方法は、春夏季育成で行った「杭固定区」と同様とした。追跡調査は原則的に月1回実施し、内径65 mmのコアサンプラーで網内の6か所を各3回採取し、推定残留率及び成長（殻長）を把握した。

【研究成果の概要】

1) 3段式循環水槽を使用した殻長1 mm以降の育成密度比較試験

5万個体/器、10万個体/器を各3器収容した水槽（各水槽を順に水槽①、水槽②と呼ぶ）の生残率の推移を図1に示す。水槽①、②の生残率は徐々に低下し、11月下旬には60%台となった。生残率の低下は、貝の成長とともに貝同士が重なることが要因と考えられた。そのため、12月下旬に1.4 mmのふるいで選別した（その後の生残率は、ふるいで落ちた割合を除いて補正した）。なお、選別で取り除いた個体の割合は水槽①で7～8%/器、水槽②で10～16%/器であった。さらに、1月下旬には水槽②を2.0 mmのふるいで選別した（選別で落ちた割合は43～50%）。その後は選別を行わず、3月上旬の生残率は、水槽①、②それぞれ34.5%、36.1%であった。水槽②は1月下旬の選別後は順調であった。

平均殻長の推移を図2に示す。選別前の11月下旬には水槽①で2.99 mm、水槽②で2.82 mmと目標の3 mm程度に到達した。水槽②では1月下旬の選別で半数近くの稚貝を取り除いたため、平均殻長は3.60 mmとなった。3月上旬の平均殻長は水槽①、②それぞれ3.21 mm、3.58 mmであった。

なお、12月下旬の選別で落ちた稚貝は水槽②の1容器、1月下旬の選別で取り除いた稚貝は水槽①の1容器で飼育した。選別後から3月上旬の生残率と平均殻長は水槽①で22.8%、1.78 mm、水槽②で68.9%、2.40 mmであった。

2) 設置方法の異なる2種の被覆網による春夏季育成試験

残留率は両区とも同様に経過し、6月下旬には80%以上であったが、7月下旬に40%以

下となり、終了時の9月下旬には縁辺部埋設区16%、杭固定区18%に低下した(図3)。両区に大きな差はみられなかったことから、設置が簡易な杭固定区による育成は可能であると考えられた。一方、平均殻長は、7月下旬は両区とも6mm、8月下旬は縁辺部埋設区で9mm、杭固定区で10mmとなり、終了時、杭固定区で約12mm、縁辺部埋設区では9mmと成長に差がみられた(図4)。特に7月時点では残留率、成長がともに悪い状況であったが、この要因は7月の平均水温が24℃とハマグリ成長に適した25℃以上ではなかったこと、被覆網に河川からの泥や有機物の堆積もみられたことが影響したと推定された。また、終了時の平均殻長に差がみられた要因としては、縁辺部埋設区は杭固定区より干出していなかったことにより、ホトギスマットが形成された。このことが成長に影響したと推定された。

3) 秋冬季における被覆網育成密度比較試験

残留率は各試験区で非常に高く、2月下旬で86%と順調である(図5)。平均殻長は、試験開始時の14mm前後で推移している(図6)。網の状況は、波浪により網内に凹凸がみられ、稚貝が偏って分布しているが、死貝はほぼみられなかった。また、藻類の繁茂(アマノリ類と推定)がみられたが、網に目詰まりや砂泥の顕著な堆積は確認されなかった。なお、藻類の付着はブラシおよび網を振るうことで除去可能であった。

【次年度に向けた提言】

1) 3段式循環水槽を使用した殻長1mm以降の育成密度比較試験

殻長3mm程度に成長すると、貝同士が重なる状況がみられ、このことで生残率が低下した可能性が考えられた。また、水槽②は2回の選別後は生残率が安定したことから、今後は成長に伴って選別し、育成密度を管理することが必要と考えられた。

2) 設置方法の異なる2種の被覆網による春夏季育成試験

沈子ロープ(80g/m)を2重とし、直接、網の縁辺部を杭で固定する方式でも稚貝の流失を防ぎ、育成は可能であったことから、今後はこの方式で育成を進める予定である。

3) 秋冬季における被覆網育成密度比較試験

春夏季育成と同様の方式で、育成密度の高低に関係なく育成はできている。2年目春季以降も育成試験を継続し、稚貝の残留率および成長を追跡する予定である。

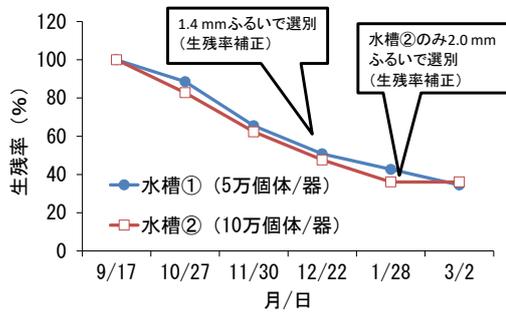


図1 生残率の推移

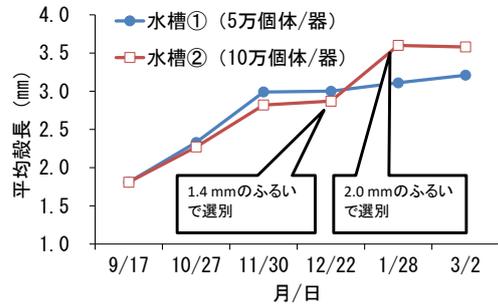


図2 平均殻長の推移

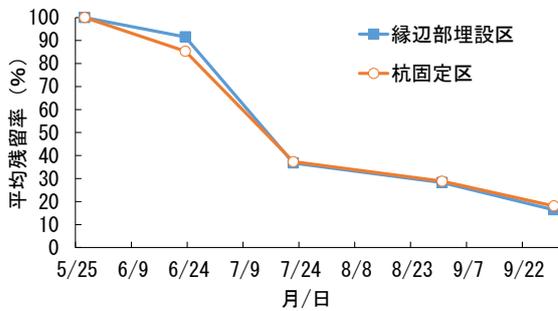


図3 春夏季育成における平均残留率の推移

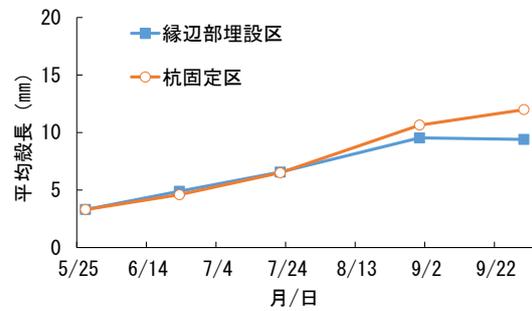


図4 春夏季育成における平均殻長の推移

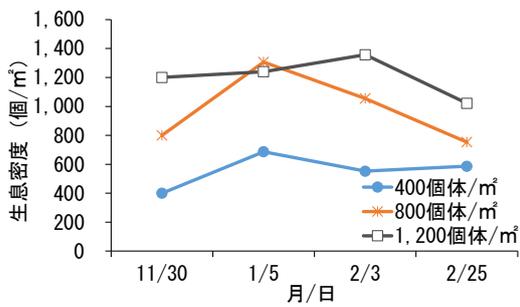


図5 秋冬季育成における生息密度の推移

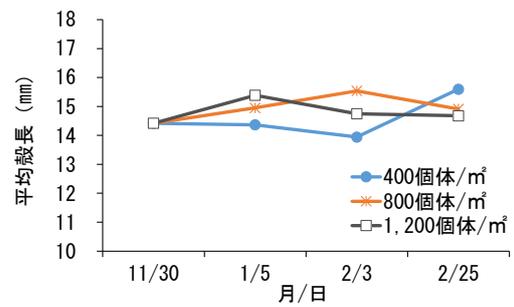


図6 秋冬季育成における平均殻長の推移

(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

④ 伊勢湾におけるハマグリ育成技術開発

三重県水産研究所 鈴鹿水産研究室

勝田 孝司

【目的】

伊勢湾（三重県側）のハマグリは、主に北部の桑名地区（赤須賀漁協）において戦後は年間千トン以上が水揚げされたが、干潟の減少、地盤沈下などの影響で昭和40年代後半から減少し、平成に入ると水揚量は数トンまで激減した。桑名地区では、ハマグリ資源の回復に向けて、昭和50年頃からハマグリ稚貝（人工種苗）の生産技術開発と稚貝の放流、資源管理、干潟造成などに取り組んだ結果、平成15年頃からハマグリ資源が増加し、平成26年には水揚量が約200トンまで回復した。しかし、その後は再び資源が減少して令和1年の水揚量は約100トンとなっている。また、平成28年頃から伊勢湾中・南部の香良洲、松阪、伊勢地区などでもハマグリが増加し、資源が激減したアサリに代わりハマグリが主要漁獲対象種となっているが、近年はこれらの地区においても水揚量が減少傾向にある。

伊勢湾内のハマグリ資源は、いち早く桑名地区で回復した後に他地区でも増加したことから、桑名地区が伊勢湾のハマグリ母貝場である可能性が高いと考えられる。そのため、伊勢湾のハマグリ資源の増加、安定には、桑名地区におけるハマグリ加入量および資源の底上げが急務である。

本研究では、桑名地区におけるハマグリ稚貝の放流効果を高めるため、同地区で天然ハマグリ分布調査を行い、ハマグリ稚貝を屋外で中間育成する適地・環境条件を把握する。また、赤須賀漁協が生産したハマグリ稚貝を用いて、干潟、ノリ漁場などの屋外適地におけるハマグリ稚貝の中間育成技術を開発する。

【研究方法】

1. 天然ハマグリ分布調査

天然ハマグリ主産地の桑名地区で天然ハマグリ分布調査を行い、ハマグリ稚貝を屋外で中間育成する適地・環境条件を把握する。なお、本課題については、本事業の「4. 母貝団地造成技術の開発 ④伊勢湾におけるハマグリ母貝団地造成技術の開発」を参照されたい。

2. ハマグリ稚貝の中間育成試験

ハマグリ稚貝の適正な中間育成条件を把握するため、桑名地区の木曾三川（木曾川、揖斐川、長良川）河口域に位置する長島・城南沖干潟、ノリ漁場および三重県南部の内湾などの飼育条件が異なる海域で稚貝入りのカゴを設置して中間育成試験を行い、稚貝の成長、生残を把握する。

令和1年度は、城南干潟沖および五ヶ所湾にて試験を実施したが、城南干潟沖では荒天により施設が破損、五ヶ所湾ではカゴへの付着物の影響等による生残低下により試験を中止した。このため、今年度は桑名地区では桑名港内と伊勢湾中部の津松阪港内（当初の五ヶ所

湾から変更)にて中間育成試験を行い、稚貝の成長、生残を把握する。

1) 試験場所

桑名港(赤須賀地先)船溜まり(図1)および津松阪港((漁業取締船浮き桟橋)、図2)

2) 試験時期

- ・桑名港(令和2年12月29日から試験を開始)
- ・津松阪港(令和2年12月26日から試験を開始)

3) 試験方法

令和2年に赤須賀漁協が生産したハマグリ稚貝(人工種苗)を10月下旬に受け取り、1ヶ月強室内で飼育した。育成カゴは、昨年度と同じカゴと水交換と付着物対策として改良した育成カゴ(図3)に收容し、試験場所(桑名港、津松阪港)の岸壁、浮き桟橋の水深約2m層に垂下設置した(図4、5)。

桑名港の試験区について表1に示す。稚貝の育成に用いる基質は、昨年度の育成カゴにはアンスラサイト(目合い2mmを通過したもの)を、改良したカゴには天然稚貝が生息する底質と同様の中砂と細砂(1:1混合)を育成カゴ内に深さ約5cmで敷き詰めた。改良した育成カゴにはサイズの異なる2種類(大サイズ:平均殻長 3.85 ± 0.61 mm、小サイズ:平均殻長 2.34 ± 0.41 mm)の稚貝を1,000個体ずつ收容して比較試験をおこなった。

津松阪港の試験区を表2に示す。改良した育成カゴには試験開始時の稚貝サイズが成長、生残に及ぼす影響を把握するため、桑名港と同様にサイズの異なる2種類(大・小サイズ)の稚貝を1,000個体ずつ收容した。なお、育成カゴ内に敷き詰めた基質は桑名港と同様とした。

稚貝の成長・生残確認および育成カゴの清掃は、桑名港、津松阪港ともに令和3年1月26日と2月26日に行った。なお、稚貝の生残状況は、昨年度の育成カゴではアンスラサイトの一部とともにカゴから取り出して洗浄、稚貝のみを摘出した。改良した育成カゴでは、基質の一部を採取、目合い0.5又は1mmのフルイにかけることで稚貝と基質を分離した。稚貝は目合いフルイ上に広げて撮影し、映像をもとにパソコンで殻長を測定した。

【研究成果の概要】

2. ハマグリ稚貝の中間育成試験

桑名港での中間育成試験結果を表1に示す。育成カゴの損傷は1月、2月ともに見られなかった。育成カゴの表面には、付着珪藻等が覆っていたが比較的容易に除去できた。

基質の表面には浮泥がどのカゴにも1cm余り堆積していた。浮泥の状況はカゴの種類で差はなかった。浮泥を持ち帰り顕微鏡で確認すると小型の珪藻類が多数確認できた。

水温はロガーのデータから7~10°Cで推移しており、塩分は低潮位時に一時的に低くなる傾向にあった。成長は水温が低いため全てのカゴでほぼみられない。へい死は1つのカゴで貝殻が他より多く確認できたが、他は目立ったへい死は確認できなかった。

津松阪港の中間育成試験結果を表2に示す。こちらのカゴにも桑名港と同様に表面に

は付着珪藻が覆っており、基質の表面には浮泥が堆積していた。

水温は 10℃前後で推移しており、塩分も大きな変動はなかった。浮き栈橋からの垂下であり、潮位に影響されず水面から同じ距離に垂下されているためと思われる。成長は桑名港と同様にほぼみられず、目立ったへい死は確認できなかった。

【次年度に向けた提言】

試験場所を岸壁に変更したため、メンテナンスも容易となりカゴの損傷はなかった。試験期間中は遊漁者等の少ない時期であったが、いたずら対策として場所の選定が必要となる。

成長は低水温期でもありほとんどみられないが、目立ったへい死も確認されていない。今後の生残率や収容密度上限の検討と合わせて、水温上昇期までの管理コスト低減対策としての有効性を検証する。

また、引き続き水温上昇期、高水温期まで中間育成をすることを想定して、カキやフジツボ等の付着生物の影響、基質の悪化などの阻害要因の検証も行う。

そのほか、稚貝だけでなく小型貝（殻長 1～3 cm程度）の飼育を前提とした、EVA（エチレン・ビニル・アセテート）製の育成カゴの試作、予備試験の実施などを検討する。

一方で、令和 3 年度から三重県水産振興事業団がハマグリ人工種苗生産技術の開発に取り組む予定である。室内での大量飼育が困難であることから、既存のクルマエビ中間育成用の陸上水槽を用いた殻長 1 mm 前後からの中間育成方法の確立も必要となる。



図 1. 桑名港船溜まり



図 2. 津松阪港



図 3. 育成カゴ
(上 : 昨年度、下 : 改良)



図 4. 桑名港船溜まり岸壁



図 5. 津松阪港浮き栈橋

表 1. ハマグリ稚貝の中間育成試験区と試験結果（城南干潟沖）

	基質の種類	殻長 (小・大)	殻長 (平均±標準偏差 mm)		
			R2年12月25日	R3年1月26日	R3年2月26日
A	中～細砂	小	2.34±0.41 (n=50)	2.54±0.37 (n=36)	2.67±0.40 (n=50)
B	中～細砂	小		2.46±0.41 (n=33)	2.56±0.54 (n=51)
C	中～細砂	大	3.85±0.61 (n=50)	4.09±0.56 (n=44)	3.87±0.67 (n=38)
D	中～細砂	大		4.12±0.58 (n=51)	4.02±0.68 (n=50)
	アンスラサイト (2mmフルイ通過)	大		3.84±0.53 (n=51)	3.80±0.46 (n=36)

※ 各カゴには1000個ずつ収容
 基質の深さは約5cm
 水温は概ね7～10℃で推移。塩分は低潮位時に一時的に低くなる
 護岸の水深は2m余り。最大干潮時にはカゴが露出する場合があるが、下コンテナには水が残るため影響は小さい。

表 2. ハマグリ稚貝の中間育成試験区と試験結果（五ヶ所湾）

	基質の種類	殻長 (小・大)	殻長 (平均±標準偏差 mm)		
			R2年12月25日	R3年1月26日	R3年2月26日
小	中～細砂	小	2.34±0.41 (n=50)	2.85±0.33 (n=46)	2.80±0.37 (n=36)
大	中～細砂	大	3.85±0.61 (n=50)	3.58±0.52 (n=47)	4.35±0.60 (n=51)
	アンスラサイト (2mmフルイ通過)	小	2.34±0.41 (n=50)	2.30±0.25 (n=38)	3.07±0.28 (n=35)

※ 各カゴには1000個ずつ収容
 基質の深さは約5cm
 水温は概ね10℃前後で推移。塩分はセンサーの汚れのためか
 一時期から緩やかな右肩下がりに。2.5psu前後で推移と推定。

(4) 人工種苗から成貝までの育成技術の開発

⑤ 有明海におけるハマグリ育成技術開発

熊本県水産研究センター

木下 裕一

【目的】

ハマグリは、二枚貝の中でもアサリと並び、重要な水産資源として利用されてきたが、熊本県では、2006年には漁獲が106トンとピーク時の50分の1にまで減少している。

ハマグリ資源の回復のためには、人工種苗を用いた母貝団地造成が必要とされており、安定的な人工種苗生産から、人工種苗を用いた母貝団地造成までの技術開発が不可欠となっている。

本研究では、母貝団地造成に必要な人工種苗確保のため、ブラウンウォーター給餌、ダウンウェリング飼育による人工種苗から成貝までの育成技術（以下「中間育成技術」）の開発を目的とした。

【研究方法】

1 ハマグリ人工種苗中間育成試験

1) 供試貝

令和2年度（2020年度）に当センターで有明海産親貝を用い生産された人工稚貝のうち、平均殻長0.91mmの群（以下「R1群」）と平均殻長1.13mmの群（以下「R2群」）の2群を用いた。

2) 飼育期間

R1群 令和2年（2020年）8月26日～同年11月30日まで（96日間）

R2群 令和2年（2020年）9月14日～同年12月21日まで（98日間）

3) 飼育方法

図1に示す200L円形水槽から飼育水を送水するように4つの60L飼育水槽を設置し、その飼育水槽に人工稚貝を収容した500 μ mのネットを張った直径15cmのカラムによる飼育装置を用いた。飼育水は、クルマエビ野外水槽で発生した雑多な微細藻類を培養し、自然水温砂ろ過海水で濃度調整したブラウンウォーター餌料を1分間に200～400mlを上方からシャワー方式にて散水し、基質を入れずに飼育（以下「ブラウンウォーター飼育」）した。

4) 飼育密度

直径15cmカラムに25個、50個、75個/cm²を収容した。

5) 調査項目

成長と生残を観察するため、2週間程度1回の間隔で、生残貝とへい死貝、それぞれ50個体（飼育終了時100個体）の殻長の測定と、別にサンプリングした300～500個体うち、生残貝とへい死貝の個体を計数した。また、飼育水の水温、塩分とクロロフィル

a 濃度 ($\mu\text{g/L}$) を毎日測定した

【研究成果の概要】

1 ハマグリ人工種苗中間育成試験

ハマグリ人工種苗中間育成試験結果を表 1 に示した。また、R1 群の平均殻長および生残率の推移を図 2 に、同群の 1 ヶ月程度ごとの生残貝およびへい死貝の殻長組成を図 3 に示した。R1 群は、8 月 26 日から 11 月 30 日までの 96 日間で、平均殻長 2.15~2.3 mm に成長し、日間成長量は 0.013~0.014 mm であった。生残貝のサイズ別組成の推移から、各飼育密度区とも順調な成長が確認でき、飼育密度による成長の有意な差は見られなかった (ANOVA : $p > 0.05$)。この群は、へい死貝のサイズ別組成の推移から、飼育を開始した当初へい死が多く見られたものの、その後は、目立ったへい死も見られず、飼育終了時には 37~44% の生残で、殻長 3 mm 以上の稚貝が 5~9% を占めた。

次に、R2 群の平均殻長および生残率の推移を図 4 に、同群の 1 ヶ月程度ごとの生残貝およびへい死貝の殻長組成を図 5 に示した。R2 群は、9 月 14 日から 12 月 21 日までの 98 日間で、平均殻長 1.95~2.13 mm に成長し、日間成長量は 0.010~0.012 mm であった。R1 群と同様、生残貝のサイズ別組成の推移から、各飼育密度区とも順調な成長が確認でき、飼育密度による成長の有意な差は見られなかった (ANOVA : $p > 0.05$)。この群は、飼育開始当初から高い生残が確認でき、飼育終了時には 79~86% の生残で、殻長 3 mm 以上の稚貝が 8~9% を占めた。

【次年度に向けた提言】

今回用いたブラウンウォーター飼育装置により約 3 ヶ月の飼育期間中、目立ったへい死はなく、安定した稚貝育成ができた。ブラウンウォーター飼育により種苗生産された人工稚貝は、1 日あたり 0.010~0.014 mm の成長が確認でき、一部の稚貝は、殻長 3 mm 超に成長した。

効率的な稚貝育成という観点から、成長スピードを上げる必要がある。2 週間程度ごとに飼育水中の積算したクロロフィル a 濃度とその期間の日間成長量の関係を調べた結果、飼育水中のクロロフィル a 濃度が高いと日間成長量が増加する傾向が見られたことから、成長スピードを上げるためには、一定のブラウンウォーター餌料濃度の維持が必要と考えられた (図 6)。

一方、約 3 ヶ月の飼育期間における異なる飼育密度 25、50、75 個/cm² による成長の有意な差は確認できなかった。

今後は、一定のブラウンウォーター餌料濃度の維持やブラウンウォーター飼育に適した飼育密度の選定など、ブラウンウォーター飼育における人工稚貝の効率的な中間育成方法について検討する必要がある。



図1 飼育装置の様子

表1 ハマグリ人工種苗中間育成試験結果

名称	飼育期間	飼育日数	飼育密度 (個/cm ²)	開始時平均殻長 (mm)	終了時平均殻長 (mm)	標準偏差	日間成長量 (mm)	終了時生残率 (%)	殻長3mm以上 (%)
R1群	8月26日 ~11月30日	96	25	0.91	2.30	0.52	0.014	37	9
			50		2.15	0.50	0.013	38	5
			75		2.20	0.56	0.013	44	9
R2群	9月14日 ~12月21日	98	25	1.13	2.27	0.57	0.012	86	9
			50		2.16	0.54	0.011	79	8
			75		2.14	0.55	0.010	81	8

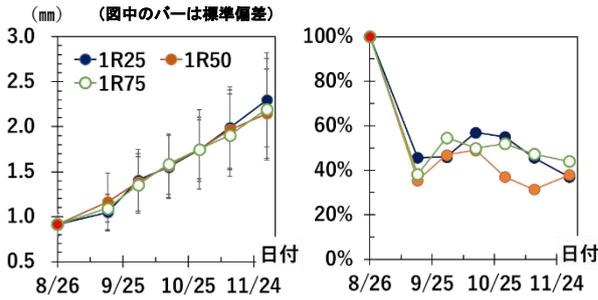


図2 R1群の平均殻長(左)、生残率(右)の推移

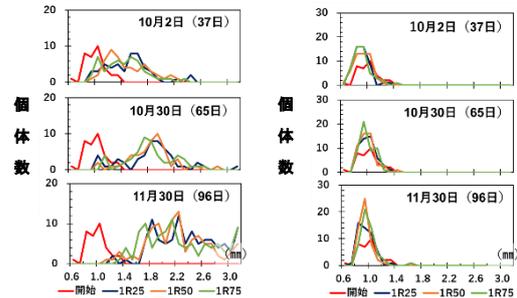


図3 R1群の生残貝(左)、へい死貝(右)の殻長組成

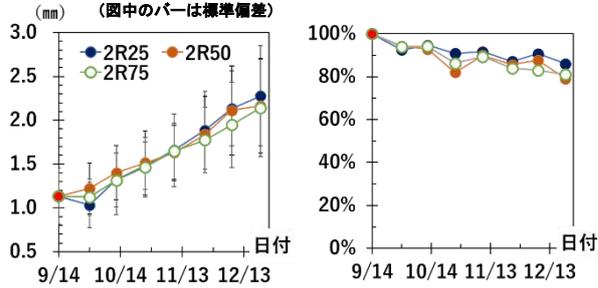


図4 R2群の平均殻長(左)、生残率(右)の推移

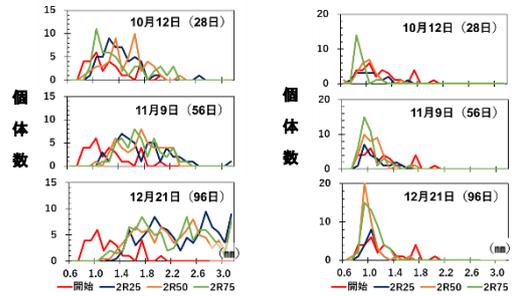


図5 R2群の生残貝(左)、へい死貝(右)の殻長組成

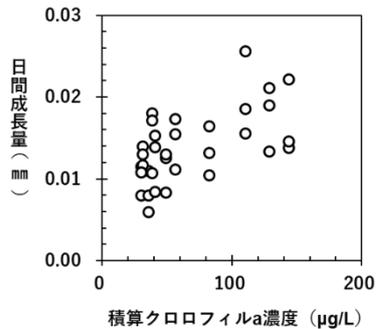


図6 クロロフィルa濃度と日間成長量との関係

(5) 母貝団地造成技術の開発

① 瀬戸内海西部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術の開発

山口県水産研究センター内海研究部

多賀 茂

【目的】

瀬戸内海の西部海域では、アサリの母貝団地造成が多くの干潟で広く試みられている。干潟域は季節風や台風通過時の波浪による底質の移動と種苗の逸散、冬季は干出と水温の低下、夏季は高温など変動の激しい環境であるが、アサリでは食害生物による減耗を防止するため網を被せることで母貝団地造成の効果が認められている。一方、海面でのカゴ垂下育成では環境が比較的安定し、良好な成長や生残が見込まれるが最適な収容密度等を把握しておく必要がある。そこで、干潟域では食害方法の検討による移植式、海面の垂下式ではカゴを用いて稚貝の収容密度など育成方法を検討し、タイラギに最適な母貝団地造成技術の開発を行う。

【研究方法】

1) 干潟域での移植式

① 試験海域

試験は、山口県水産研究センター内海研究部に隣接する山口市秋穂湾の干潟で行った(図1)。

② 前年試験の追跡

前年に実施したタイラギの移植サイズ及び保護方法の試験について、殻長別の生残・成長及び移植保護方法による生残・成長の追跡調査を行った。

③ タイラギ移植場所の地盤高と被覆網目合試験

タイラギを干潟に移植し効率的な母貝団地造成を行うため、地盤高(潮位表基準面)及び保護網目合の違いによる生残・成長について調査を行った。秋穂湾の干潟3ヵ所に調査地を設け、それぞれst1、2、3、各調査地で+80cm、+40cm及び+20cmの潮位で干出する地盤をそれぞれ定点a、b、cとした(図2)。前年の試験では、タイラギを干潟に移植する場合、移植した上部を網で覆う保護をしなければ生残率が短期間で大きく低下することが判明している。そこで、アサリ保護で実績のある被覆網保護を行うこととした。被覆網に用いる網の目合をアサリで実績のある10mm目及びそれよりもやや広い16mm目の2種類とし、試験区i、iiとした(以後、st1の定点aの試験区iをst1-a-iとし、他も同様に記す)。なお、定点cでのみ参考として被覆網保護を行わない保護なし区を設定し試験区iiiとする。タイラギは後縁部を干潟底面から露出して埋入しているため、被覆網設置する場合、干潟底面と網との間に空隙が必要となる。被覆網を設置する場合は、中央部に土嚢を置き、網を持ち上げて全体がピラミッド型になるよう設置した(図3)。2020年11月16日～18日にかけて、St1、2、3の順でタイラギの

移植と保護を実施した。陸上水路で中間育成した平均殻長 60.9 mmのタイラギを、1m 四方の枠内に 40 個(密度 40 個/m²)移植し被覆網で保護した。各定点では、表層から 10 cm 深までの底泥をサンプリングし粒度組成を調べた。追跡調査は、毎月実施したが、サンプリングによるタイラギ破損を防ぐため、夜間調査となる 12 月～2 月は目視による生残調査のみを行い、成長追跡のためのサンプリングと殻長測定は、昼間の作業が行える 3 月末から行うこととした。統計値の計算にはエクセル統計を用いた。

2) 海面でのカゴ垂下式

①試験海域と育成資材

試験は山口湾に設置されたロープ筏で行った(図 1)。タイラギの育成には、容器としてサンテナーカゴ(幅 35×長さ 52×高さ 27cm、底面積 0.182m²)を用い、バンカー砂(<3mm)をカゴに敷設して使用した。種苗は山口県水産研究センター内海研究部の陸上水路で中間育成した稚貝を用いて、水深 1.5m に垂下した。

②2018 年産タイラギの成熟・性別調査

2018 年産タイラギについて、カゴ垂下式での成熟・性別調査を行い、母貝としての有効性を確認した。成熟状況については水産技術研究所松本主任研究員に観察を依頼した。

③前年試験の追跡(タイラギ収容密度試験 i)

平均殻長 79.8 mmのタイラギ稚貝を 75、100、125 個/カゴの密度で収容し、試験区 d、e、f とした。2019 年 12 月 5 日から水深 1.5m に垂下しているタイラギの生残・成長の追跡を行った。

④タイラギ収容密度試験 ii

前年度試験では、密度効果を確認するに至らなかったため、再度密度試験を行った。平均殻長 56.2 mmのタイラギ稚貝を 100、200、300 個/カゴの密度で収容し、試験区 g、h、i とした。2020 年 11 月 26 日から水深 1.5m に垂下し生残・成長の追跡を行った。

⑤タイラギ飼育容器重量軽減試験

山口県漁業調整規則では殻長 20 cm以下を採捕禁止サイズとしている。殻長 20 cm以上のタイラギによる母貝団地造成を目指すためには、タイラギを埋込させるための基質が最低 20 cm厚必要となるが、サンテナーカゴで基質全てを砂にすると乾燥重量で 40kg 以上になるため作業性が極めて悪くなる。そこで、重量のほぼ全てを占める砂の量を少なくし、軽石の代替で全体を軽くするための試験を行った。2019 年産タイラギ(平均殻長 131.9 mm±12.2)を用いて、全体基質厚 15 cmの内、砂 2 cm軽石 13 cm(全重量 17kg)、砂 4 cm軽石 11 cm(全重量 19kg)及び砂 8 cm軽石 7 cm(全重量 23kg)の試験区を設け、それぞれ試験区 j、k、l とした。各試験区にタイラギ 50 個収容し、2020 年 9 月 28 日から水深 1.5m に垂下し生残・成長の追跡を行う。前述の試験を含め統計値の計算にはエクセル統計を用いた。

【研究成果の概要】

1) 干潟での移植式

①前年試験の追跡

試験結果を表 1 に示す。1 才貝を用いた試験 1 は、試験開始時の殻長 75.2mm から 139.5~142.8mm、90.8mm から 150.7~156.0mm まで成長し、生残率は 0~40%となった。0 才貝を用いた試験 2 は、試験開始時の殻長 37.5mm から 75.2~92.0mm、54.9mm から 105.0~112.0mm、まで成長し、生残率は 0~40%となった。どちらの試験でも、移植したタイラギを網で保護しない場合は生残率が 0 に近い値となっている。また、網による保護を行った方法であっても、塩ビ管を用いた手法では波浪によると思われる影響で紛失しているものが多く、苗ポットを用いた手法では有機資材のポット部分が硫化し内部でタイラギがへい死していた。鉄筋枠を網で覆った方法は他の方法よりも生残率が高かったが、鉄筋と網が擦れて網に穴が開いており保護機能が低下していた。

②タイラギ移植場所の地盤高と被覆網目合試験

2 月までの結果から各調査地の生残率の推移を見ると、全ての調査地で 1 月に生残率が 30~40%程度減少した。地盤高によって生残の違いが見られるのが st1 であり、st1-a では試験区 i、ii とともに減少している。網目で生残率に違いが見られるのが、st1 及び st3 であり、どちらも試験区 i と試験区 ii の生残率には有意差が認められる (t 検定、 $p < 0.05$) (図 4)。

全体的にみて、網目の細かい試験区 i が網目の荒い試験区 ii よりも生残率が低い。この結果を粒度組成との関係で見ると、試験区 i は底質粒径が細かいほど生残率が高く、試験区 ii は底質粒径と生残率に関係が見られない (図 5、6)。なお、被覆網保護を行わない試験区 iii の生残率は、St1-c で 40.0%、St2-c で 42.5%、St3-c で 5.8%であった。

2) 海面でのカゴ垂下式

①2018 年産タイラギの成熟・性別調査

山口湾に設置されたロープ筏で飼育されてきた 2018 年産のタイラギについて 4 月(平均殻長 143.2 mm)、6 月(平均殻長 166.6 mm)及び 7 月(平均殻長 171.8 mm)に成熟・性別調査を行った。4 月については 3 個体、6 月と 7 月についてはそれぞれ 20 個体のタイラギについて調査を行った。なお、成熟状況については水産技術研究所松本主任研究員に分析をお願いした。分析の結果、4 月は全てオスであり生殖巣は成熟後期で占められていた。6 月になるとメスが 20%を占めるようになり、生殖巣は成熟期と放出期が確認されたが、割合的には成熟期が多かった。7 月はメスの割合が 30%に増加し、生殖巣は放出期の割合が 55%と最も多くなった(図 7、8)。

②前年度の追跡 (タイラギ収容密度試験 i)

2019年12月5日に試験を開始し、試験終了2020年6月22日の生残率、殻長及び重量増加量は、試験区dで90.1%、101.1mm及び0.92kg、試験区eで68.6%、102.2mm及び0.90kg、試験区fで75.2%、103.1mm及び1.23kgであった(表2)。試験区毎の生残率、殻長及び重量増加量に有意差は認められなかった(ANOVA, n.s.)。重量増加量の推移を見ると、どの試験区も同じような傾きで増加していた(図9)。

③タイラギ収容密度試験 ii

2020年11月26日に試験を開始し、12月21日及び2月9日に生残の追跡調査を行った(1月は時化のため未調査)。生残数は、収容個数から調査時に確認したへい死貝殻数を除いた数とした。各試験区の生残率は、試験区jで60.7%、試験区kで65.5%、試験区lで61.4%であった。試験区の生残率に有意差は認められない(ANOVA, n.s.)。生残率の推移を見ると12月21日から2月9日にかけて大きく減少している(図10)。2月9日の生存個体を持ち帰り、魚病診断をしたところ、ビブリオ症と診断された。

④タイラギ飼育容器重量軽減試験

2020年9月28日に試験を開始し、約4カ月後の生残率は、試験区jで98%、試験区kで98.6%、試験区lで98.6%となっており、全ての試験区で高い生残率を保っている。目視で観察したところ、どの試験区のタイラギも直立姿勢を保っており、不安定な態勢のタイラギは見られていない(図11)。

【次年度に向けた提言】

干潟域での移植式では、12月～1月にかけて生残率が30%～40%の範囲で減少した。移植場所の地盤高と生残率の間に関係性は確認できていない。被覆網の目合と生残率の間には関係性が見られ、目合16mmより目合10mmの生残率が低くなる傾向が見られた。アサリでは、目合10mmで高い生残率が維持できており、タイラギでは逆の結果となった。各地点の粒土組成と生残率の関係を見ると、目合10mmでは底質粒径が細かい場所ほど生残率が高くなる傾向がうかがえる。生残率の低い目合10mmの被覆網では、内部に砂泥が堆積していることが多かった。波浪等により干潟砂泥の移動が見られるような場所では、ピラミッド型の被覆網内部に砂泥が入り込み、目合10mmでは堆積が促進されている可能性もある。しかし、砂泥の堆積とタイラギのへい死との関係については不明である。

海面でのカゴ垂下式では、2018年産のタイラギについて成熟・性別調査を行ったところ、4月～7月にかけて成熟後期～成熟期～放出期へと移行していき、性別もオス主体からメスの割合が増加していくのが確認できた。このことから、瀬戸内海西部海域におけるカゴ垂下式の育成方法でもタイラギが母貝機能を有し、母貝団地造成に有効な手段の一つになると思われる。収容密試験では稚貝を75個/カゴ、100個/カゴ及び125個/カゴの密度で収容して育成した試験を行った。生残率については、75個で最も高い生残率であったが、重量増加量は125個で最も高く、殻長では差が見られないことから、収容密度については更なる検討が必要と思われる。なお、100個/カゴ、200個/カゴ及び300個/カ

ゴについても試験を行ったが、収容密度と生残率に関係性は見いだせず、干潟域での移植式と同様に12月～2月上旬にかけて生残率が30%～40%程度減少した。また、生存個体はビブリオ症と診断されていることから、本症が原因で減耗が発生した可能性が示唆された。この時期の秋穂湾の水温を見てみると、12月中旬から下旬にかけて、さらに1月上旬から中旬にかけて水温が急激に低下している。その間の最低水温は平年と比べて3℃～4℃（前年の5℃～6℃）低くなっている。一方、塩分は31～32で推移しており、タイラギに影響を及ぼすような値は観察されていない（図12、13）。今年度は、12月中旬～1月中旬にかけて、例年になく急激な温度低下と低水温が続き、低水温で弱ったタイラギの間でビブリオ症が蔓延したためへい死したのではないかと思われる。

次年度は、干潟での移植式では秋穂湾において移植種苗の追跡調査を継続する。今後、成長や成熟について、地盤高との関係を把握していく。また、タイラギの成長に応じて被覆網目合を大きくしていくことも検討しなければならない。殻長20cm前後まで成長した段階で、成熟・性別調査を行い、母貝機能の有無を確認する。

海面でのカゴ垂下式では、適正な収容密度を把握するための試験を繰り返していく。母貝団地造成を見据え、飼育容器重量軽減を行うためのタイラギ専用飼育容器について試験を行う。具体的には、基質は軽石を主体とし、足糸による固定部分のみを砂にする。また、タイラギ形状に合わせた容器内形状にすること等を検討していく。

参考文献

- 山下康夫・小野原隆幸（1980）有明海タイラギに関する研究－Ⅲ．地理的分布、形態、性比、多毛類による被害について 佐賀県有明水産試験場報告（7）P.95-109.
- Kurihara T,Nakano S,Matsuyama Y,Hashimoto K,Yamada K,Ito A,Kanematsu M.Survival time of juvenile pen shell *Atrina pectinate* (Bivalvia:Pinnidae) in hyposaline water.*International Aquatic Research* 2018; 10: 1-11.
- 鈴木健吾他．各種の基質で垂下飼育したリシケタイラギ稚貝の成長、生残および潜行．水産技術 2013；5：119-124
- 山本昌幸、伊藤 篤、山崎 英樹、兼松正衛．異なる基質・密度で中間育成したリシケタイラギ稚貝の生残率と成長率．水産増殖 2017; 65: 263-269.



図1 干潟での移植式及びカゴ垂下式を実施している山口湾及び秋穂湾
写真は山口湾のロープ筏（左）と秋穂湾干潟（右上）

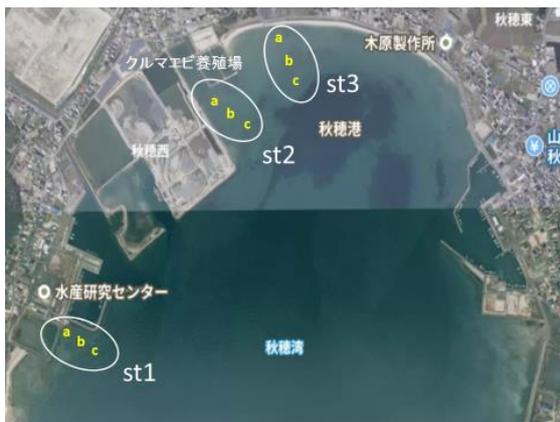


図2 干潟での移植式 秋穂湾調査定点



図3 ピラミッド型の被覆網

表1 R2 秋穂湾における移植式の試験結果

試験及び 開始日	保護方法	開始殻長 (mm)	調査日 (日数)	1/14殻長 (mm)	月間成長量 (mm/月)	生残率 (%)	調査日 (日数)	5/7殻長 (mm)	月間成長量 (mm/月)	生残率 (%)
試験1 2019.7.5	網保護なし	75.2	2020.1.14 (193)	-	-	0	2020.5.7 (307)	-	-	0
	(トリカルパイプ)	90.8		-	-	0		-	-	0
	塩ビ管+網	75.2		133.6	9.1	45		139.5	6.2	30
		90.8		142.9	8.1	50		150.7	5.8	35
	ポット+網	75.2		126.3	7.9	50		-	-	0
		90.8		-	-	0		-	-	0
試験2 2019.9.30	鉄筋枠+網	75.2	2020.1.14 (106)	142.2	10.4	50	2020.5.7 (220)	142.8	7.1	35
		90.8		152.5	9.6	70		156.0	6.3	40
	網保護なし	37.5		77.4	11.3	15		92.0	7.4	5
	(トリカルパイプ)	54.9		94.7	11.3	35		-	-	0
	塩ビ管+網	37.5		72.0	9.8	60		75.2	5.1	25
		54.9		99.1	12.5	60		105.0	6.8	30
試験2 2019.9.30	ポット+網	37.5	2020.1.14 (106)	66.3	8.2	90	2020.5.7 (220)	79.5	5.7	10
		54.9		92.6	10.7	70		112.0	7.7	5
	鉄筋枠+網	37.5		69.4	9.0	60		80.5	5.8	25
		54.9		89.2	9.7	70		106.5	7.0	40

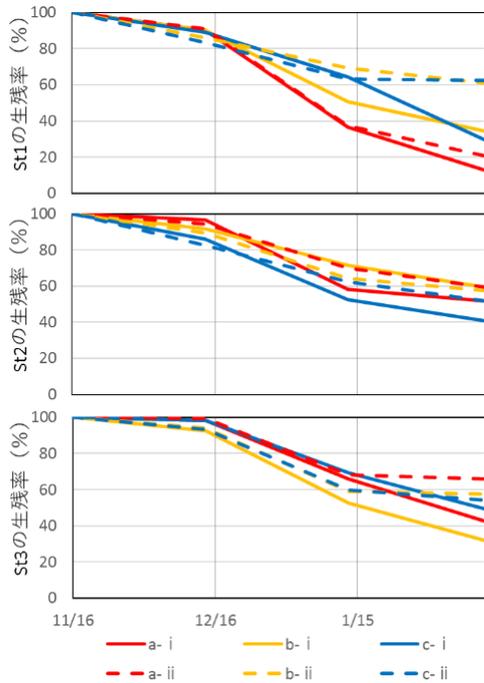


図4 干潟での移植式 各調査点における生残率の推移

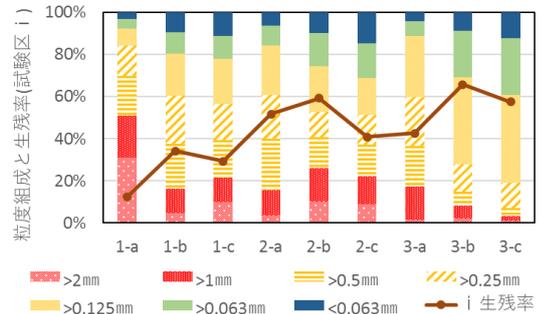


図5 粒度組成と生残率(試験区 i)の関係

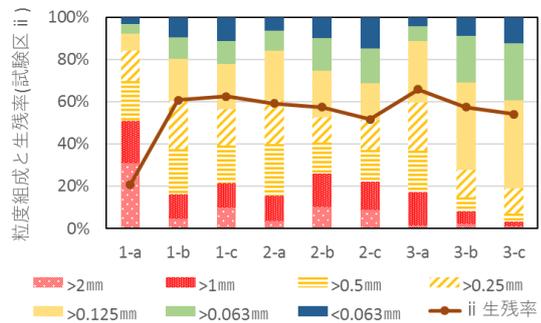


図6 粒度組成と生残率(試験区 ii)の関係

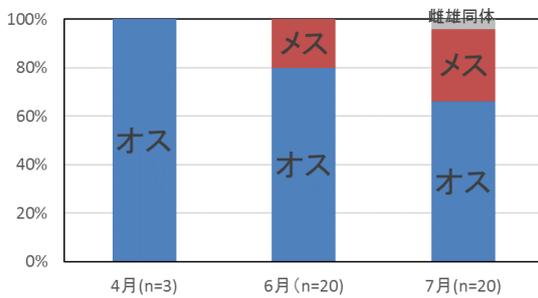


図7 2018年産タイラギの性別状況

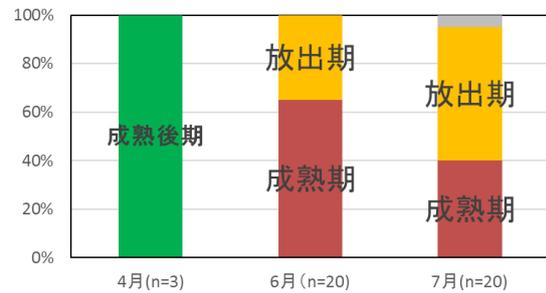


図8 2018年産タイラギの成熟状況

表2 R2 タイラギ収容密度試験 i の結果

収容個数	2019.12.5		2020.6.22			
	開始殻長 (mm)	収容重量 (kg/カゴ)	最終殻長 (mm)	総重量 (kg/カゴ)	重量増加量 (kg/カゴ)	生残率 (%)
75	78.9	0.52	101.1	1.44	0.92	90.1
100	78.9	0.70	102.2	1.60	0.90	68.6
125	78.9	0.87	103.1	2.10	1.23	75.2

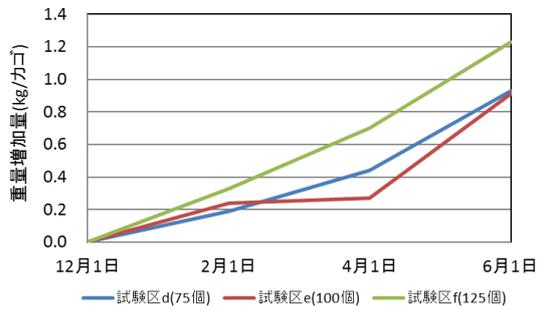


図9 タイラギ収容密度試験 i
重量増加量(kg/カゴ)の推移

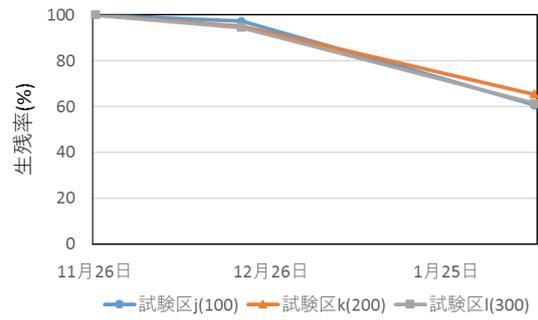


図10 タイラギ収容密度試験 ii
生残率の推移

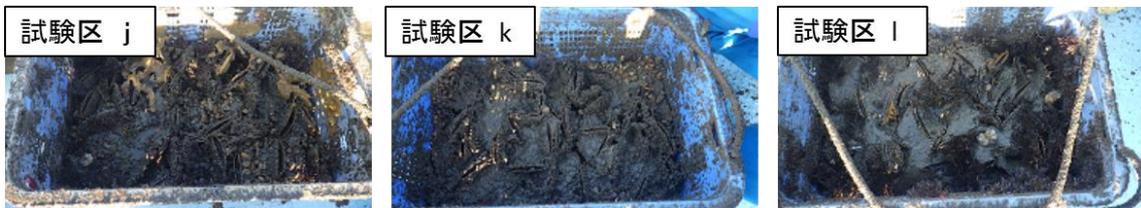


図11 タイラギ飼育容器重量軽減試験 約4カ月後の状態

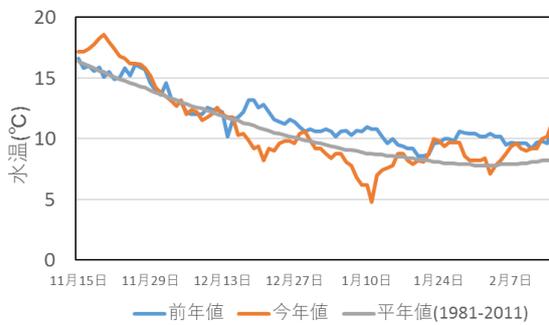


図12 秋穂湾の水温推移

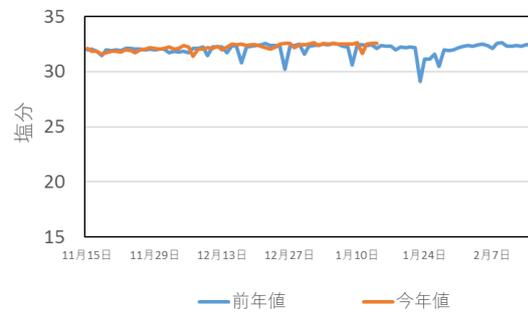


図13 秋穂湾の塩分推移

(5) 母貝団地造成技術の開発

② 大分県北部海域におけるタイラギの母貝団地造成技術の開発

大分県農林水産研究指導センター 水産研究部 北部水産グループ
木村聡一郎・林亨次・森本遼平

【目的】

本研究では、大分県北部海域における人工種苗を用いたタイラギ母貝団地造成技術を開発することを目的とした。

【研究方法】

3) 海底移植による母貝団地造成試験

タイラギ母貝団地造成技術を開発するため、人工種苗を天然海域の海底に移植して被覆網で保護し、成長・生残・成熟状況を調査した。

供試貝は2018年5～6月、及び2019年5月に国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所（百島庁舎）が生産し、山口県水産研究センターが約3ヵ月間中間育成した有鱗型タイラギ人工種苗を用いた。大分県北部海域に位置する観音崎・稲積・国見地先（図1）の海底に、それぞれ1×1mの移植試験区を生産年毎に2区画設け（1m²×2区画×3地点×2年）、2018年生産分は同年10～11月に各区画にタイラギ人工種苗（平均殻長3.8～4.6cm）を350～500個/m²の密度で、2019年生産分は同年11～12月に各区画にタイラギ人工種苗（平均殻長5.4～6.0cm）を200個/m²の密度で収容した。区画は原則として2018年生産分と2019年生産分とは数mの範囲内で設置したが、2019年生産分のうち稲積においては数百m離れた近隣の漁港内に設置した。種苗の収容作業はスキューバ潜水によって地元潜水漁業者が行った。1×1mの範囲内に人工種苗を地撒き放流した後、区画の海底上面を覆うように逸散・食害防止のための被覆網（目合い15mm程度）を設置した（写真1）。被覆網中央部には、浮子を装着して、網と海底との空隙を確保した（金澤2019）。各地先における人工種苗の成長・生残・成熟状況を把握するため、1～2ヶ月毎に各試験区内に生息しているタイラギを無作為に10個体採取し、殻長・つがい長・殻高・殻付き重量・軟体部重量・閉殻筋（貝柱）重量および内臓重量を測定した。生残状況については、潜水採取調査時に視認できた死殻を回収することにより生残率を推定した（以下推定生残率とする）。成熟状況については、組織学的手法（松本ら2019）による生殖巣の発達度を判定することによって行った。具体的には、重量を計測した内臓（生殖巣・消化盲嚢・胃腸）を丸ごとデビッドソン液（エタノール：ホルマリン：氷酢酸：蒸留水＝33：22：11.5：33.5）で固定した後、常法によりパラフィン包埋して切片を厚さ5μmで作製し、ヘマトキシリン・エオシン染色して検鏡した。なお、組織学的手法による生殖巣の発達度判定については、国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産技術研究所（南勢庁舎）に依頼した。

【研究成果の概要】

1) 海底移植による母貝団地造成試験

①2018 年生産分

2018 年生産分のうち稲積の試験区については、2020 年 9 月に接近した台風により壊滅的な被害を受けて試験を終了した。2018 年 10～11 月に殻長 4 cm 前後で天然海域の海底面に地撒き放流し、被覆網で保護したタイラギ人工種苗は、放流後 1.5 年程度経過した時点で殻長 15 cm 前後に成長したが、その後停滞した（図 2）。推定生残率については、見落とししている死殻は一定程度あると考えられるものの、2020 年 11 月までの潜水調査時に視認・回収された死殻数は少なかった（図 3）。なお実際の生残率については、稲積の 1 区画（350 個放流区）において台風接近前の 7 月に全数取上げによる計数を行ったところ、78 個の生残貝が確認された。それまでの間に測定のため回収されたタイラギ数は 108 個であることから、おおよそその生残率は 32.2%であった。組織学的手法による生殖巣の発達度を判定した結果、成熟期・放卵期の組織像が確認されたのは、産まれてから 1 年経過時点（2019 年 5～7 月）では一部の個体であったが、2 年経過時点（2020 年 5～7 月）では半数以上で確認された（図 4）。また、生殖巣部分が認められた個体の性別は、1 年経過時点ではほとんどが雄だったが、2 年経過時点では雌雄でおおよそ半々となった。

②2019 年生産分

2019 年生産分のうち稲積の試験区については、2018 年生産分と同様に 2020 年 9 月に接近した台風により壊滅的な被害を受けて試験を終了した。2019 年生産分の成長（図 5）、成熟状況（図 6）は概ね 2018 年生産分における同時期と同様の傾向を示したが、稲積における推定生残率（図 7）は台風にて壊滅状態となる前でも他と比べ低いものであった。今回の区画は漁港内に設置したが、漁港内の環境条件が何らかの悪影響を与えたと推測されるが詳細は不明である。

以上の結果から、殻長 4～6 cm 前後のタイラギ人工種苗を適地に地撒き放流し被覆網で保護する方法で、海底に自力で潜砂し定着することが明らかとなった。また移植後 1 年目から産卵・放精する個体もごく一部で現れ、2 年目にはより多くの個体が産卵・放精を行うことが明らかになった。

【次年度に向けた提言】

これまでの調査により、海底移植したタイラギ人工種苗は、適地であれば成長・生残し、移植後 2 年で多くの個体が産卵・放精していることが示唆された。一方で、順調に移植個体が生残した場合、生息密度が過密となる恐れがあり、タイラギの成長に応じた適正密度を把握する必要がある。さらには成長後に適正密度とするためには一部を取り上げて展開していく等の作業が必要となるが、より効果的・効率的に展開するための手法を明らかにする必要がある。

参考文献

金澤健 (2019) 6-2 沿岸海域の多面的利用による養殖技術, 6 養殖技術. タイラギ種苗生産・養殖ガイドブック P.98-118.

松本才絵・小島大輔・金澤健 (2019) 3-2 親貝の成熟状態の変化, 3 親貝養成と採卵. タイラギ種苗生産・養殖ガイドブック P.22-23.

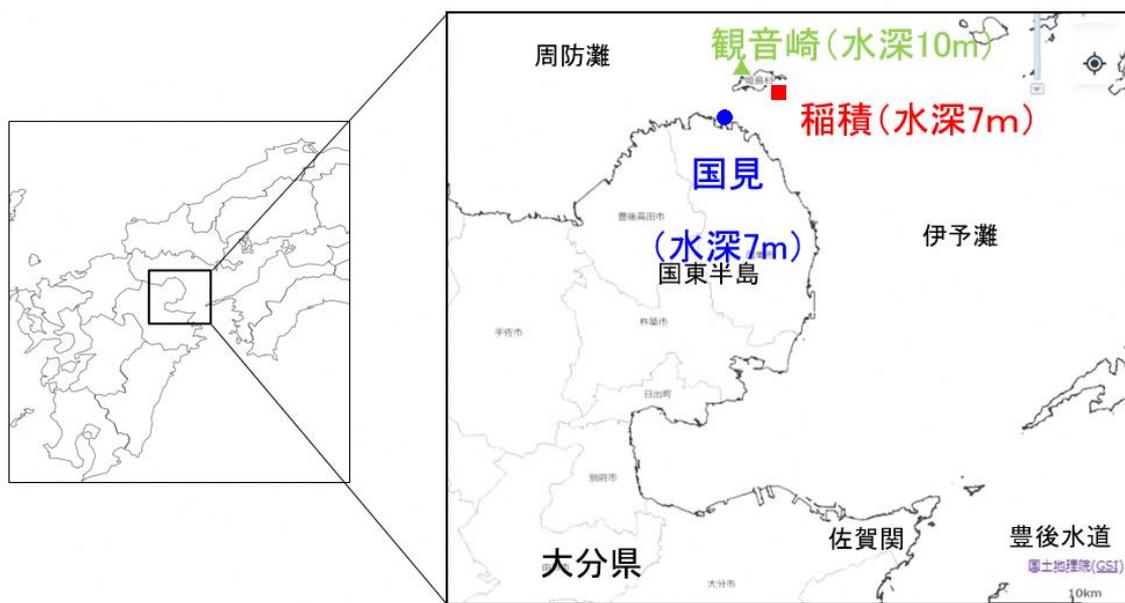


図1 海底移植試験の実施場所 (3 地区)

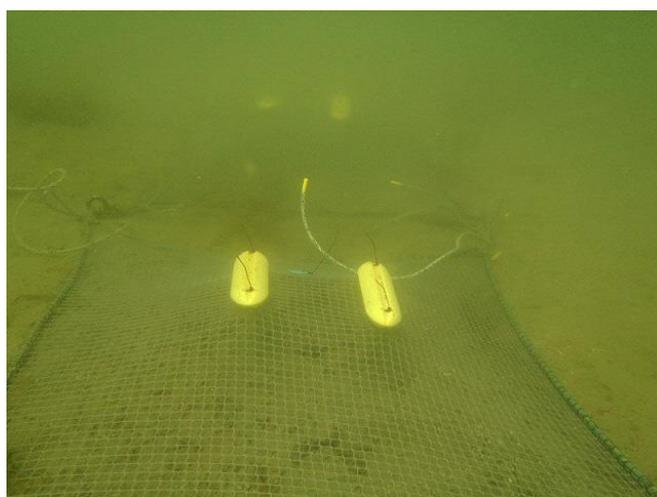


写真1 海底移植試験に用いた被覆網の設置状況 (2019年6月観音崎地先:2018年生産分)

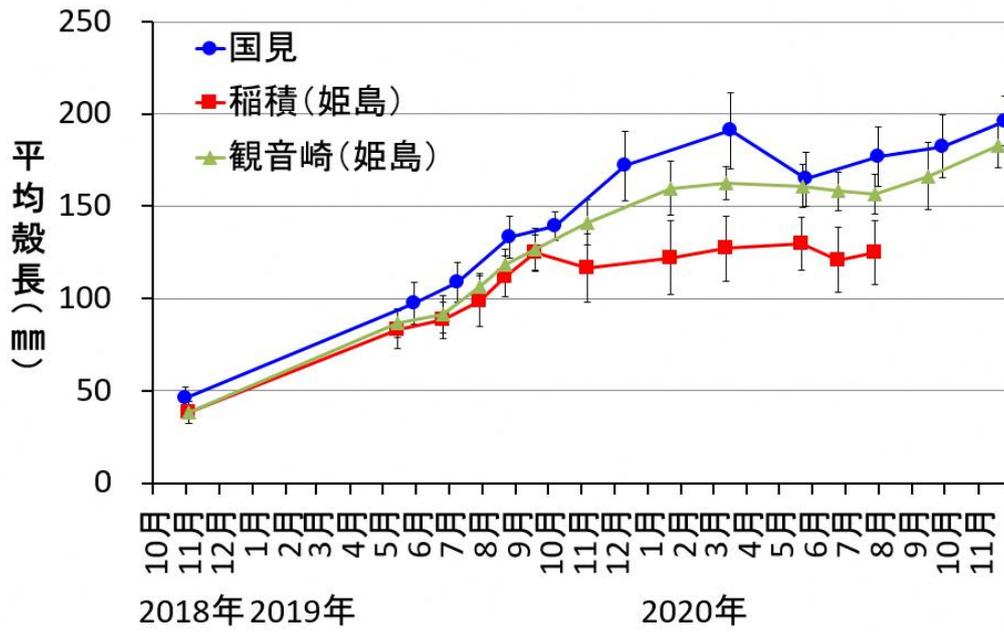


図2 海底移植したタイラギ人工種苗の平均殻長の推移（2018年生産分）

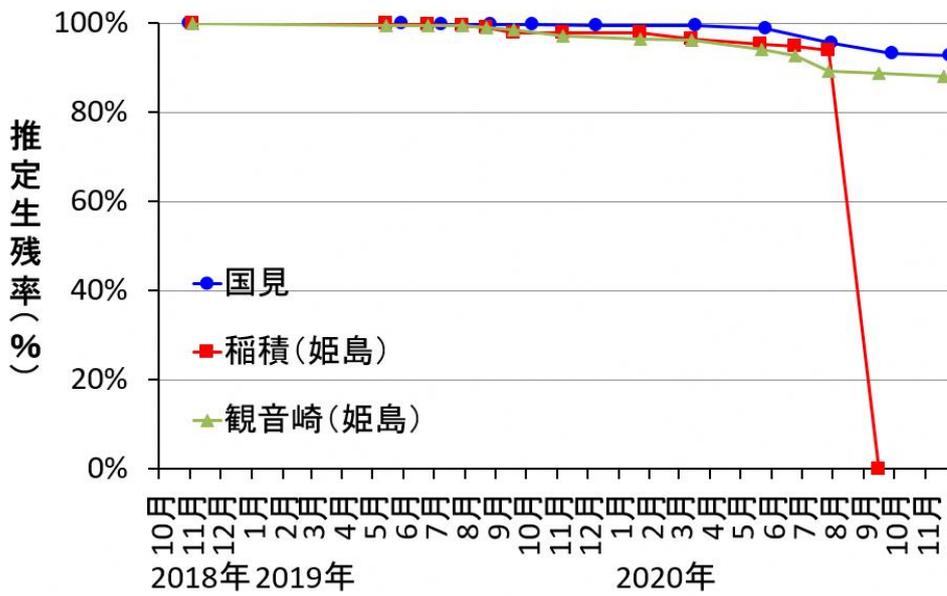


図3 海底移植したタイラギ人工種苗の平均推定生残率の推移（2018年生産分）

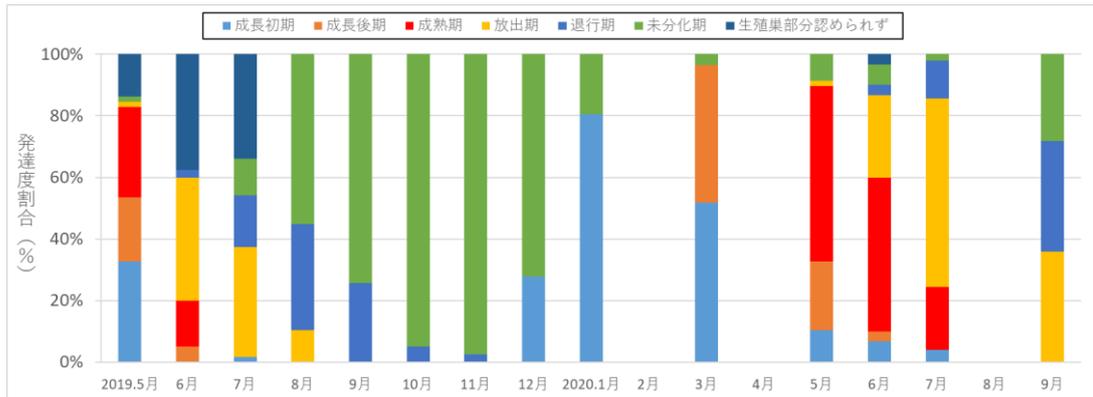


図4 海底移植したタイラギ人工種苗の生殖巣の発達度の推移 3地区合計 (2018年生産分)

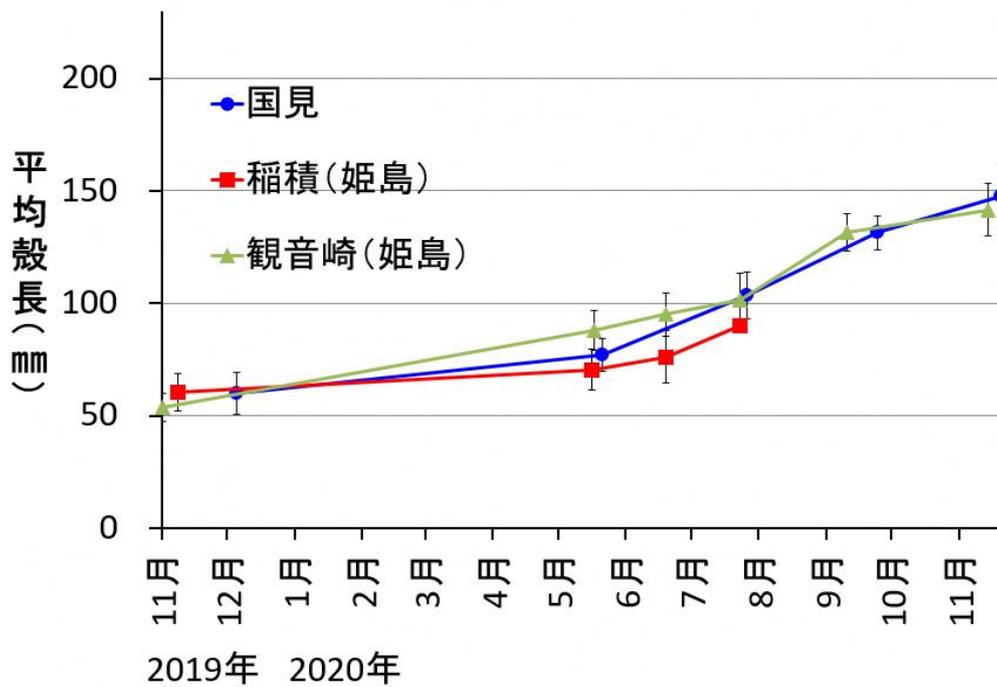


図5 海底移植したタイラギ人工種苗の平均殻長の推移 (2019年生産分)

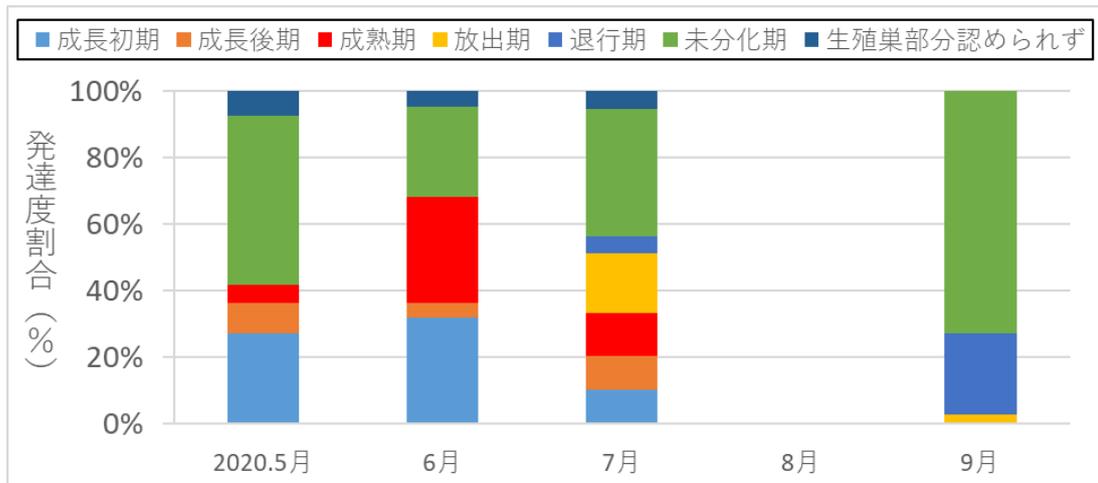


図6 海底移植したタイラギ人工種苗の生殖巣の発達度の推移 (3地区合計)
(2019年生産分)

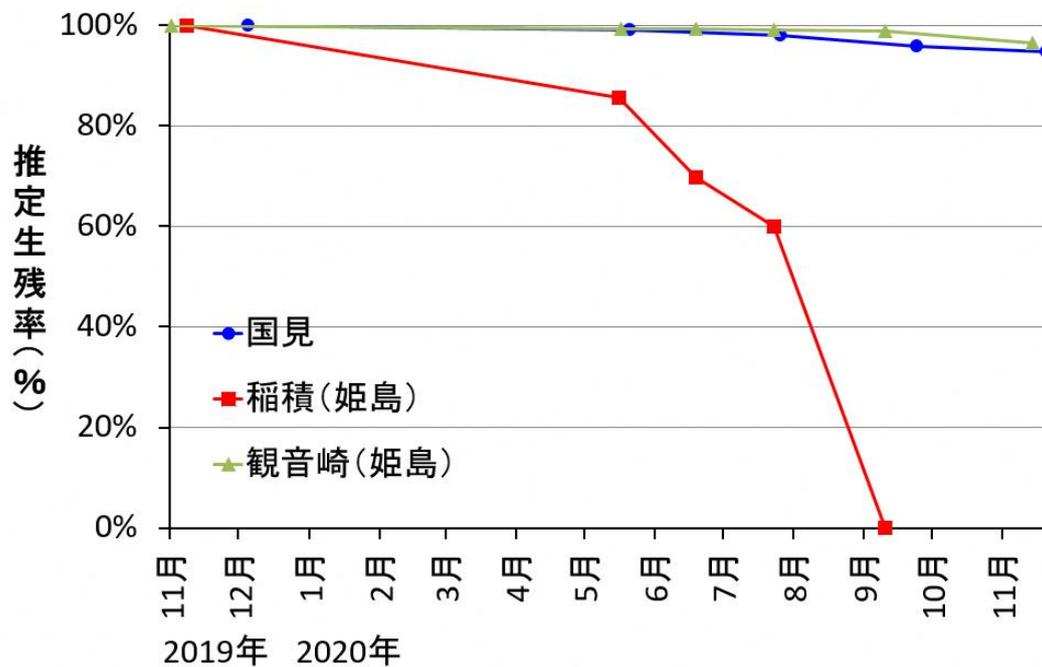


図7 海底移植したタイラギ人工種苗の平均推定生残率の推移 (2019年生産分)

(5) 母貝団地造成技術の開発

③三河湾におけるハマグリ之母貝団地造成技術の開発

愛知県水産試験場漁業生産研究所

長谷川拓也

【目的】

種苗生産や中間育成によって得られたハマグリ稚貝を効率的、効果的に母貝資源として添加するには、ハマグリの生活史に沿った種苗放流技術の開発が必要であることから、三河湾におけるハマグリの分布生態を明らかにし、その環境要因を抽出し、分布生態と環境要因の検討を行う。

【研究方法】

愛知県におけるハマグリの分布生態に関する知見は乏しいため、母貝の保護を目的としたハマグリ禁漁区を設けている矢作古川河口域（図1）で、令和2年8月から10月にかけて調査を行った。調査は大潮干潮時に行い、河口域内の計12地点を設定し、ジョレン（スリット幅：8mm）を用いて、二枚貝類を採取した。調査点では、底質分析及び着底稚貝用のサンプルとして内径76mm、目開き59 μ mのコアサンプラーを用いて底土を採取するとともに、調査時の塩分及び水温を計測した。

また、矢作古川より河川規模の大きい矢作川河口域（図1）において、令和2年6月から10月にかけて調査を行った。調査は大潮干潮時に行い、河口域内の計10～14地点において、6月から9月の調査では、枠取り（25cm×25cm）を用いて底質を採取し、1mmまたは4mmふるいで選別し、二枚貝類を採取した。10月調査では、ジョレン（スリット幅：5mm）を用いて、二枚貝類を採取した。調査点では、底質分析及び着底稚貝用のサンプルとして内径76mm、目開き59 μ mのコアサンプラーを用いて底土を採取するとともに、調査時の塩分及び水温を計測した。

【研究成果の概要】

矢作古川で調査を実施した8月7日、9月14日、10月29日における、調査点ごとのハマグリ採捕個体密度を図2に、殻長組成と5mm幅の殻長組成と混合正規分布曲線を図3にそれぞれ示した。ハマグリは調査点全体に分布していることを確認できた（図2）。8月の調査では、2019年級群、2018年級群及び2017年級群以前と推定される3つのコホートが確認され、特に、2019年級群は河口域内で成長している様子が確認された（図3）。2019年級群および2018年級群以前の採捕個体密度を図4に示した。2019年級群において、密度10個/m²以上確認された地点は河口から0.8-1.2km上流域に形成され、河口から0.5m上流域の地点では確認されなかった（図4）。一方、2018年級群以前の採捕密度は、調査点全体に分布していることを確認できたが、調査地点の密度は低かった（図4）。また、着底稚貝は確認されなかった。

矢作川で調査を実施した6月5日、7月21日、8月20日、9月17日、10月28日における、調査点ごとのハマグリ採捕個体密度を図5に、殻長組成と混合正規分布曲線を図6に示した。矢作古川同様、8月以降ハマグリは調査点全体に分布していることを確認できた(図5)。6月の調査では、2019年級群が確認され、調査期間中河口域内で成長している様子が確認された。また、9月の調査では2020年級群と推定される新たな加入群が確認された(図6)。2020年級群および2019年級群の採捕密度を図7に示した。9月の調査で2020年級群は、河口から0.7km上流に高密度(108個/m²)に分布していることが確認され、10月の調査では同地点及び1.4km上流の地点で高密度(52~75個/m²)に確認された。それ以外の調査点では低い密度(0.7~2.7個/m²)だった(図7)。一方、2019年級群は、調査点全体に分布を確認できたが、高密度で形成していなかった。また、着底稚貝は確認されなかった。

矢作古川及び矢作川の環境データと稚貝サイズ(20mm)のハマグリ個体数の関係性について示した(図8)。矢作古川の粒度及びシルト率について、シルト率が高くなるにつれ低くなる傾向を示し、中央粒径値が600 μ m付近で個体密度が高くなる傾向を示した。矢作川でも、シルト率が高くなるにつれてハマグリ密度が減少し、中央粒径値が300 μ m付近で個体密度が高くなる傾向を示した。

ハマグリ以外の二枚貝類に関して、矢作古川では、ヤマトシジミとアサリが多く確認され、河口域上流部ではシジミが、下流部ではアサリがそれぞれ優占していた(図9)。ハマグリは、ヤマトシジミの分布が確認された場所に分布していた。ハマグリ稚貝の好適塩分は、19.3~32.2³⁾であるとの報告がある。本調査で得られた他二枚貝類のヤマトシジミでは1.5~22⁴⁾、アサリでは21.3~31.4⁵⁾が生息に適している塩分であり、ハマグリ好適塩分帯はアサリとほぼ同様である。矢作古川及び矢作川で、6月末に大規模出水が確認された。矢作古川でハマグリ分布を確認した場所は、ヤマトシジミの分布域と重複していたが、昨年度の調査ではアサリの分布域と重複していた。また、矢作川では、6月の調査では河口域下流部でアサリが多く確認されたが、7月以降ほとんど確認されなかった。このことから、出水の影響により、矢作古川のヤマトシジミ分布域が下流域に拡大し、矢作川では個体群が消失したと考えられた。以上より、ハマグリはアサリと比較して、加入以降の環境変動に強い可能性が示唆された。また、ハマグリ稚貝は中央粒径値が0.2~0.4mmの細かい細砂で形成された底質に生息している事が知られている⁶⁾が、矢作川河口域では、中央粒径値300 μ m付近で個体密度が高くなる傾向を示したことから、ハマグリ好適環境である可能性が示唆された。

【次年度に向けた提言】

ハマグリ採捕個体数と底質環境条件について、矢作古川河口域では、シルト率が増加すると採捕個体数が減少し、中央粒径値が600 μ m付近で採捕個体数が増える傾向を示し、矢作川では、シルト率が増加するとハマグリ採捕個体数が減少し、中央粒径値300 μ m付近

で採捕個体数が高くなる傾向が認められた。放流適地を選定する条件としては情報が少ないため、ハマグリ放流適地に関するデータの蓄積を必要であると考えられる。今後は、既存の貝類増殖場等の活用しながら母貝育成技術の開発に取り組んでいく。

参考文献

- 3) 沼口勝之・田中彌太郎（1987）ハマグリ初期稚貝の成長におよぼす水温及び塩分の影響. 養殖研報, 11, 35-40.
- 4) 中村幹雄・安木茂・高橋文子・品川明・中尾繁（1996）ヤマトシジミの塩分耐性. 水産増殖, 44(1),31-35.
- 5) 天野邦彦（2009）第8章 河口部における二枚貝の生息環境とその保全. 生田和正・日向野純也・桑原久実・辻本哲郎（編）アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として, 115-126.
- 6) 横松芳治・上城義信（1985）ハマグリ放流の既往知見,大規模砂泥域開発調査事業(豊前海域)昭和 59 年度調査報告書, 55～62.



図1 調査区域図

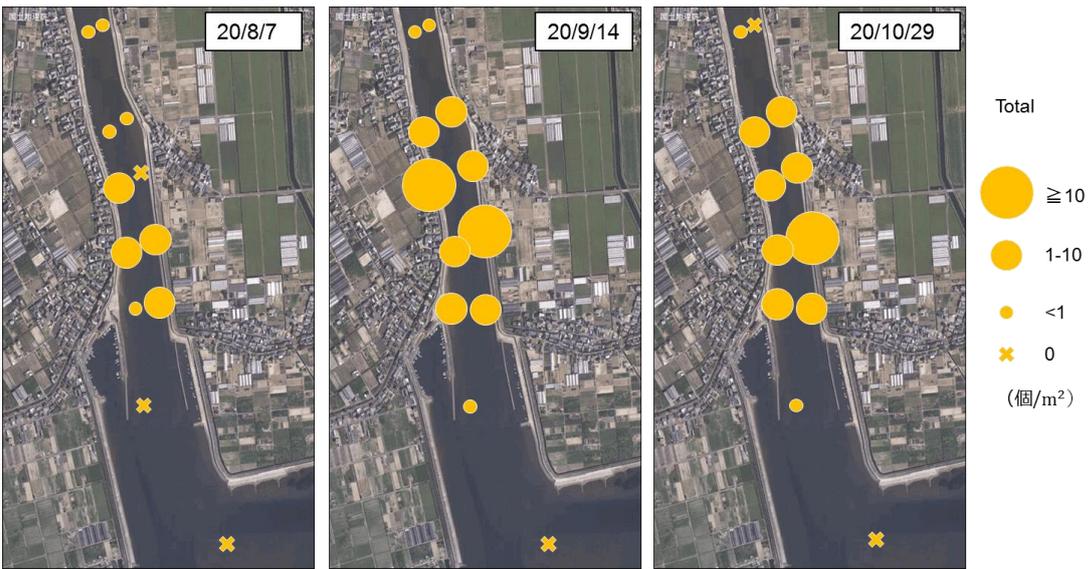


図2 矢作古川で採取されたハマグリ の採捕密度

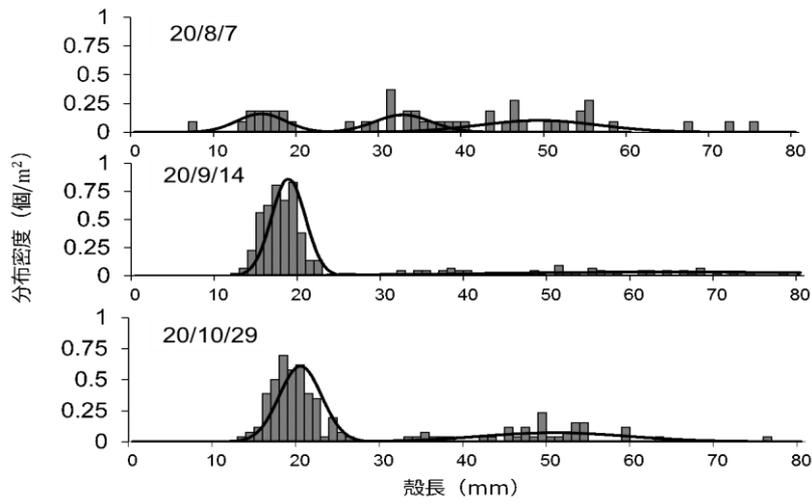


図3 矢作古川で採取されたハマグリ の殻長組成 (図中の実線は混合正規分布曲線)

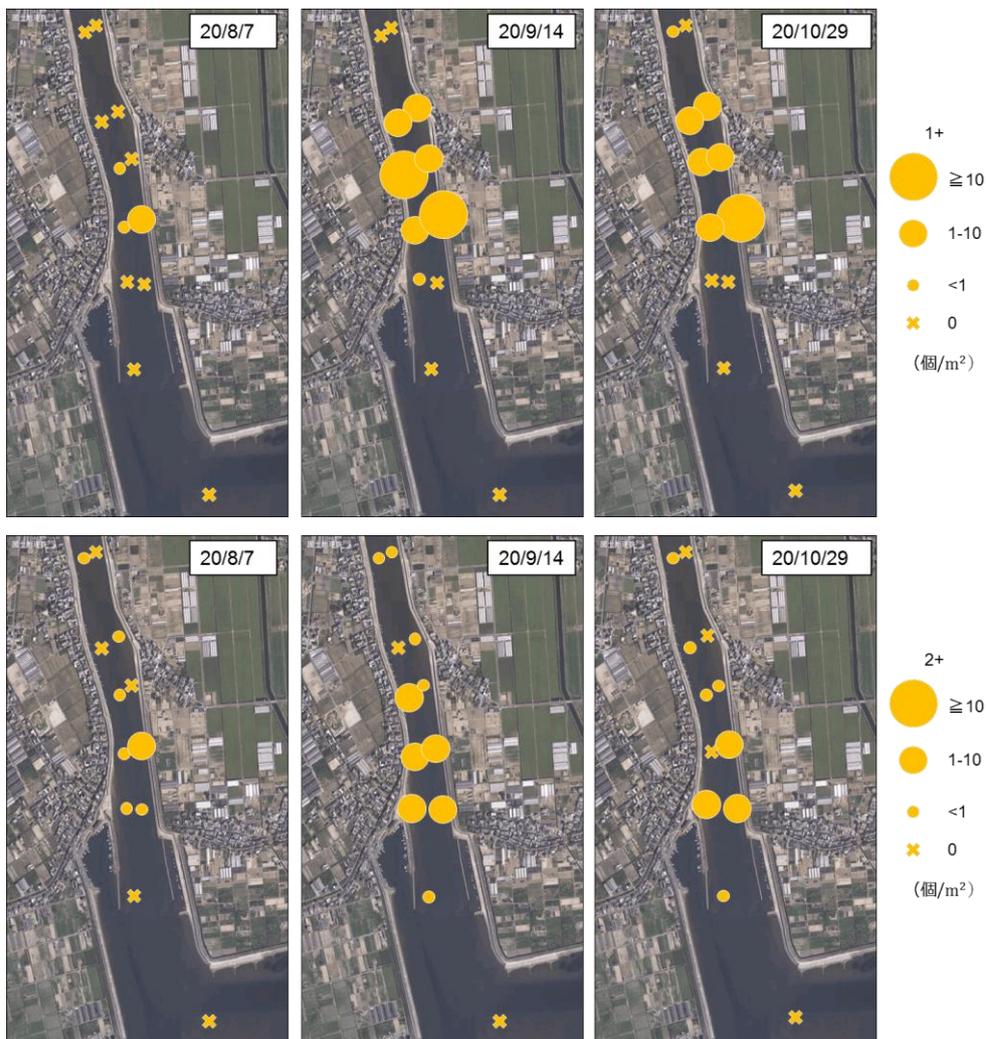


図4 矢作古川で採捕された年級群別の採捕密度 (上: 2019年級群、下: 2018年級群以前)

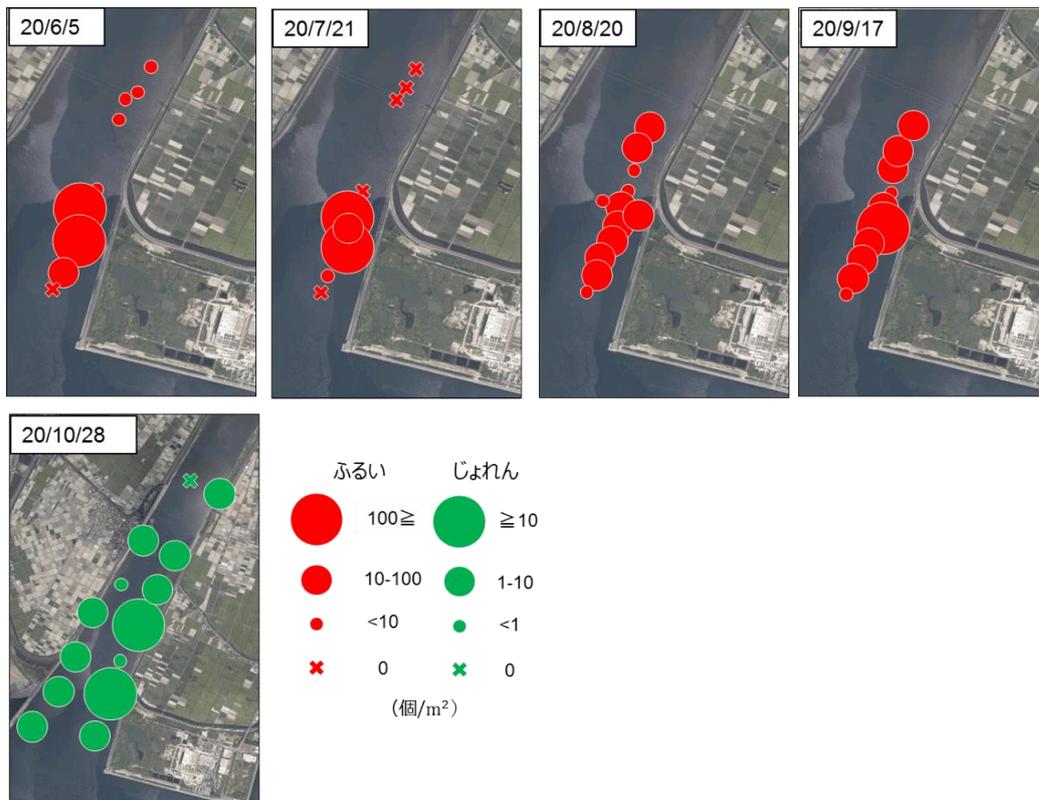


図5 矢作川で採取されたハマグリ の採捕密度

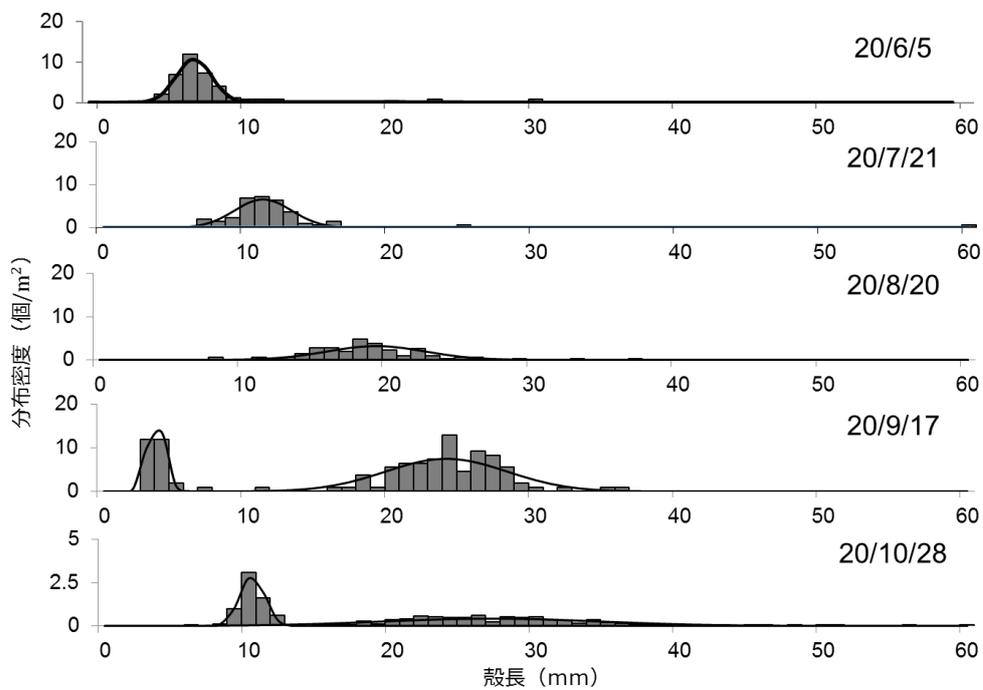


図6 矢作川で採取されたハマグリ の殻長組成 (図中の実線は混合正規分布曲線)

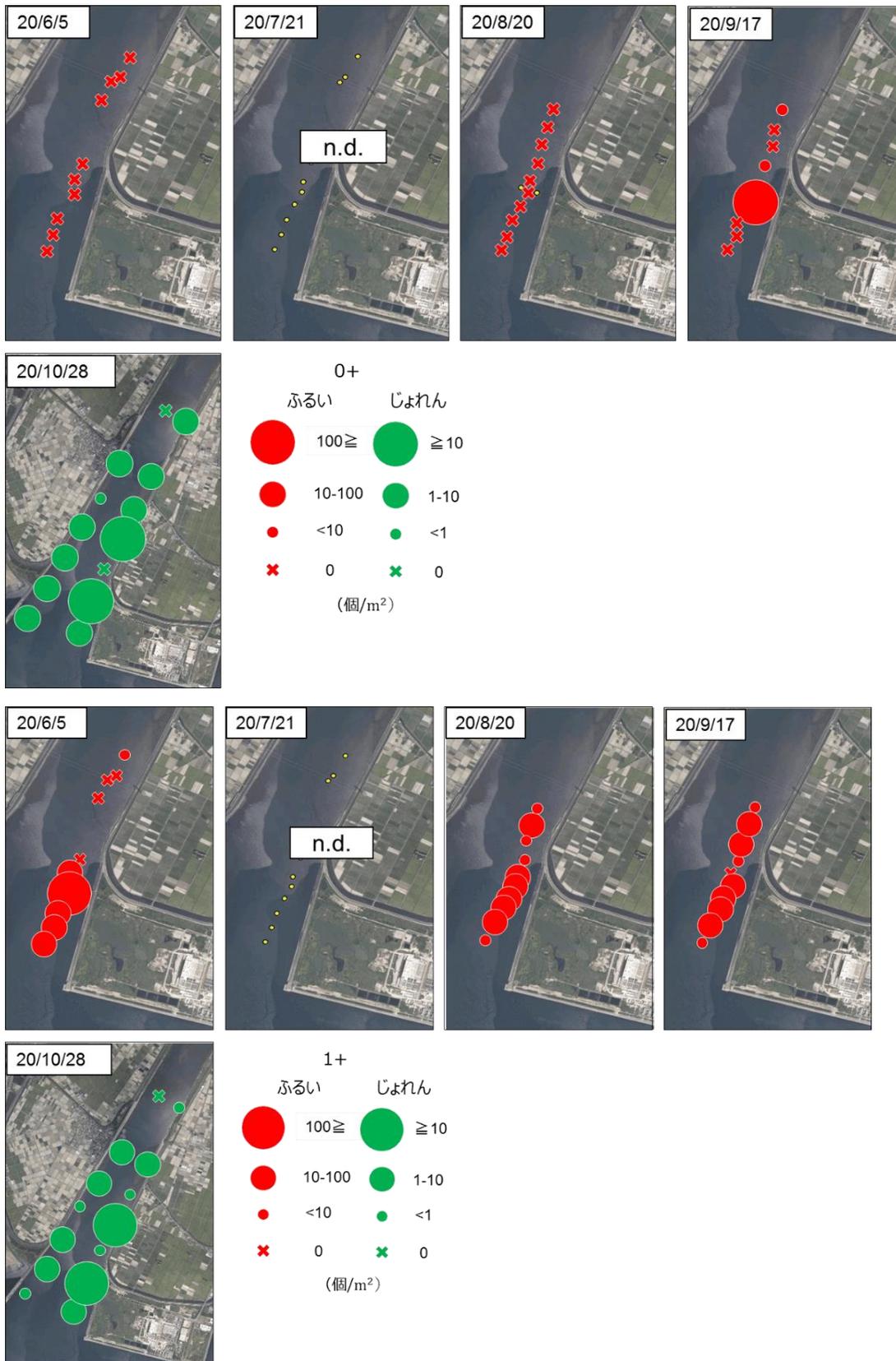


図7 矢作川で採捕された年級群別の採捕密度（上：2020年級群、下：2019年級群）

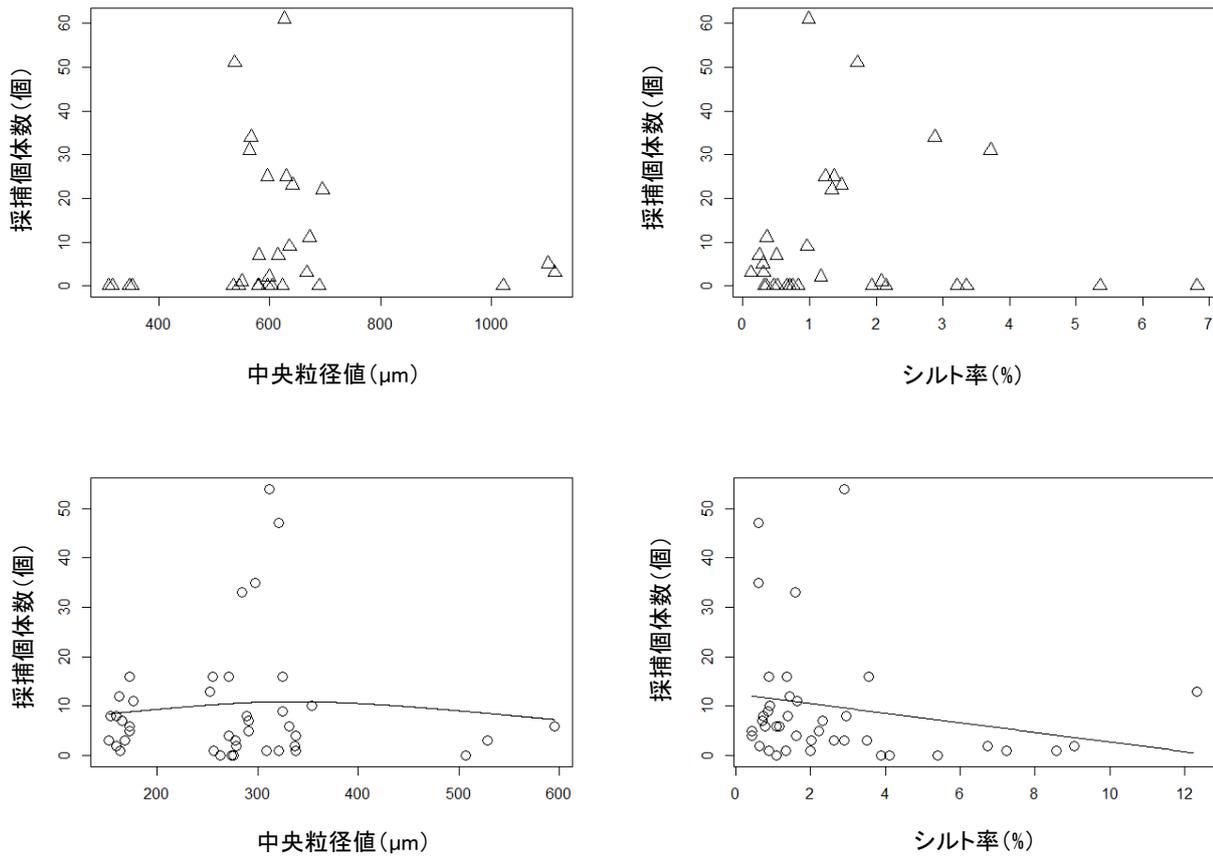


図8 両河川におけるハマグリ密度と中央粒径値とシルト率の関係

(上: 矢作古川、下: 矢作川)

図中の実線は一般化加法モデルにより回帰したスプライン曲線

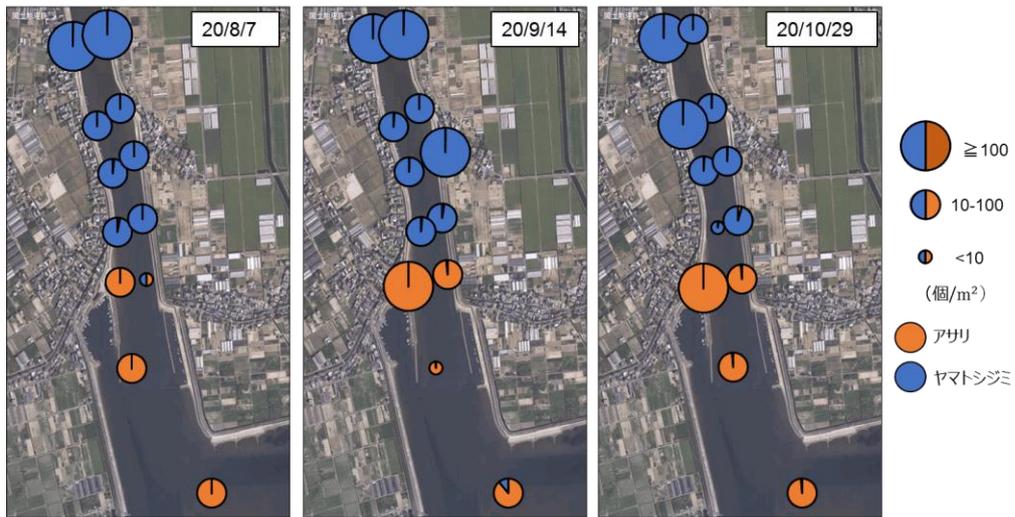


図9 矢作古川における調査点ごとの他二枚貝類の分布比率と密度

(5) 母貝団地造成技術の開発

④ 伊勢湾におけるハマグリ之母貝団地造成技術の開発

三重県水産研究所鈴鹿水産研究室

勝田 孝司

【目的】

伊勢湾（三重県側）のハマグリは、主に北部の桑名地区（赤須賀漁協）において戦後は年間千トン以上が水揚げされたが、干潟の減少、地盤沈下などの影響で昭和40年代後半から減少し、平成に入ると水揚量は数トンまで激減した。桑名地区では、ハマグリ資源の回復に向けて、昭和50年頃からハマグリ稚貝（人工種苗）の生産技術開発と稚貝の放流、資源管理、干潟造成などに取り組んだ結果、平成15年頃からハマグリ資源が増加し、平成26年には水揚量が約200トンまで回復した。しかし、その後は再び資源が減少して令和1年の水揚量は約100トンとなっている。また、平成28年頃から伊勢湾中・南部の香良洲、松阪、伊勢地区などでもハマグリが増加し、資源が激減したアサリに代わりハマグリが主要漁獲対象種となっているが、近年はこれらの地区においても水揚量が減少傾向にある。

伊勢湾内のハマグリ資源は、いち早く桑名地区で回復した後に他地区でも増加したことから、桑名地区が伊勢湾のハマグリ母貝場である可能性が高いと考えられる。そのため、伊勢湾のハマグリ資源の増加、安定には、桑名地区におけるハマグリ加入量および資源の底上げが急務である。

本研究では、桑名地区におけるハマグリ稚貝の放流効果を高めるため、本事業の「課題3. 人工種苗から成貝までの育成技術の開発 ②伊勢湾におけるハマグリ育成技術開発」で中間育成したハマグリ稚貝の放流適地を明らかにし、母貝団地の造成技術を開発する。

【研究方法】

1. 天然ハマグリ分布調査

天然ハマグリ主産地の桑名地区で天然ハマグリ分布調査を行い、中間育成したハマグリ種苗の放流適地（母貝団地候補地）を明らかにする。また、本課題で得られた結果は、本事業の「3. 人工種苗から成貝までの育成技術の開発 ④伊勢湾におけるハマグリ育成技術開発」で課題となっている、ハマグリ稚貝を屋外で中間育成する適地・環境条件の把握に供する。

1) 調査地点

調査地点は、前年度の調査結果から木曾三川（木曾川、長良川、揖斐川）の河口から2.0キロポストまでと、その河口域に位置する長島干潟、城南干潟を中心に主に水深5m以浅の海域から汽水域で、合計101地点を調査した（図1）。

2) 調査時期

- ・令和2年8月25日
- ・令和2年9月1日
- ・令和2年10月20日
- ・令和2年11月2日

・令和3年3月（実施予定）

3) 調査方法

軽量簡易グラブ採泥器を用いて各地点で2回ずつ（0.05 m²/回）、深さ0.2mで海底堆積物を採取し、目合2mmのフルイに残ったハマグリなどの二枚貝類を採取して個数、殻長、殻高、殻幅、湿重量を計測した。

2. 天然ハマグリ分布域の環境調査

天然ハマグリ分布域で水質、底質などの環境条件を把握する。

1) 調査地点

「1. 天然ハマグリ分布調査」に同じ。

2) 調査時期

「1. 天然ハマグリ分布調査」に同じ。

3) 調査方法

水質は、各調査地点で多項目水質計を用いて水温、塩分、溶存酸素濃度（DO）を測定した。底質は、各調査地点で海底堆積物の表層約2cmを採取し、乾燥粉碎後、強熱減量（IL）と粒度組成を測定した。

3. 母貝団地造成技術開発

令和2年度以降に「1. 天然ハマグリ分布調査」で選定した放流適地（母貝団地候補地）において、中間育成した種苗をかぶせ網、カゴ等で保護する形で放流し、母貝団地の造成技術を開発する。

【研究成果の概要】

1. 天然ハマグリ分布調査

令和2年8月25日と9月1日に実施した天然ハマグリ分布調査結果を図2に示す。ハマグリは、長島沖干潟の沖と員弁川の河口沖で各1個体が採取されたのみであった。殻長は長島沖干潟沖合で6.10mmの稚貝、員弁川河口沖では59.87mmの成貝であった。

令和2年10月20日と11月2日に実施した天然ハマグリ分布調査結果を図3、ハマグリ殻長組成を図4に示す。ハマグリは、8～9月の調査と異なり、城南沖干潟とその沖、木曾川の濠筋などで合計72個体が採取された。採取された地点数と採取数は増加し、生息密度は10～240個体/m²であった（図3）。なお、採取したハマグリ95.8%（69個体）が殻長7mm未満で、令和2年に生まれた稚貝と推定された（図4）。

2. 天然ハマグリ分布域の環境調査

ハマグリが確認された調査地点の塩分は、9月1日で22.4～22.7ppt、10月20日で25.0～28.5ppt、11月2日で22.4～28.4pptであった。今年度の調査地点は、潮汐の影響が強

い海域から汽水域で調査地点全体では5.0～29.4pptと広範囲であったが、ハマグリ分布範囲は22.4～28.5pptと前年度より狭い範囲であった。

ハマグリが確認された調査地点(採泥毎)の強熱減量(IL)は、2.7～2.9%(8～9月)、1.1～10.6%(10～11月)。うち40個体/m²以上(採泥1回2個体以上)では1.1～2.0%(10～11月、8～9月は該当なし)であった(図5)。

ハマグリが確認された調査地点の粒度組成は、いずれの調査でも中砂、細砂が約8割と多くを占め、シルト・泥、礫・極粗砂は少なかった。これは前年度調査と同様であった。

3. 母貝団地造成技術開発

令和元年度中間育成試験が桑名地区では荒天により施設が破損、五ヶ所湾ではへい死したことで、春からの人工種苗による造成技術開発(放流後の保護手法確立)は中止となった。また、天然稚貝を用いた試験も小型天然稚貝が全体的に急減して、入手困難となり中止した。現在、中間育成中の人工種苗を使った試験については4月以降に桑名地区で実施する予定である。

【次年度に向けた提言】

今年度の調査でハマグリが確認された分布域は、8～9月調査では採取数が少なかったものの、10～11月調査では昨年度より多くの稚貝が採取され、過去の調査で確認された場所と概ね同じであった。ただし、採取数は増加したものの、アサリ稚貝場のような密集した分布域は確認できず、最高値は240個体/m²であった。これは昭和60年代後期の調査結果とほぼ同じであり、アサリのように密集した分布はないかもしれない。

また、10～11月調査で採取された稚貝は、殻長から令和2年度生まれの稚貝がほとんどであると推定された。それらは8～9月調査時点ではまだ小さすぎて2mmのフルイから抜け落ちていた可能性があり、採取された地点で着底・成長したか、他から移動してきたかは不明である。今後の同時期調査では1mmのフルイの使用を検討する。

なお、今年度の調査では令和元年生まれの殻長10～20mmの稚貝は1個体のみで、地元漁業者への混獲も少ないことから資源的に極めて少ない可能性が高く、貝桁やジョレンを用いた面的な調査は厳しい。赤須賀漁協が実施している水産多面的機能発揮対策事業の調査結果なども参考にして、調査方法を検討する。

さらに桑名地先以外で行ったハマグリ稚貝の調査でも、生息場所の粒度組成や強熱減量などの環境データは本調査と同様の結果を得ている。今年度の調査で採取された稚貝のほとんどが令和2年生まれで占められていたこともあり、さらにデータを蓄積して、環境要因との関係を整理して中間育成場(放流通地)を選定するとともに、母貝団地としての能力について資源評価を目的に収集している漁場の範囲や漁獲量等のデータも活用して検討する。

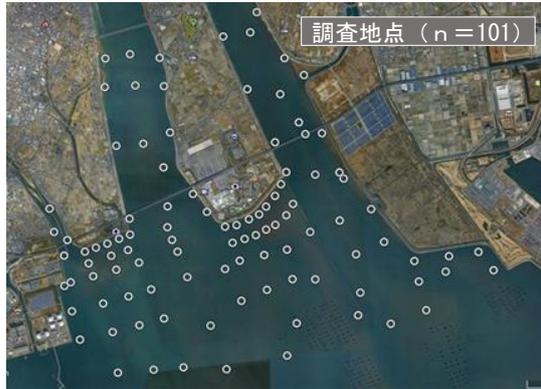


図 1. 調査地点



図 2. ハマガリの分布調査結果
(8月25日、9月1日)



図 3. ハマガリの分布調査結果
(10月20日、11月2日)

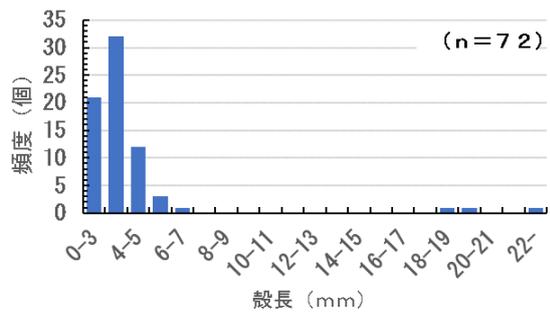


図 4. ハマガリの殻長組成
(10月20日、11月2日)

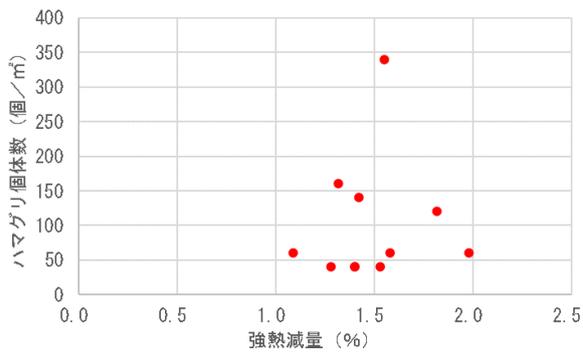


図 5. ハマガリ個体数と強熱減量
(採泥ごと、40 個体/m²以上抽出)

(6) DNA 標識技術の開発

① 有明海におけるタイラギの DNA 標識技術の開発

水産研究・教育機構 水産資源研究所

關野正志・中道礼一郎

【目的】

有明海のタイラギ資源は非常に厳しい状態が続いている。一方、有明海特産貝類の資源回復を目的とした浮遊幼生・着底稚貝の定量評価、浮遊幼生の輸送シミュレーションおよび人工種苗生産技術開発等の調査研究が進展している。これを踏まえ、2017 年度有明海・八代海等総合調査評価委員会報告において、有明海のタイラギ資源の再生方策として、浮遊幼生の移動ルートや稚貝の着底場所の把握とともに、人工種苗移植による母貝団地造成に適した成育場所の選定および母貝団地造成による広域的な母貝集団ネットワーク形成の必要性が提言された。

DNA 分析技術の進歩により、DNA マーカーが多くの魚介類で開発されており、それらを用いた血縁解析により放流効果の調査が行われている。タイラギでも DNA マーカーを開発し、種苗生産に用いた親貝の DNA マーカー情報、すなわちマーカージェノタイプ（遺伝子型）さえ把握していれば、血縁解析が可能である。タイラギ DNA 血縁解析システムを確立し、種苗生産に用いられた親個体 (G_0) の DNA が利用できれば、漁獲物が放流された人工種苗 ($G_1 : G_0$ の子供世代) か否か、あるいは G_1 の子供 ($G_2 : G_0$ の孫世代) か否かを推定することができ、最適な母貝団地を選定するための重要な知見を得ることができると期待される。

DNA マーカーの候補として、ミトコンドリア DNA (mtDNA)、核ゲノム上のマイクロサテライト DNA (MS) および同じく核ゲノム上の一塩基多型 (SNP) が挙げられる。このうち mtDNA は基本的に母親からしか子供に DNA 情報が伝わらない。したがって mtDNA は補助的な血縁解析用マーカーとして利用できるものの、漁獲物の由来 (人工種苗由来か否か) を明らかにする上では不十分である。両性遺伝する MS は、通常 10 種類以上のアレル (対立遺伝子) を有し、高度な多型性を示すことが多いため、血縁解析用のマーカーとして価値が高く、これまで多くの種で放流種苗追跡に用いられてきた。しかし貝類を含む水生無脊椎動物では、多検体 (集団サンプル) の解析に適した MS マーカーの大量開発が非常に困難である。さらにジェノタイピング (ジェノタイプを決定すること) の自動化と、異なるラボ間でのデータの共有が難しいという欠点がある。一方、SNP は MS と同様に両性遺伝であるが、1 マーカーあたりのアレル数が通常二種類しかなく、MS と比較すると多型性の点で大きく劣る。しかしゲノム中に膨大な数が存在するために容易にマーカー数を増やすことが

でき、コンピューターによるジェノタイピングの半自動化が可能であり、かつデータに汎用性があることなどの優位点がある。報告者らは、以上のような DNA マーカーとしてのメリット・デメリットを考慮し、タイラギの血縁解析を実施する上では SNP が最適であると考えた。そこで本課題では、有明海産タイラギの血縁解析に使用できる SNP マーカーセットを開発する。本課題では、シミュレーション解析で祖父母-孫間 (G_0 - G_2 間) の同定に必要とされた 600 個程度の SNP マーカーを開発することを、全実施期間を通じた最終的な数値目標とする。なお本課題では、MALDI-TOF/MS に基づく MassARRAY システム (図 1; Gabriel *et al.* 2009; Ellis and Ong 2017) でジェノタイピングを行うことを前提とした SNP マーカーを開発する。

【研究方法】

(1) MassARRAY 解析用 SNP マーカー開発-人工種苗を用いたスクリーニング-

昨年度、MassARRAY 用に設計した 265 組の領域特異的 PCR プライマーペア (RSP) と SNP 検出のための一塩基伸長プローブ (Exp) について (以降、プライマーセットと呼ぶ)、第一スクリーニングとして有明海産 (佐賀県) タイラギ ($N=22$) を用いて SNP ジェノタイピングを行った。その結果、計 222 組がスクリーニングをパスした (図 2)。本年度は、これらのプライマーセットが親から子供にアレルが伝達される遺伝マーカーとして利用できるかを検証するため、2019 年度に百島庁舎で生産された人工種苗と親の間で、ソフトウェア PARFEX (Sekino and Kakehi 2012) を使って親子判別 (排除法) を行った (第二スクリーニング; 後述)。

(2) MassARRAY 解析用 SNP マーカー開発-新規マーカーの開発-

RADseq 法 (Restriction site-associated DNA sequencing; Baird *et al.* 2008) によって得られた有明海産 (佐賀県) タイラギゲノム上の SNP サイトおよびそれらの周辺塩基配列情報に基づき、ソフトウェア Assay Design (Agena Bioscience) を用いて新たにプライマーセットを設計した。これらのプライマーセットについて、上記の第一、第二スクリーニングを行って SNP マーカーを開発した。

(3) SNP マーカー候補領域の拡充

MassARRAY では、1 ウェル (1 チューブ) で複数の SNP マーカーの PCR 増幅および一塩基伸長反応を行うため、プライマーセットの設計には、反応時の RSP 間および ExP 間の干渉 (RSP は PCR 反応時、ExP は一塩基伸長反応時) が最小限になること、アニーリング温

度が同程度になること、また一塩基伸長後の ExP の期待質量が重複しないことなどを考慮する必要がある。このため、Assay Design のインプットデータとして、できるだけ多くの SNP サイトおよび周辺塩基配列を準備すること、すなわちできるだけ多くのマーカー候補領域を同定しておくことが望ましい。そこで制限酵素 SpeI を用いた RADseq 法により、新たなマーカー候補となる SNP サイトおよびそれらの周辺塩基配列情報を取得した。なお、研究方法 (1) および (2) の SNP マーカー開発では、タイラギゲノム上の制限酵素 PstI の認識配列 (5'-CTGCAG-3') 近辺の SNP サイトを対象にしたため、認識配列が 5'-ACTAGA-3' である SpeI を使って得られる SNP サイトは、(1) および (2) の対象 SNP サイトとはゲノム上の位置が異なる。次世代型 DNA シーケンサー (NGS) 解析に用いる RADseq ライブラリーの構築は、Sekino *et al.* (2016) を改変した方法に従った。以下に概略を記す。

制限酵素 SpeI-HF (New England Biolabs) を用いて、各個体のゲノム DNA を断片化し、生じた DNA フラグメントの末端に、PCR プライマー配列、NGS 用シーケンス配列および個体識別用の配列 (インデックス) を含む P1 アダプター (Illumina) をライゲーションした。アダプターが結合した複数個体の DNA をミックスし、超音波処理 (DNA Shearing システム M220 ; Covaris) により期待サイズが 300 塩基対 (bp) になるように DNA を物理剪断した後、アガロースゲルによる電気泳動を行い、250-600 bp の DNA フラグメントを回収した。フラグメント末端を平滑化し (Mighty Cloning Reagent Set ; Takara)、Exo-Minus Klenow DNA Polymerase (Epicenter) を使って平滑末端にアデニン塩基 (A) を付加してフラグメントを A 突出末端とした。PCR プライマー配列を含む P2 アダプター (Y-adaptor ; Illumina) をフラグメントの A 突出末端に結合させた後、P5-および P7-PCR プライマー (Illumina) と Phusion High-Fidelity DNA Polymerase (New England Biolabs) を使って、P1 および P2 アダプターが結合した DNA 断片を増幅した。PCR 産物を AMPure ビーズ (Beckman Coulter) で精製し、これを RADseq ライブラリーとして、NGS (NextSeq 500, Illumina) を使った超並列シーケンシングにより 150 塩基分の配列 (リード) を取得した。

ソフトウェア Stacks (Catchen *et al.* 2013) のサブプログラム process_radtags を使い、得られたリードのうち、SpeI 認識配列の一部とインデックス配列が共に認められたリードのみを抽出し、ソフトウェア FASTX-Toolkit (http://hannonlab.cshl.edu/fastx_toolkit/) を用いて、5%以上の塩基で quality score が 20 未満であったリードは除外した。次に、ソフトウェア BWA (Li and Durbin 2009) の BWA-MEM アルゴリズムにより、得られたリードを有隣型および無隣型タイラギの参照ゲノム配列 (Ref ゲノム) にマッピングし、Ref ゲノム上でユニークにマッピングされたリードのみ選択した。Stacks のサブプログラム gstacks を用いて、マッピングされたリードに基づいて SNP カタログを作成し、さらにサブプログラム

populations により各個体・各 SNP のジェノタイプを決定した。この過程では、共有率（全個体のうちジェノタイピング可能であった個体数の割合）が 80%以下の SNP サイト、MAF（Minor Allele Frequency：集団中で頻度が低い方のアリの頻度）が 0.3 以下のサイトおよびハーディ・ワインベルグ平衡満たさなかったサイト（ $P < 0.05$ ）を除外した。さらに各個体において、被覆深度が 20 未満のサイトはミッシングジェノタイプとした（ソフトウェア vcftools；Danecek *et al.* 2011）。得られた SNP サイトおよびその周辺の塩基配列のうち、有隣型および無隣型タイラギの Ref ゲノムで共通する SNP サイトおよび周辺配列のみを選択した。

【研究成果の概要】

（1）MassARRAY 解析用 SNP マーカー開発—人工種苗を用いた第二スクリーニング—

2019 年度に百島庁舎で種苗生産に用いられた親候補個体（有明海産）は、雌 6 個体、雄 8 個体の計 14 個体であった（雌：F15、F31、F38、F50、F57、F58；雄：M3、M14、M29、M53、M55、M56、M68、M74）。ただし雄の M56 は誘発用に用いられた個体である。これらの親候補と、得られた人工種苗のうち 192 個体について、昨年度に行った第一スクリーニングをパスした 222 組のプライマーセットの SNP ジェノタイピングを行った。すべての親候補個体がサンプリングされているため、それらの中には各人工種苗の唯一の両親が存在するはずである。従って親子関係を推定し、その推定された親子間において一部のプライマーセットで以下に述べるようなミスマッチがあれば、それらのプライマーセットでは親から子にアリルが受け継がれておらず、ミスマッチはアリル伝達エラーによるものと判断できる（親候補の一部がサンプリングされていなければエラーと断定できない）。例えば 222 組のプライマーセットのうち 1 組において、ある種苗（On）はアリル T のホモ接合（ジェノタイプ TT）、その雌親候補（Fn）はアリル G のホモ接合（GG）、雄親候補（Mn）はアリル G とアリル T のヘテロ接合（GT）であったとする。Fn-Mn ペアから生じる子供のジェノタイプは GG か GT であって、On のジェノタイプ TT は生じ得ないため、このプライマーセットではミスマッチが生じていると判断される。そして残りの 221 組のプライマーセットでは親子としてジェノタイプの組合せにミスマッチが無く、かつ他に種苗の親となりうるジェノタイプを持つ親候補が存在しなければ、Fn と Mn は On の真の両親であり、1 組のプライマーセットでアリルの伝達エラーが生じていると考えることができる。このようなミスマッチが一例でも認められたプライマーセットは除外した（第二スクリーニング）。

親子判別の結果から、222 組のうち 176 組のプライマーセットはすべての親子関係においてジェノタイプのミスマッチがなく、SNP マーカーとして有効であると判断された。種苗

生産における各親の貢献度（各親が残した子供の数の割合）を求めたところ（図 3）、雌親については 2 個体、雄親については 1 個体（誘発用個体を除く）が子供を残していなかった。また特に雌親の貢献度には大きな偏りがあり、約 85%の種苗は 2 個体の雌親に由来していた。雌親と雄親の交配組合せを見てみると（図 4）、子供を残した 4 個体の雌親と 6 個体の雄親の間のほとんどの組合せで交配が認められた。しかし雄親 M53 は、雄の中では比較的多くの子供を残していたにも関わらず（図 3；貢献度 20.3%で、6 個体の雄親のうち 2 番目に多く子供を残した）、この雄親と雌親 F50 との間の子供は検出されなかった。検出された雌親 F50 の子供の数が少なかった（10 個体）ことに注意する必要があるが、この親ペアの子供が認められなかった原因としては、雌親 F50 の卵と雄親 M53 の精子の物理的非接触、受精後の致死的発生異常、あるいは孵化幼生の致死的成育異常が考えられるものの、特定はできない。

副次的解析として、通常のタイラギ人工種苗生産における親子判別に必要な SNP マーカー数を、シミュレーション解析によって調べた。シミュレーションは以下の条件で行った。

- ・ 2019 年度種苗生産に用いられた親候補個体（14 個体）における 176 個の SNP マーカーのアリル頻度に基づき（有明海集団のアリル頻度とみなす）、50 個体分の仮想親候補のジェノタイプ作成
- ・ 仮想親候補がランダム交配を行い、5,000 個体の子供を残したと仮定。ただし親の性は考慮せず、ある親候補個体は自分以外のどの個体とも交配できるものとする
- ・ DNA マーカーの多型性指標の一つである PIC（Polymorphism information content；Botstein *et al.* 1980）が高い方から 1 個ずつマーカーを加えながら親候補群－子供群間で親子判別。ある子供について、唯一の親ペアが特定できた場合、親子判別成功（親子判別成功率 = 親ペアが特定できた子供の数 / 5,000）

シミュレーションの結果、63 個のマーカーを用いれば完全な親子判別ができることが分かった（図 5）。なおこのシミュレーションでは親候補の性情報を考慮しなかったが、性が分かっていたら、同性同士の交配は無視できるため、親子判別に必要なマーカー数はさらに少なくなるはずである。

栽培漁業においては、種苗生産に用いる親候補の数に制限があるため、人工種苗の遺伝的多様性の低下は避けられない。しかし限られた親候補数でも、可能な限り遺伝的多様性の高い種苗を生産すること、すなわち種苗集団の有効集団サイズ^{注1}を大きくすることが望ましい。人工種苗の有効集団サイズを減少させる主要因は、親の近交度、性比の偏りおよび親が残す子供の数の偏り（親の貢献度の偏り）であるが、天然個体を親候補として用いる場合に有効集団サイズに最も大きな影響を与えるのは、親の貢献度の偏りだろう。本年度に解析し

た人工種苗を例にすると、仮に誘発用の雄 1 個体を除く 13 個体の親候補の貢献度の偏りが無ければ、人工種苗の有効集団サイズは 12.9 と、ほぼ親候補個体の数（13 個体）と等しくなる（性比の偏りによりわずかに親候補個体数より小さくなる）。しかし観察された貢献度の偏りを考慮すると、有効集団サイズは 6.1 となり、理想値の半分以下に減少していた。このように、親子判別によって親候補個体の貢献度の偏りを調べることにより、正確な有効集団サイズの見積もり、すなわち遺伝的多様性のモニタリングが可能になる。MassARRAY システムでは 70 個弱の SNP マーカーを解析することは容易であることから、人工種苗の遺伝的多様性をモニタリングするための効率的ツールを開発することができたと言える。

（２）MassARRAY 解析用 SNP マーカー開発－新規マーカーの開発－

新たに 341 組のプライマーセットを設計し、有明海産タイラギ集団を使った第一スクリーニングを行ったところ、319 組がスクリーニングをパスした。これらのプライマーセットにおいて、研究成果の概要（１）で得られた親子判別の結果から、主要な 4 家系（子供の数が多かった家系；F31-M14、F31-M68、F31-M53 および F38-M14）を選び、第二スクリーニングを行った。その結果、291 組のプライマーセットは、いずれの家系でも親子間でジェノタイプ mismatches が認められなかった。研究成果の概要（１）で得られた 176 個のマーカーと合わせると、467 個のマーカー（目標数の約 78%）を開発することができた。

（３）SNP マーカー候補領域の拡充

RADseq 法で得られたリードについて、研究方法（３）のフィルタリングを行ったところ、有隣型の Ref ゲノムにマッピングした場合は 80,942 か所、無隣型の Ref ゲノムにマッピングした場合は 66,462 か所の SNP サイトが同定された。両者の Ref ゲノム上で共通する SNP サイト数は、計 17,268 であった。

【次年度に向けた提言】

研究成果の概要（３）で得られた 17,268 の SNP サイトについて、MassARRAY 解析用プライマーセットを設計する。これらについて第一および第二スクリーニングを行い、新たな SNP マーカーを開発し、開発目標数を達成する。

注 1 集団遺伝学の定義では、「ある集団の遺伝的多様性の損失速度あるいは遺伝的浮動が、注目している現実の集団と等しい理想集団の大きさ（個体数）」であるが、より簡単に言えば、「集団の遺伝的多様性の維持に“有効に”影響を及ぼしている親の数」のこと。

【引用文献】

- Baird NA, Etter PD, Atwood TS, Currey MC, Shiver AL, Lewis ZA, Selker EU, WCresko WA, Johnson EA. (2008) Rapid SNP discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers. *PLoS ONE* 3:e3376.
- Botstein D, White RL, Skolnick M, Davis RW (1980) Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms. *American Journal of Human Genetics* 32:314–331
- Catchen J, Hohenlohe PA, Bassham S, Amores A, Cresko WA (2013) Stacks: an analysis tool set for population genomics. *Molecular Ecology* 22:3124–3140.
- Danecek P, Auton A, Abecasis G, Albers CA, Banks E, DePristo MA, Handsaker R, Lunter G, Marth G, Sherry ST, McVean G, Durbin R, 1000 Genomes Project Analysis Group (2011) The variant call format and VCFtools. *Bioinformatics* 27: 2156–2158.
- Ellis JA, Ong B (2017) The MassARRAY® system for targeted SNP genotyping. In: White S, Cantsilieris S (eds) *Genotyping. Methods in Molecular Biology* volume 1492. Humana Press, NY
- Gabriel et al. (2009) SNP genotyping using the Sequenom MassARRAY iPLEX platform. *Current Protocols in Human Genetics* 60:2.12.1–2.12.18.
- Li H, Durbin R (2009) Fast and accurate short read alignment with Burrows-Wheeler Transform. *Bioinformatics* 25:1754–1760.
- Sekino M, Kakehi S (2012) PARFEX v1.0: an EXCEL™-based software package for parentage allocation. *Conservation Genetic Resources* 4:275–4345
- Sekino M, Nakamichi R, Iwasaki Y, Tanabe AS, Fujiwara A, Yasuike M, Shiraishi M, Saitoh K (2016) A new resource of single nucleotide polymorphisms in the Japanese eel *Anguilla japonica* derived from restriction site-associated DNA. *Ichthyological Research* 63:496–504.

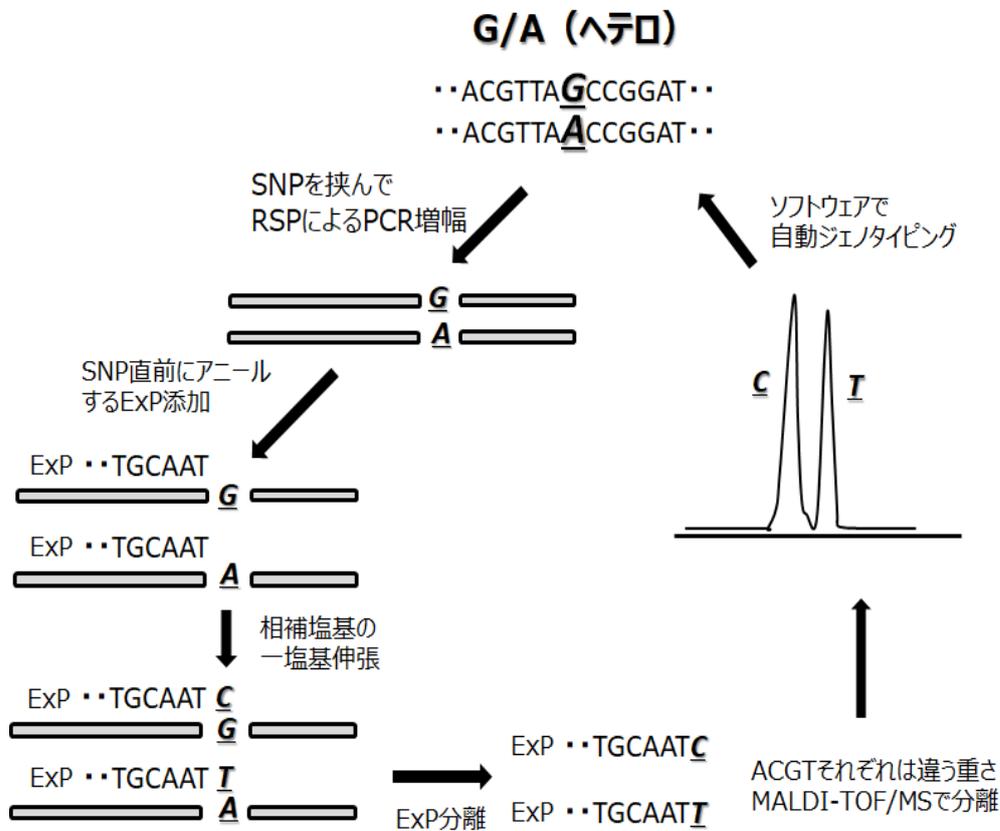


図 1. MassARRAY システムによる SNP 検出の原理

RSP は領域特異的 PCR プライマー、ExP は RSP により PCR 増幅された産物上で一塩基伸長反応に用いるプローブ。まず対象の SNP サイトを挟む短い領域（100 塩基程度）を RSP を使って PCR 増幅する。次に SNP サイトの直前に設計した ExP を使って一塩基伸長反応を行う（この例では塩基 G に相補的な C、塩基 A に相補的な T が伸長される）。伸長反応後、ExP をイオン化して真空中を飛行させる。4 つの塩基（A, C, G, T）は異なる重さを持つので、ExP は飛行時間の長さによって分離される（すなわち、この例では伸長した塩基が C か T かを判別できる）。分離後、ソフトウェアにより自動的にジェノタイプがコールされる。

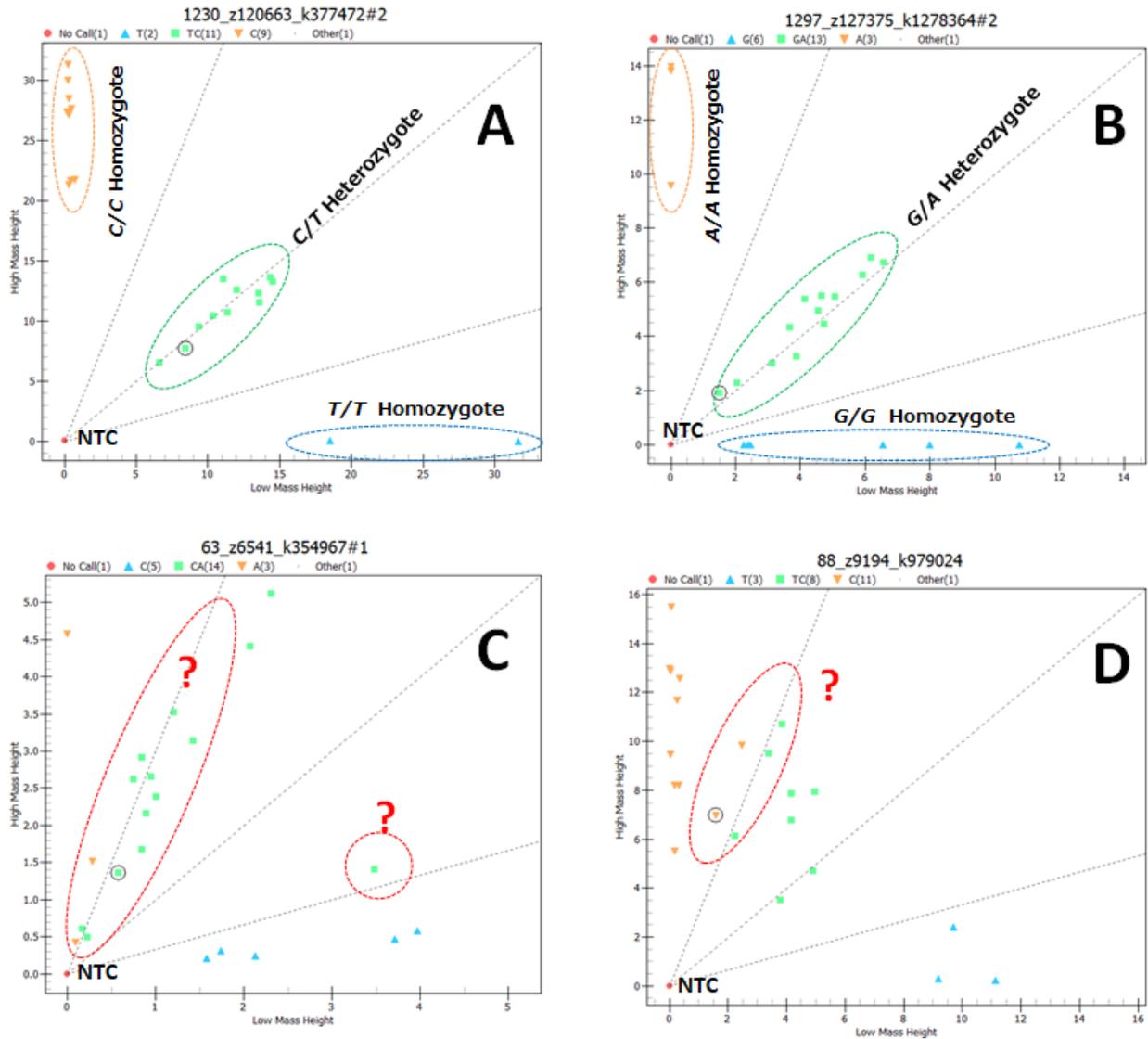


図 2. MassARRAY におけるジェノタイピング (ジェノタイプコール) の例

A および B はジェノタイピング成功例、C および D は不成功例。各色は自動でコールされたホモ接合 (オレンジあるいは水色) とヘテロ接合 (緑) を表す。NTC (ピンク) はネガティブコントロール。3 つのジェノタイプのうち (2 つのホモ接合と 1 つのヘテロ接合)、NTC がコールされず、ホモ接合は横軸あるいは縦軸に沿って、ヘテロ接合は対角線上にプロットされればジェノタイピング成功。C および D では、ジェノタイプコールされたがホモ接合とヘテロ接合の区別をつけにくい個体が多いため (赤で囲った個体)、これらのプライマーセットはマーカーとして使えない。

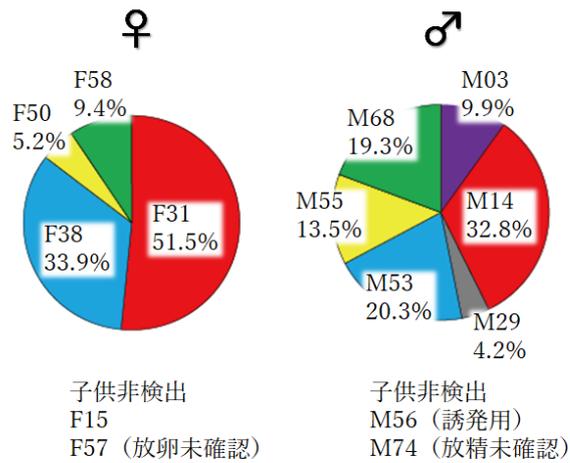


図 3. 各親候補個体が残した子供の数の割合

雌親の 2 個体 (F15 と F57) の子供は検出されなかったが、F50 については放卵も確認されなかった。誘発用の M56 および放精未確認の雄親 M74 の子供も検出されなかった。

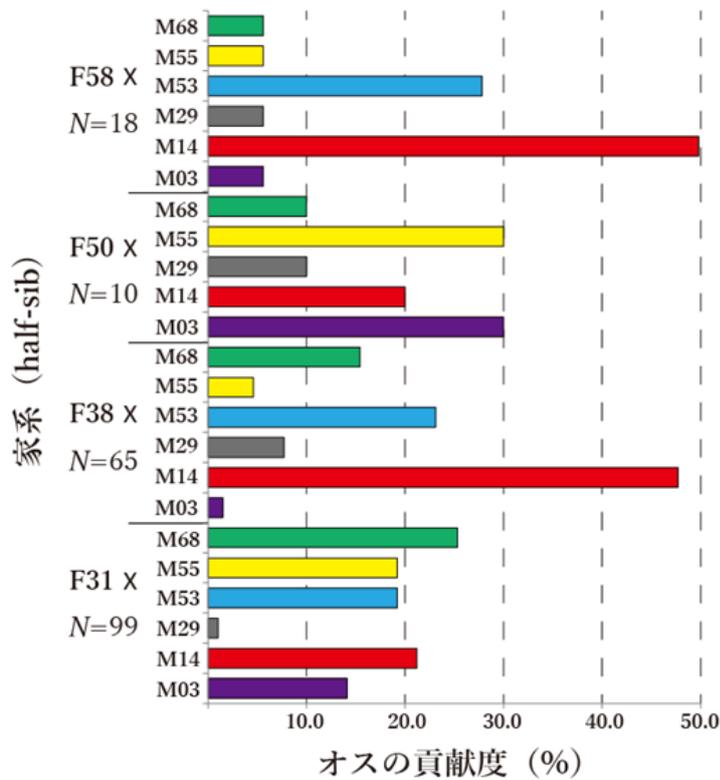


図 4. 雌親・雄親の交配組合せ

各雌親が残した子供全体 (N) のうち、各雄親が残した子供の数の割合 (横軸) を示す。雄親 M53 は、雄親の中では 2 番目に多く子供を残していたにも関わらず (図 3)、雌親 F50 との間でのみ子供を残していなかった。

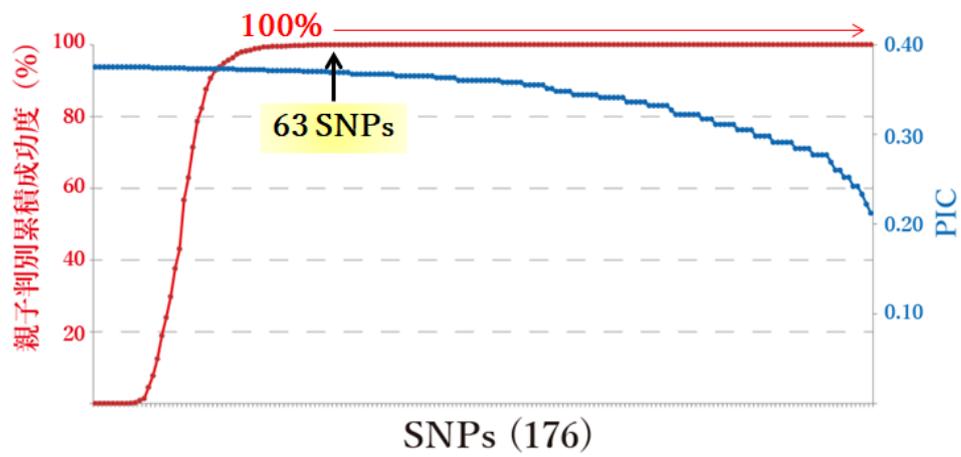


図 5. 親子判別シミュレーション結果

横軸は SNP マーカー (計 176 個)、赤 (左軸) が親子判別成功率 (%)、青 (右軸) が PIC。最低 63 個の SNP マーカーを用いることにより、完全な親子判別が可能であった。

令和 2 年度

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

さけ・ます等栽培対象資源対策共同研究機関
さけ・ますふ化放流抜本対策グループ

(地独)北海道立総合研究機構
岩手県水産技術センター

(一社)十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会
(一社)渡島管内さけ・ます増殖事業協会
(一社)日高管内さけ・ます増殖事業協会
(一社)日本海さけ・ます増殖事業協会
(一社)根室管内さけ・ます増殖事業協会
(一社)全国さけ・ます増殖振興会

山形県

富山県

(大)北海道大学大学院水産科学研究院
(学)北里研究所
(研)水産研究・教育機構

令和 3 年 3 月

令和2年度さけ・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

目次

序章	1
第1章 調査結果	2
1. 河川内及び沿岸での減耗回避技術開発及び増殖技術の高度化	2
(1) 健苗育成技術開発	2
① 油脂添加による健苗性向上試験	2
② 健苗育成技術開発試験1	7
③ 健苗育成技術開発試験2	23
④ 海水適応能試験	27
(2) 放流手法技術開発	31
① 北海道における輸送放流、海中飼育放流試験	31
② 岩手県山田湾海中飼育放流試験、沿岸環境・幼稚魚追跡調査	37
(3) 沿岸環境・幼稚魚追跡調査	42
① 北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査 (厚田、昆布森、えりも以西・以東定置網、宗谷海峡)	42
② 北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査 (道南太平洋、道東太平洋、根室、日本海、太平洋・根室海峡・オホーツク沖合)	94
③ サケ幼稚魚回遊モデル	115
④ 北海道における回遊経路追跡用標識稚魚の生産	125
⑤ 山形県における沿岸環境・幼稚魚追跡調査	136
(4) 親魚耳石標識確認調査	145
2. 効率的で持続的なふ化放流事業の構築に向けた検討及び技術開発	151
(1) ふ化放流コスト実態・統計調査	151
(2) 省コストふ化放流技術開発	158
① 本州日本海沿岸におけるサケ省コストふ化放流技術開発試験	158
② 本州日本海沿岸におけるサクラマス省コストふ化放流技術開発試験	165
3. 事業検討協議会	169
(1) 事業検討協議会	169
(2) 普及部会	172
第2章 成果の要約	181

序 章

我が国のサケの来遊数(沿岸漁獲数と河川捕獲数の合計)は、1960年代後半の約500万尾から1990年には6,000万尾を超えて30年間で10倍以上に増加した。このように来遊資源が飛躍的に増加したのは、給餌・適期放流(給餌して大型に育てたサケ稚魚を、沿岸域の水温が上昇して餌生物の生産が高くなった時期に放流すること)の実践や、1976/77年のレジームシフトに伴う海洋環境の好転が影響したと言われている(Mayama 1985, Kaeriyama 1998)。1990年代以降の来遊数は4,400万~8,900万尾と年変動が大きく、2010年(平成22年)漁期以降は来遊数が4,000万~5,000万尾前半の水準で推移するようになった。2016年(平成28年)漁期~2019年(令和元年)漁期は全国で2,000万~3,200万尾とさらに大きく下回る来遊状況となっており、1970年以降の来遊状況からみた場合、現在の資源水準は低位に位置する。2020年(令和2年)漁期の来遊数は2021年1月31日現在で約2,000万尾である。このため、最近5か年の漁期においては人工ふ化放流用の種卵確保も困難になってきた。このような状況を受け、水産庁では太平洋サケ資源回復調査事業およびその後継事業であるサケ資源回帰率向上調査事業を実施し、「太平洋沿岸におけるサケ資源量減少は幼稚魚が沿岸からオホーツク海に至るまでの初期減耗が大きな要因である」および「近年のサケ来遊数の低下は放流からオホーツク海に至るまでの累積的減耗が大きな要因である」という作業仮説に基づいた調査事業を展開してきた。これらの事業の成果として、本州太平洋側やえりも以東海区で放流されたサケも春季の一時期にえりも以西海域に滞泳し、北海道太平洋側沿岸における春季の沿岸親潮の消長や水温の昇降パターンが滞泳するサケ稚魚の生残に大きな影響を与えていること、一時期懸念されたスケトウダラ等の接岸による被食死亡の増大は年級豊度を左右する要因とはならないことが解明され、ふ化場から河口までの距離が長い河川においては放流されたサケ稚魚が長期に亘って河川に滞留し、その間の水温や餌環境などが豊度に影響を与えている可能性が示唆された。

水産庁より本事業「さけ・ます等栽培対象資源対策事業」の募集が行われ、関係する試験研究機関、大学およびふ化放流事業を実施している団体が共同研究機関「さけ・ます等栽培対象資源対策共同研究機関」を結成して本事業を受託した。

本事業では、先行事業の結果を受け、健康性の高いさけ・ます種苗を育成するための増殖技術の高度化や放流後の河川や沿岸での減耗を回避するための技術開発等を実施する。これまでの調査研究により「近年のサケ来遊数の低下は放流からオホーツク海に至るまでの累積的減耗が大きな要因である」ことが示されてきたことから、サケ稚魚放流直後の河川における減耗を回避するための下流域への輸送放流や海中飼育放流の効果の検証、人工ふ化放流事業により生産された稚魚の健苗性評価手法と健苗育成技術等の開発、人工ふ化放流事業の省コスト化等によりさけ・ます増殖技術の高度化を図った。また、放流されたサケの回帰率向上を図るため、これまで実施してきた北海道や本州太平洋側に加え本州日本海側など北日本全地域においてモデル河川と沿岸調査水域を設定し、近年変化しつつある海洋環境下における地域ごとの放流適期適サイズの見直しや検証のために、幼稚魚の生残に及ぼす環境要因に関する調査を実施した。また、主に本州域において技術普及のための会議を開催し、さけ・ます人工ふ化放流事業現場への迅速な研究開発成果の普及を図った。

本事業の実施に当たり多大な協力をいただいた(公社)北海道さけ・ます増殖事業協会、(一社)岩手県さけ・ます増殖協会、下安家漁業協同組合および宮古漁業協同組合の方々に厚くお礼申し上げる。

共同研究機関 さけ・ますグループ研究総括

(研)水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部長 福若 雅章

第1章 調査結果

1. 河川内及び沿岸での減耗回避技術開発及び増殖技術の高度化

(1) 健苗育成技術開発

① 油脂添加による健苗性向上試験

実施機関及び担当者：

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部： 石田良太郎、神力義仁、實吉隼人、虎尾充、渡辺智治、小亀友也

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 道東センター： 小山達也、橋本龍治

渡島管内さけ・ます増殖事業協会： 柳元孝二、鈴木慎、中村昌睦、花田医

十勝・釧路管内さけ・ます増殖事業協会： 成田伝彦、新出幸哉、林紀幸、佐藤友春、外崎裕太、鈴木名啓介

【目的】

放流後の稚魚期の生残率を高め、その後の回帰率を向上させるために、放流するサケ稚魚の健苗性を高めることが重要と考えられる。本試験ではサケ稚魚に油脂添加した餌料を与え、成長や遊泳力、栄養状態等への効果を評価する。

【方法】

渡島管内と釧路管内のふ化場において油脂添加した餌料を給餌し、健苗性の指標について対照群と比較し、その効果を検証した。

渡島管内では 2019 年 11 月 11 日と 12 日の知内川採卵群を対照群と油脂添加群(以下、油脂群)に設定し、発眼卵期に耳石標識を施して区別した。知内ふ化場において卵の管理と稚魚の飼育を行った。釧路管内では 2019 年 9 月 18 日の釧路川採卵群を対照群と油脂群に分けて耳石標識を施し、釧路川の芦別ふ化場において卵の管理と稚魚の飼育を行った。両ふ化場ともに油脂群には配合餌料に亜麻仁油を主成分とする油脂(サーモンリキッド MM)を給餌量の 2%添加して飼育を行った。知内ふ化場では、2020 年 3 月 13 日に対照群、3 月 16 日に油脂群の飼育を開始し、油脂群には飼育開始から餌料への油脂添加を行った(表 1)。4 月 17 日に油脂群 1,425 千尾、4 月 25 日に対照群 1,319 千尾を知内川へ放流した。当初、両群ともに 4 月中旬の同日に放流する計画だったが、放流前に原虫の寄生が確認され、寄生量の多い対照群については食酢浴による駆虫を行い、稚魚の回復を待った。芦別ふ化場では 2020 年 1 月 27 日に両群の飼育を開始し、油脂群では飼育開始から油脂添加した餌料を与えた。3 月 27 日に油脂群 1,344 千尾、対照群 1,344 千尾を釧路川へ放流した。

両ふ化場ともに放流の前に健苗性を評価するため、体サイズ、原虫の寄生量、栄養状態、遊泳力、血液性状等の測定を行った。

原虫の寄生量は、各群 10 尾の稚魚を個別に麻酔剤溶液に 10 分間浸漬して原虫を脱落させ、魚体を取り出して体重を測定した後、溶液に含まれるトリコジナを計数し、溶液を遠心分離して沈殿物からイクチオポドの遺伝子を抽出し、PCR により定量した。

栄養状態は各群 30 尾を冷凍し、体長と体重を測定した後、肝臓中のグリコーゲン含量と筋肉中のトリグリセリド含量を市販の測定キットを用いて測定した。分析に使用した肝臓と筋肉の重量でそれぞれの含量を除いて組織重量あたりの含量で示した。

遊泳力は大熊ら(1998)に従い、スタミナトンネルを用いて各群 10 尾の瞬発遊泳速度を測定

した後、体長と体重を測定した。

血液性状は高濃度海水への浸漬による負荷を与えた後の血中グルコース量を健苗性の指標として測定した。淡水、人工海水により作成した 33psu と 42psu の海水、各 20L の計 3 区に各群 30 尾を投入して 24 時間後に生残した個体数を計数し、生残した稚魚のうち 12 尾について体重を測定した後、尾柄部を切断して血液を採取し、簡易血糖測定器により血中グルコース量を測定した。

また、油脂添加による飢餓耐性への効果を調べるため、放流直前に知内ふ化場の稚魚はさけます・内水面水産試験場(恵庭市)に、芦別ふ化場の稚魚はさけます・内水面水産試験場道東センター(中標津町)に輸送し、魚体測定をした後に各群 60L 水槽に入れ、給餌をせず淡水のかけ流しで飼育を行い、斃死魚を毎日計数した。

【結果】

知内ふ化場では上記の通り油脂群を 4 月 17 日に、対照群を 4 月 25 日に知内川へ放流し、放流時の尾叉長と体重の平均値は油脂群が 5.5cm、1.23g、対照群が 5.9cm、1.40g であった。油脂群の油脂添加期間は 29 日間であった。芦別ふ化場では両群ともに 3 月 27 日に釧路川へ放流し、放流時の尾叉長と体重の平均値は油脂群が 5.8cm、1.60g、対照群が 5.8cm、1.63g であった。油脂群の油脂添加期間は 53 日間であった(表 1)。知内ふ化場では油脂群と対照群の放流日が異なったが、健苗性のサンプリングや遊泳力試験は 4 月中旬の同日に実施した。

原虫の寄生は試験開始前には両ふ化場の両群いずれにおいても観察されなかったが、知内ふ化場では放流前に両群でイクチオボドの寄生が確認され、陽性率は油脂群で 30%、対照群で 100%であった。

栄養状態の指標は、知内ふ化場では肝臓中の平均グリコーゲン含量は油脂群で 0.90%、対照群で 0.31%、筋肉中の平均トリグリセリド含量はそれぞれ 1.53%と 1.35%で、いずれも油脂群が有意に高い値を示した(t 検定、 $p < 0.05$) (図 1)。芦別ふ化場では平均グリコーゲン含量が油脂群で 0.77%、対照群で 1.27%、平均トリグリセリド含量はそれぞれ 1.16%と 0.72%であった(図 2)。芦別ふ化場ではトリグリセリドにおいて油脂群が有意に高い値を示した(t 検定、 $p < 0.05$)。芦別ふ化場は 2019 年の試験でも油脂群のトリグリセリド含量が有意に高い結果を示した。亜麻仁油の添加はトリグリセリド含量を向上させる可能性が示唆された。

遊泳力は、瞬発遊泳速度の尾叉長比で示した。知内ふ化場は、油脂群の平均値と標準偏差は 9.1 ± 3.3 FL/s、対照群が 8.4 ± 1.7 FL/s となり、有意な差はみられなかった。各群の測定個体の平均尾叉長と標準偏差は、油脂群が 5.3 ± 2.0 cm、対照群が 5.4 ± 2.3 cm であった(図 3)。芦別ふ化場では油脂群で 17.0 ± 1.8 FL/s、対照群で 17.7 ± 1.8 FL/s で差はみられなかった。平均尾叉長は油脂群で 5.6 ± 3.5 cm、対照群で 5.7 ± 3.1 cm であった。2019 年も瞬発遊泳速度の向上はみられなかった。

血液性状の測定のために稚魚を海水に投入したところ、知内ふ化場で 42psu 区に投入した油脂群のうち 4 尾が 24 時間後に斃死した。芦別ふ化場では全て生残した。生残した稚魚の平均血中グルコース量は、知内ふ化場では油脂群で淡水区 75.4mg/dL、33psu 区 79.6mg/dL、42psu 区 162.0mg/dL、対照群では順に 83.5mg/dL、69.9mg/dL、120.5mg/dL、芦別ふ化場では油脂群で順に 84.1mg/dL、64.0mg/dL、87.8mg/dL、対照群で 68.9mg/dL、62.4mg/dL、94.8mg/dL であった(図 4)。各試験区で群間の違いはみられなかったが、両ふ化場ともに 42psu 区の血中グルコース量は他の試験区に比べて上昇する傾向がみられた。亜麻仁油の添加によって、ストレスの抑制効果は認められなかったが、高濃度海水への浸漬では血中グルコース量の上昇が確認され、健苗性の指標となる可能性が示された。

飢餓耐性の試験は、知内ふ化場では油脂群は試験開始 16 日目までに、対照群は 21 日目までに半数が斃死した。(図 5)。試験開始時の平均肥満度は、油脂群が 6.04、対照群が 6.29

であった。芦別ふ化場では油脂群は試験開始 62 日、対照群は 58 日で半数が斃死した。75 日で試験を終え、この時の生残率は油脂群で 10.0%、対照群で 1.7%であった(図 5)。知内ふ化場は 2019 年の試験では対照群が 23 日で半数斃死したのに対し、同時点の油脂群は 9 割が生存し、飢餓耐性の向上がみられていた。2020 年は原虫の寄生が影響し、飢餓耐性が低下したのかもしれない。一方で芦別ふ化場は非常に高い飢餓耐性を示した。

以上のように、亜麻仁油の添加によって、稚魚の栄養状態の向上と飢餓耐性の向上が示された。

表 1 標識放流群の採卵履歴と生産予定

ふ化場	試験群	採卵月日	飼育開始	放流月日	油脂 添加開始	油脂 添加日数	体長 (cm)	体重 (g)	放流数 (千尾)	標識 コード
知内	油脂添加	2019/11/12	3/16	4/17	3/16	29	5.5	1.23	1,425	2-2,3H
	対照	2019/11/11	3/13	4/25	—	—	5.9	1.4	1,319	2,3-2H
芦別	油脂添加	2019/9/18	1/27	3/27	1/27	53	5.8	1.6	1,344	2n-2n,2H
	対照				—	—	5.8	1.63	1,344	2n,2n-2H

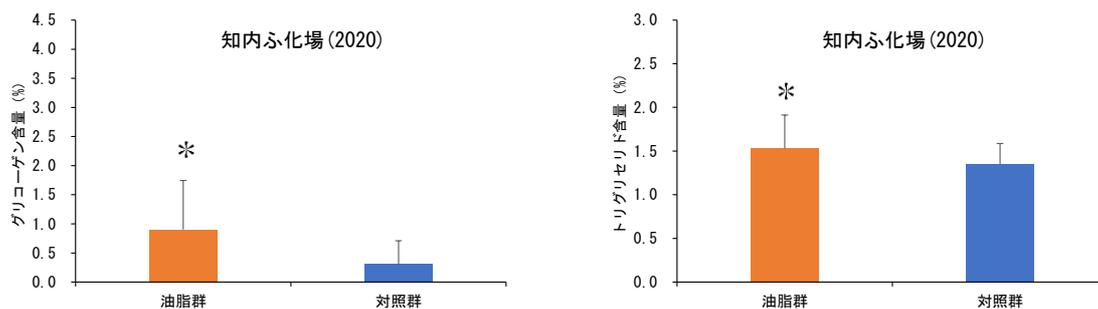


図 1 知内ふ化場における放流前の稚魚のグリコーゲン含量(左図)とトリグリセリド含量(右図) (各群 30 尾を測定 バーは標準偏差 * は有意差あり $p < 0.05$)

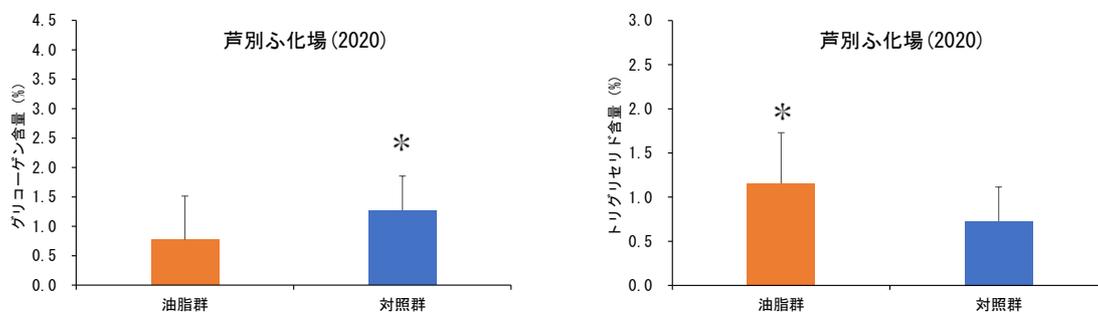


図 2 芦別ふ化場における放流前の稚魚のグリコーゲン含量(左図)とトリグリセリド含量(右図) (各群 30 尾を測定 バーは標準偏差 * は有意差あり $p < 0.05$)

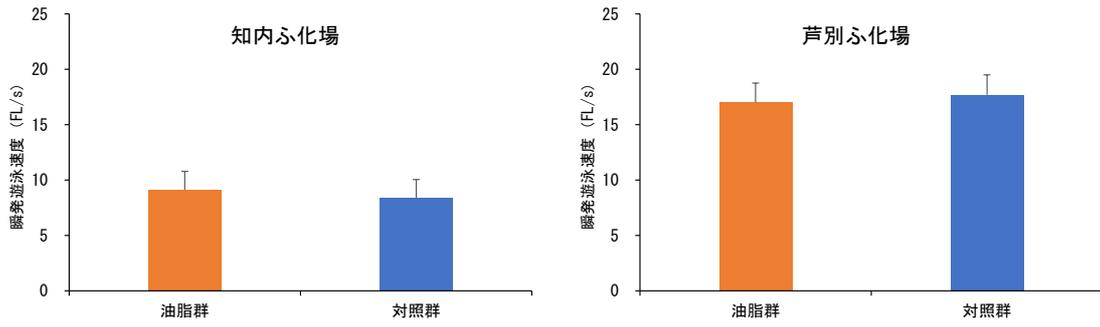


図3 放流前の瞬発遊泳速度（各群 10尾を測定 バーは標準偏差）

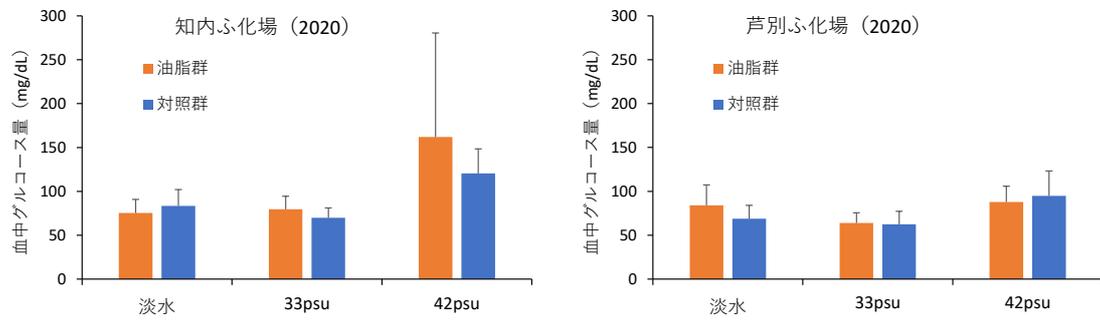


図4 放流前の血中グルコース量（バーは標準偏差）

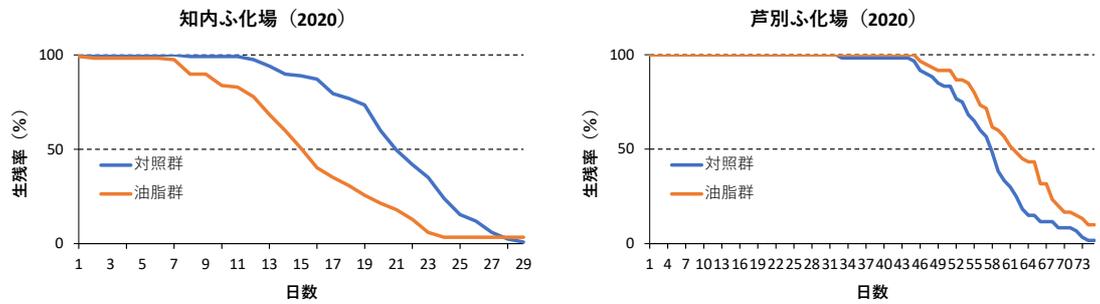


図5 飢餓耐性試験における生存率の推移

② 健苗育成技術開発試験1

実施機関及び担当者:

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部

事業課: 吉光昇二、戸田修一、桑木基靖、楠茂恵一、宮内康行、上田周典、荒内学

技術課: 阿部邦夫、高橋昌也、福澤博明、山谷和幸、江田幸玄

斜里事業所: 小軽米成人、羅津三則、大橋亮介

伊茶仁事業所: 栗林誠、永尾桃子

鶴居事業所: 吉野州正、渡邊勝亮、小野ゆい

天塩事業所: 荒内勉、平林幸弘、今井謙吾

静内事業所: 大貫努、一家秀嘉

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部: 鈴木健吾、川名守彦、伴真俊、大迫典久、矢野 豊

I. さけます事業所において実施する飼育試験

i. 飼育密度に関する試験

【目的】

飼育密度の違いがサケ稚魚の成育におよぼす影響について検証し、水産庁補助事業(さけ・ます放流体制緊急転換事業(令和元年度~))にて民間増殖団体が行う低密度飼育実証放流の取組みとあわせ、増殖技術の高度化に資する。

【方法】

2019 年級のサケ卵を対象に飼育条件の異なる水産研究・教育機構の道内 5 カ所のさけます事業所(図 1-1 及び表 1-1、以降は「さけます」を省略)において、通常飼育密度(15~20 kg/m³)に対して 2~2.5 割の低密度及び高密度の試験区を設定し、比較試験を実施した。密度の設定について試験期間中は設定した密度上限を常に維持するものではなく、成長が進み密度上限に達した場合に調整放流を行い上限を維持する方法、もしくは上限に達した時点で試験終了とした。試験期間中の稚魚の成長に関するデータの記録、稚魚のコンディション及び魚病発生の有無等を記録した。

成長に関するデータについて、事業所ごとに試験に用いた稚魚の大きさ、実施期間が異なるため、全事業所の統一的な指標として試験期間中の「餌料効率」を用いて比較を行った。

【結果】

試験卵は 2019 年 10 月上旬から 11 月中旬に採卵し、飼育密度に関する試験は 2020 年 2 月から 6 月にかけて実施した(表 1-2~1-6)。稚魚の体重は試験開始時が 0.43~0.61g/尾、試験は 27~54 日間実施し、試験終了時の体重は 1.04~1.83g/尾となった。

試験期間中における「餌料効率」の 5 事業所の平均は通常区が 105.0±7.8% (n=5)、低密度区が 109.0±10.6% (n=7)、高密度区が 101.8±8.1% (n=5)となり、通常密度区と低密度区及び高密度区で有意な差は見られなかった(U 検定、P>0.05)。

なお、試験期間中、伊茶仁と斜里事業所において原虫症や鰓病の発症が確認されたが、軽微な段階で適正に処置を行ったため、成長等への影響は認められず試験への影響はないと考えられた。他の事業所においても試験の結果に影響を及ぼすような支障は確認されなかった。

5 事業所分のデータをまとめて比較を行った結果、密度の違いによる有意な成長の差は見られなかった。ただ、個別の事業所では体重を用いて比較できたものがあり、天塩事業所では通常区より低密度区の成長が良い(t検定、P<0.05)ことや、静内事業所では高密度区より通

常区及び低密度区の方が成長が良い(t検定、 $P < 0.05$)という結果が得られた。その一方で斜里事業所においては低密度区及び高密度区よりも通常区の成長が良い(t検定、 $P < 0.05$)という想定と反対の結果も得られた。

2021年春期にも2020年級のサケ卵を確保して、同試験を5事業所で実施しており(表1-7)、データを蓄積してさらなる検討を進めたい。

ii. 給餌方法等に関する試験

【目的】

給餌回数、撒布方法、配合飼料成分等の違いによる、成長差、作業量等について把握し、より効率的で高成長が期待できる給餌方法等を検証する。

【方法】

2019年級のサケ卵を対象に「飼育密度に関する試験」と同じ5事業所において、給餌に関する以下の5つの比較試験を実施した。

- ・給餌面積: 作業の効率化等を検討するため、飼育池全面に餌を散布する方法と、下流半面のみ集中的に餌を散布する方法を比較した。鶴居、天塩及び静内事業所で実施した。
 - ・給餌回数: 作業の効率化等を検討するため、1日分の餌量を複数回に分けて与える方法と、1回で全量を与える方法を比較した。伊茶仁事業所で実施した。
 - ・給餌方法: 作業の効率化等を検討するため、餌を柄杓で池に投げ入れる方法(撒き餌)と、柄杓を水面付近まで下げて餌を水面に浮かべる方法(浮き餌、餌が水面に浮いている時間が長い)を比較した。天塩事業所で実施した。
 - ・給餌率: 短期間での高成長化等を検討するため、飼育水温に応じた標準給餌率の量の餌を与える方法と、標準給餌率より多い給餌率の量を与える方法を比較した。斜里事業所において実施した。
 - ・餌の種類: 短期間での高成長化等を検討するため、事業所でサケ稚魚の飼育に通常使用される「DP 餌料」を与える方法と、高成長が期待できる「EP 餌料」を与える方法を比較した。斜里及び鶴居事業所で実施した。
- 記録するデータと比較方法は飼育密度に関する試験と同様とした。

【結果】

試験卵は2019年9月下旬から11月下旬に採卵し、給餌に関する試験は2020年2月から6月にかけて実施した(表I-8～I-12)。稚魚の体重は試験開始時が0.36～0.77g/尾、試験は9～70日間実施し、試験終了時の体重は0.72～2.33g/尾となった。

まず、給餌面積の比較には天塩と静内事業所で実施したデータを用いた。全面給餌区の餌料効率が $105.4 \pm 3.8\%$ ($n=4$)、下流半面給餌区が $104.4 \pm 3.8\%$ ($n=5$)となり、両者に有意な差は見られなかった(図I-3、U検定、 $P > 0.05$)。

給餌回数の比較は伊茶仁事業所のみで実施し、1日1回給餌区の餌料効率が $104.0 \pm 17.7\%$ ($n=6$)、1日複数回給餌区が $98.3 \pm 7.4\%$ ($n=6$)となり、両者に有意な差は見られなかった(図I-4、U検定、 $P > 0.05$)。

給餌方法の比較は天塩事業所のみで実施し、撒き餌区の餌料効率が $101.2 \pm 8.3\%$ ($n=2$)、浮き餌区が $103.9 \pm 10.8\%$ ($n=2$)となった(図I-5、データ数が少ないため検定なし)。なお、天塩事業所では2013年にも同様の給餌方法の比較を実施しており、その結果では両者に有意な差は見られていない。

給餌率の比較は斜里事業所のみで実施し、標準給餌率区の餌料効率が $109.2 \pm 5.8\%$ ($n=4$)、多めの給餌率区が $103.2 \pm 19.2\%$ ($n=4$)となり、両者に有意な差は見られなかった(図I-6、U検定、 $P > 0.05$)。ただし、4回の試験実施結果から標準給餌率区で餌料効率が100%を

下回ることはなかったが、多めの給餌率区では 4 回中 2 回で餌料効率が 100%を下回り、データのばらつきが見られている。

餌の種類比較は斜里と鶴居事業所で実施し、従来の DP 餌料区の餌料効率が $108.9 \pm 3.8\%$ (n=2)、EP 餌率区が $123.9 \pm 7.9\%$ (n=2)となっている(図 I-7、データが少ないため検定なし)。

なお、試験期間中、伊茶仁と斜里事業所において原虫症や鰓病の発症が確認されたが、軽微な段階で適正に処置を行ったため、成長等への影響は認められず試験への影響はないと考えられた。他の事業所においても試験の結果に影響を及ぼすような支障は確認されなかった。

給餌試験のうち、面積、回数、方法の比較結果では、比較した両者の成長に有意な差は見られていない。また、給餌率の比較では多めの給餌率では餌料効率が 100%を下回ることやばらつきも見られており、標準給餌率の量の餌を与える方法が望ましいと考えられた。これらのことから、現時点では池の下流側半面に 1 日 1 回、標準給餌率の量の餌を給餌する方法が、労力、時間及びコストを軽減できる方法として考えられる。作業の効率化や高成長を期待できる給餌方法を早期に確立していきたい。

2021 年春期にも 2020 年級のサケ卵を確保して、給餌に関する試験を 5 事業所で実施しており(表 I-13)、特に方法と餌の種類に関する試験については単年度ではデータ数が少なく、比較までは実施できていないため、引き続きデータを蓄積してさらなる検討を進めたい。



図 I-1. さけます事業所の位置図

表 I-1. 各事業所の飼育用水等の条件

事業所	飼育用水の種類	飼育水温	備考
斜里	湧水	約 8°C	
伊茶仁	井戸水+河川水	3~8°C	多少濁る
鶴居	井戸水	7.3~7.6°C	
天塩	井戸水+河川水	3~8°C	時期的に強い濁り
静内	井戸水	8~9°C	

表 I-2. 斜里事業所の飼育密度試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	体重 (g)			尾数 (千尾)	体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
通常区	C-1	3/4	252	0.49	4/10	37	251	1.25	38.3	480	0.66	2.8	184	104	7.1	18.2
高密度区	C-2	3/4	302	0.49	4/10	37	301	1.15	38.3	480	0.66	2.8	221	90	8.5	20.1
低密度区	C-3	3/4	202	0.49	4/10	37	201	1.15	38.3	480	0.66	2.8	147	91	5.7	13.4
低密度区	A-4	3/4	608	0.49	4/10	37	606	1.20	123.8	742	0.67	2.8	967	95	5.3	13.1
	B-2	3/4	687	0.49	4/10	37	681	1.20							6.0	14.7

表 I-3. 伊茶仁事業所の飼育密度試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	体重 (g)			尾数 (千尾)	体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
通常区	B-5	4/8	510	0.50	6/1	54	253	1.74	72.0	660-880	0.80-0.95	2.6-3.2	374	108	5.4	14.2
高密度区	B-4	4/8	638	0.50	6/1	54	305	1.78	72.0	660-880	0.80-0.95	2.6-3.2	454	112	6.6	17.5
低密度区	B-6	4/8	440	0.50	6/1	54	194	1.83	72.0	660-880	0.80-0.95	2.6-3.2	305	116	4.2	11.5

※調整放流分含む

表 I-4. 鶴居事業所の飼育密度試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	体重 (g)			尾数 (千尾)	体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
通常区	B-3	3/2	670	0.61	4/13	42	669	1.38	100.4	1,200	0.85	2.5	505	102	9.0	20.5
低密度区	ベニNo1	3/2	242	0.61	4/8	37	242	1.36	45.0	700	0.86	2.5	165	110	7.3	16.3
低密度区	B-4	3/2	543	0.61	4/6	35	543	1.29	100.4	1,200	0.85	2.5	338	109	7.3	15.5
高密度区	ベニNo2	3/2	357	0.61	4/13	42	357	1.39	45.0	700	0.86	2.5	269	104	10.8	24.5

表 I-5. 天塩事業所の飼育密度試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	体重 (g)			尾数 (千尾)	体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
高密度区	6	2/1	635	0.43	3/25	53	450	1.05	50.4	404-639	0.9-1.0	1.8-2.3	359	98	14.6	18.0
通常区	5	2/13	1,217	0.43	4/6	53	826	1.04	106.2	654-1199	0.7-0.9	1.8-2.3	664	95	14.1	14.7
低密度区	7	2/25	448	0.43	4/17	52	274	1.14	50.4	404-639	0.9-1.0	1.8-2.3	238	110	10.6	11.9

※調整放流分含む

表 I-6. 静内事業所の飼育密度試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	体重 (g)			尾数 (千尾)	体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
通常区	B-5	3/19	300	0.68	4/15	27	299	1.63	59.8	660	0.74	2.2-2.8	245	116	7.8	18.8
高密度区	B-6	3/19	360	0.68	4/15	27	359	1.5	59.8	660	0.74	2.2-2.8	281	105	9.4	20.7
低密度区	B-4	3/19	259	0.68	4/15	27	257	1.62	59.8	660	0.74	2.2-2.8	204	120	6.8	16.1
	B-3	3/19	259	0.68	4/15	27	258	1.62	59.8	660	0.74	2.2-2.8	203	120	6.8	16.1

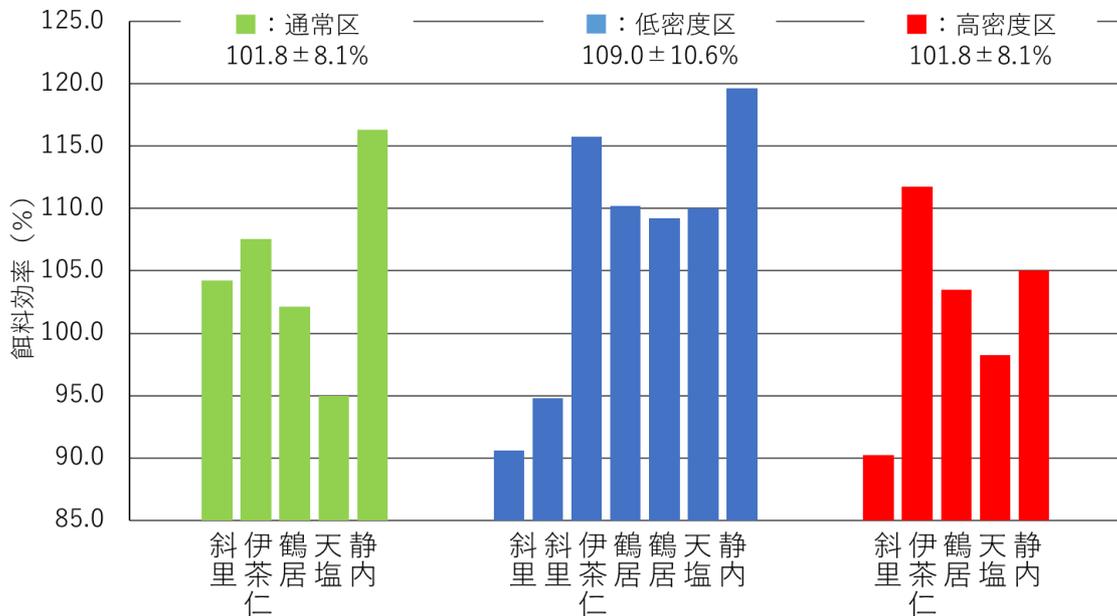


図 I-2. 通常区と低密度区及び高密度区の比較
(通常区と低密度区及び高密度区で有意差無し(U検定、P>0.05))

表 I-7. 2021 年に各事業所で実施している飼育密度試験(予定含む)

事業所※	試験卵採卵日	飼育試験時期	比較する飼育密度 (括弧内は飼育尾数)
斜里	12/3~15	5/上~下	通常密度 16kg/m ³ (820 千尾) 低密度 13kg/m ³ (940 千尾) 高密度 20 kg/m ³ (640 千尾)
伊茶仁	11/13	4/中~5/下	通常密度 16kg/m ³ (400 千尾) 低密度 13kg/m ³ (480 千尾) 高密度 20 kg/m ³ (320 千尾)
天塩	10/22~11/5	2/上~4/中	通常密度 15kg/m ³ (650 千尾) 低密度 12kg/m ³ (1,200 千尾) 高密度 18 kg/m ³ (450 千尾)
静内	10/28	3/下~4/中	通常密度 18kg/m ³ (300 千尾) 低密度 15kg/m ³ (520 千尾) 高密度 20 kg/m ³ (360 千尾)

※種卵不足のため、鶴居事業所で計画していた密度試験は中止

表 I-8. 斜里事業所の給餌試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (m ²)	水量 (l/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	魚体重 (g)			尾数 (千尾)	魚体重 (g)							開始 (kg/m ³)	終了 (kg/m ³)
2.8%給餌	A-2	3/4	789	0.39	3/31	27	785	0.72	124.6	742	0.67	2.8	232.0	110.5	5.5	10.1
3.2%給餌	A-3	3/4	786	0.39	3/31	27	783	0.72	124.6	742	0.67	3.2	277.0	92.6	5.5	10.1
DP	B-4	3/11	1,200	0.37	4/30	50	1,182	1.31	124.6	742	0.67	2.8	995.0	111.6	7.9	27.7
EP	B-3	3/11	1,196	0.37	4/30	50	1,179	1.37	124.6	742	0.67	2.8	997.0	118.3	7.8	28.9
2.8%給餌	B-1	5/1	635	0.77	5/10	9	632	1.04	124.6	742	0.67	2.8	155.0	110.5	8.7	11.7
3.2%給餌	B-2	5/1	645	0.77	5/10	9	644	1.13	124.6	742	0.67	3.2	183.0	126.6	8.8	13.0
2.8%給餌	C-4	5/1	997	0.58	5/10	9	990	0.77	127.1	742	0.67	2.8	183.0	101.0	10.1	13.3
3.2%給餌	C-5	5/1	998	0.58	5/10	9	985	0.77	127.1	742	0.67	3.2	214.0	83.4	10.1	13.2
3.6%給餌	A-3	5/1	811	0.40	5/10	9	811	0.60	123.8	742	0.67	3.6	139.0	114.8	5.9	8.7
3.8%給餌	A-2	5/1	811	0.40	5/10	9	810	0.60	123.8	742	0.67	3.8	295.0	110.3	5.9	8.8
3.8%給餌	A-4	5/1	811	0.40	5/10	9	811	0.60	123.8	742	0.67	3.8	295.0	110.3	5.9	8.8

表 I-9. 伊茶仁事業所の給餌試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (m ²)	水量 (l/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	魚体重 (g)			尾数 (千尾)	魚体重 (g)							開始 (kg/m ³)	終了 (kg/m ³)
1回給餌	B-9	3/18	544	0.49	4/10	23	544	0.78	72.0	660	0.80	2.0	207	131.2	9.7	15.5
2回給餌	A-7	3/18	521	0.48	5/11	54	309	1.38	72.0	660	0.80	2.0	441.5	110.2	9.1	15.6
1回給餌	A-10	3/18	482	0.45	5/16	59	325	1.54	72.0	660	0.80	2.5	520.5	109.2	7.9	18.3
2回給餌	A-9	3/18	437	0.45	5/26	69	292	1.90	72.0	660	0.80	2.5	596.5	101.6	7.2	20.3
1回給餌	B-7	3/18	531	0.47	5/21	64	351	2.03	72.0	660	0.80	2.5	623.5	115.7	9.1	26.0
2回給餌	A-6	3/2	588	0.38	5/11	70	300	1.54	72.0	660	0.80	2.5	512.5	89.6	8.2	16.9
1回給餌	A-8	3/11	568	0.38	5/16	66	336	1.63	72.0	660	0.80	2.7	577	91.9	7.9	20.0
3回給餌	B-10	4/3	626	0.37	6/4	62	431	1.58	72.0	660	0.80	2.7	662.5	91.7	8.5	24.9
1回給餌	B-1	4/17	685	0.40	6/5	49	538	1.39	72.0	660	0.80	2.7	550.5	89.8	10.0	27.3
2回給餌	B-2	4/17	563	0.37	6/5	49	494	1.36	72.0	660	0.80	2.7	517.5	98.4	7.6	24.6
1回給餌	B-8	4/10	515	0.37	5/16	36	514	1.00	72.0	660	0.80	2.7	280	86.5	7.0	18.8
2回給餌	B-3	4/17	537	0.37	6/10	54	535	1.39	72.0	660	0.80	2.7	537	98.4	7.3	27.2

表 I-10. 鶴居事業所の給餌試験結果(※)

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	魚体重 (g)			尾数 (千尾)	魚体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
下流半面	B-1	1/25	771	0.38	3/25	60	769	1.18	100.4	1,200	0.77	2.5	629.5	97.6	5.8	18.1
全面	B-2	1/25	771	0.38	3/25	60	770	1.38	100.4	1,200	0.77	2.5	629.5	122.3	5.8	21.2
全面	A-3	3/9	652	0.45	4/24	46	650	1.72	100.4	1,200	0.85	2.5	810.0	101.8	6.5	24.8
全面	ベニNo.3	3/9	280	0.45	4/24	46	280	1.63	45.0	700	0.86	2.5	267.5	123.5	6.2	22.5
下流半面	A-4	3/9	651	0.45	4/24	46	651	1.65	100.4	1,200	0.85	2.5	810.0	96.4	6.5	23.8
下流半面	ベニNo.4	3/9	280	0.45	4/24	46	280	1.61	45.0	700	0.86	2.5	267.5	121.4	6.2	22.3
DP	B-2	3/26	778	0.54	4/20	25	775	1.09	100.4	1,100	0.71	2.5	400.0	106.2	8.4	16.8
EP	B-1	3/26	777	0.54	4/20	25	775	1.21	100.4	1,100	0.71	2.5	400.0	129.5	8.4	18.7
下流半面	B-4	4/13	602	0.64	5/11	28	598	1.21	100.4	1,300	0.76	2.5	348.0	97.2	7.0	13.1
下流半面	ベニ1	4/13	250	0.64	5/7	24	250	1.29	45.0	1,300	1.31	2.5	165.5	98.2	6.5	13.0
全面	B-3	4/13	602	0.64	5/11	28	602	1.29	100.4	780	0.50	2.5	348.0	112.4	7.7	15.5
全面	ベニNo.2	4/13	250	0.64	5/7	24	250	1.34	45.0	780	0.87	2.5	165.5	105.7	7.1	14.9
下流半面	A-1	4/21	765	0.55	5/14	23	761	1.27	106.1	1,300	0.93	2.5	550.0	99.2	8.8	20.2
全面	A-2	4/21	765	0.55	5/14	23	760	1.30	106.1	1,300	0.93	2.5	550.0	103.1	8.8	20.7

※全面と下流半面撒きのデータについては、計画内容と実行面で齟齬が生じてしまったため、今回の比較からは除外

表 I-11. 天塩事業所の給餌試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	魚体重 (g)			尾数 (千尾)	魚体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
全面	1	1/6	349	0.48	2/14	39	349	1.06	50.4	284-525	0.7-1.1	1.8-2.8	201.0	100.5	10.1	17.9
下流半面	2	1/6	349	0.48	2/14	39	348	1.04	50.4	284-525	0.7-1.1	1.8-2.8	196.0	99.0	10.1	17.5
撒き餌	3	1/17	341	0.45	3/4	47	340	1.05	50.4	374-534	0.9-1.1	1.7-2.8	213.5	95.3	9.2	17.3
浮き餌	4	1/17	341	0.45	3/4	47	340	1.05	50.4	374-534	0.9-1.1	1.7-2.8	211.5	96.2	9.2	17.3
全面	1	3/13	351	0.44	4/26	44	350	1.28	50.4	280-610	0.8-1.0	2.4-3.0	275.5	106.6	9.3	21.7
下流半面	2	3/13	351	0.44	4/26	44	350	1.25	50.4	280-610	0.8-1.0	2.4-3.0	269.5	105.2	9.3	21.2
撒き餌	3	4/1	394	0.44	4/26	25	392	0.85	50.4	320-530	0.8-1.0	2.6-2.7	149.0	107.1	10.4	16.1
浮き餌	4	4/1	394	0.44	4/26	25	391	0.88	50.4	320-530	0.8-1.0	2.6-2.7	153.0	111.5	10.4	16.6

表 I-12. 静内事業所の給餌試験結果

区分	飼育池	試験開始日	開始		試験終了日	飼育期間	終了		飼育面積 (㎡)	水量 (ℓ/min)	流速 (cm/sec)	給餌率 (%)	給餌量 (kg)	餌料効率 (%)	密度	
			尾数 (千尾)	魚体重 (g)			尾数 (千尾)	魚体重 (g)							開始 (kg/㎡)	終了 (kg/㎡)
全面	C-3	3/2	727	0.36	4/27	56	717	1.87	142.76	1,725	1.34	2.2-2.8	1002.0	109.6	7.3	19.0
下流半面	C-4	3/26	810	0.38	5/24	59	800	2.33	142.76	1,380	1.07	2.2-2.8	1429.0	108.9	8.6	13.1
全面	A-5	3/12	1642	0.37	5/7	56	1616	1.89	59.84	880	0.89	2.2-2.8	2331.0	105.0	5.3	17.5
下流半面	A-2	3/24	537	0.37	5/16	53	583	1.74	59.84	880	0.89	2.2-2.8	2106.0	102.5	6.8	13.6
下流半面	A-1	4/2	502	0.37	5/25	53	496	1.92	59.84	880	0.89	2.2-2.8	719.0	106.6	6.4	16.4

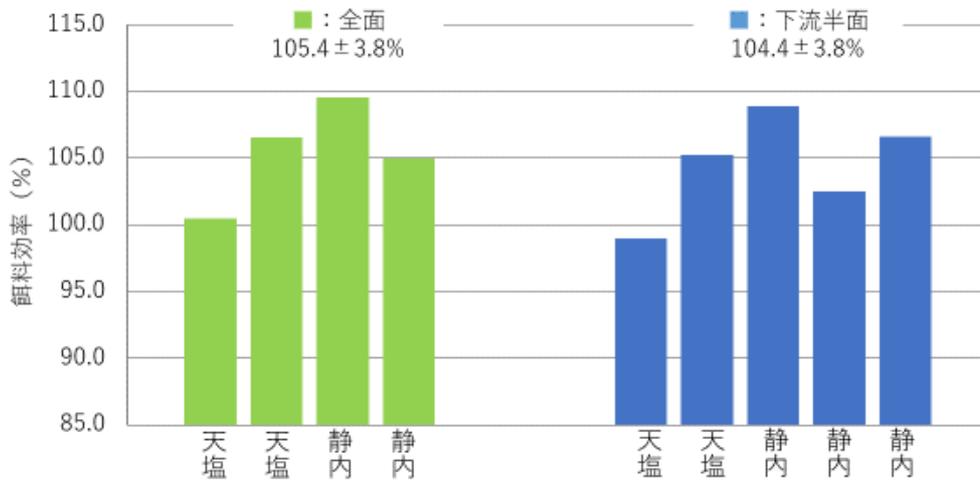


図 I-3. 全面給餌と下流半面給餌の比較(有意差無し(U検定、P>0.05))

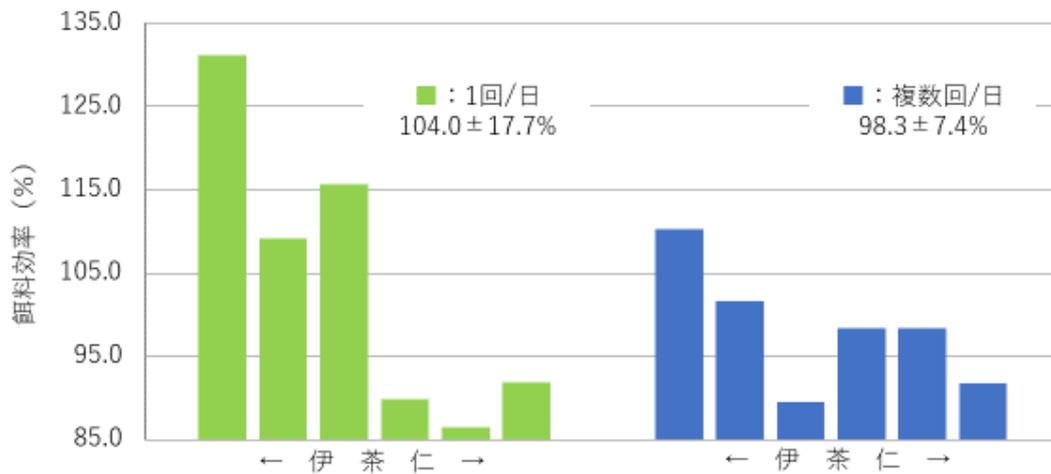


図 I-4. 1日1回給餌と複数回給餌の比較(有意差無し(U検定、P>0.05))

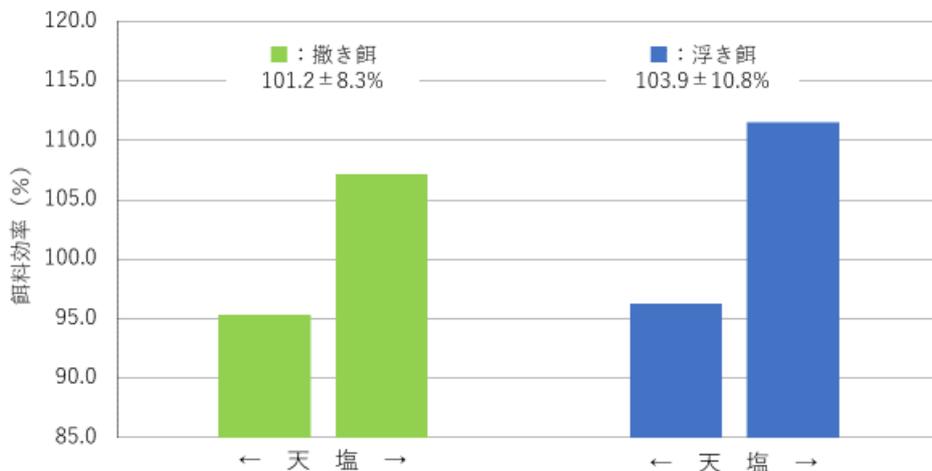


図 I-5. 給餌方法の違いによる比較(データ少数のため比較なし)

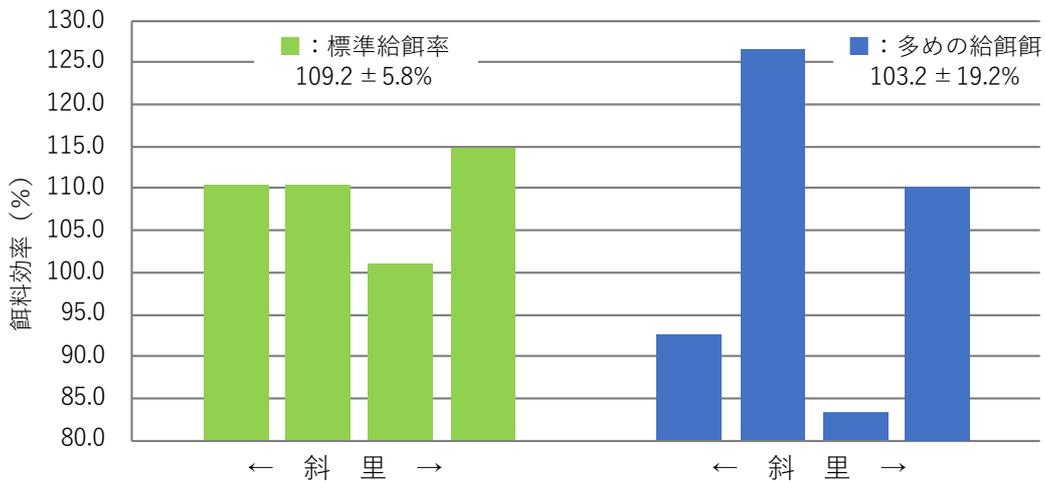


図 I-6. 給餌率の違いによる比較 (有意差無し(U 検定、 $P>0.05$))

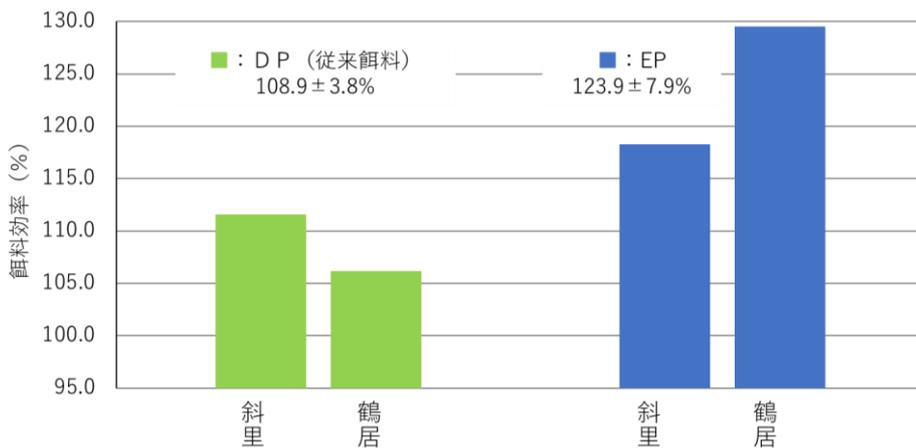


図 I-7. 餌の種類の違いによる比較 (データ少数のため比較なし)

表 I-13. 2021 年に各事業所で実施している給餌試験計画 (予定含む)

事業所	試験卵採卵日	飼育試験時期	比較する給餌方法 (括弧内は飼育尾数(千尾))
斜里	10/6~11/27	3/上~5/下	回数: 2 回給餌 (3,400) vs 3 回給餌 (3,400) 種類: DP (1,200) vs EP (1,200)
伊茶仁	9/24~11/24	2/上~5/上	回数: 1 回給餌 (2,500) vs 2 回給餌 (3,600)
鶴居	10/22~11/5	2/上~5/中	面積: 全面 (950) vs 下流半面 (1,080) 種類: DP (750) vs EP (750)
天塩	9/30~11/5	1/中~5/上	面積: 全面 (670) vs 下流半面 (670) 方法: 撒き餌 (680) vs 浮き餌 (680)
静内	10/9~11/24	3/上~5/中	面積: 全面 (2,300) vs 下流半面 (2,900)

II. 給餌方法の違いがサケ稚魚におよぼす影響に関する試験

【目的】

事業所によって様々な方法で行われている給餌方法の違いがサケ稚魚におよぼす影響について比較試験を行い、行動面からの健苗性評価指標を検討する。

【方法】

給餌方法の異なる 2 群でサケ稚魚を飼育し、放流サイズに成長した稚魚を一定期間水槽に収容して遊泳行動をビデオ撮影した。その際、鳥の模型などを用いて逃避行動をひき起こした場合の遊泳行動についても検討した。撮影した映像から、遊泳速度や成群性を簡便に判定するための映像資料の作成を試みた。同時に体成分の検査による健苗性指標との比較を行った。

【結果】

①2019 年級サケ稚魚の飼育状況

本試験に供試したサケ稚魚は、水産資源研究所さけます部門鶴居事業所において事業規模で行った給餌面積の異なる給餌方法の試験により生産した個体の一部である。採卵は 9 月中旬で通常の卵管理を行い、1 月中旬に浮上、1 月 25 日より全体で 154 万尾の稚魚について給餌飼育を開始した。使用した飼育池は主に屋外施設の B-1、B-2 飼育池でそれぞれ約 77 万尾を収容した。給餌開始の 1 月 20 日から 1 月 24 日の間は餌付けのため、屋内飼育地で北水研稚魚飼料 A 号を通常の散布方法で給餌した。1 月 25 から 26 日の間に、餌料の規格を北水研稚魚飼料 A 号から北水研稚魚飼料 B 号に切り替えるとともに給餌方法を池の下流側に一度に集中して給餌する方法(全面給餌区)と、数回に分けて池全体に均一にばらまく方法(下流半面給餌区)の 2 群に分けて飼育試験を開始した。1 月 27 日からは、屋外飼育池に稚魚を移送して 3 月 24 日まで飼育試験を継続した。飼育期間の水温は 7.4-7.5℃であった。両群の平均個体重量(水切り重量および 60 尾測定値平均重量)の推移を図 II-1 に示す。

実験に使用した試験群では、全面給餌区の餌料効率が 122.3%、下流半面給餌区が 97.8%となり、数回に分けて池全体に均一にばらまく給餌方法の方がやや餌料転換効率が高い結果となった。

②健苗性指標値

健苗性指標比較のための基礎資料として、2019 年級の行動観察試験に供試した鶴居事業所生産群のサケ稚魚の体成分分析等を行った。図 II-2 に体成分等の分析結果を示す。鶴居事業所生産群のサケ稚魚の体成分と、2018 年級の行動観察試験に供試した千歳事業所生産群のサケ稚魚の体成分(図 II-3)とを比較すると、肝臓グリコーゲンや脂質の含有量は鶴居事業所生産群でやや少なかった。一方、標準化遊泳速度はやや高い結果となった。

③行動観察試験

異なる給餌方法で飼育した稚魚を、川に見立てた水槽に収容し、行動のビデオ映像を撮影した。なお、逃避行動の刺激となる鳥の模型が、2 群の試験区の稚魚に同時に見える様にするため、水槽を縦に二つ並べた上を鳥の模型が通過する様にセッティングした。

撮影したビデオ映像を、流体解析ソフト FtrPIV(3.1.37.13)を用いて解析することにより、稚魚の遊泳速度を算出した。撮影したビデオ映像において水面への光の映り込みが少ない領域を選定して解析領域とし、逃避行動などがみられる映像を 2 秒間切り出して解析を行った。解析の条件設定としては、画像の時間間隔は 1/30 秒とし、領域を分割した各セルのサイズは複

数の条件を比較した結果 16pixel (実スケール約 4.5cm) 四方とした。図 II-4 に撮影した画像および解析に用いた反転画像の例を示す。なお、稚魚の動きはセルの画素パターンの移動に基づいて算出されるためセル毎の値として算出される。この場合、稚魚が写っていないセルでは遊泳速度が 0 となるため、遊泳速度が 0 となったセルを除いて解析を行った。各セルで算出された稚魚の遊泳速度について、通常遊泳時の頻度分布を給餌条件別に図 II-5 に、鳥の模型で脅した場合の頻度分布を給餌条件別に図 II-6 に示す。

安静状態では、稚魚の遊泳速度は毎秒 40~50mm 程度で毎秒 100mm を超えることはほとんどなかった。一方、鳥の模型で脅した場合は、毎秒 100mm 以上の遊泳速度が記録されたセルが増加しており、稚魚が逃避行動を取ったことがわかる。しかし、給餌方法の異なる 2 群間で、逃避行動時の遊泳速度の頻度分布に大きな違いは見られなかった。

一方で、稚魚の群に着目した場合、給餌方法の異なる 2 群間で魚群の形成状況に違いがあるように見受けられたため、魚群の大きさについての検討を行った。図 II-7 に、魚群サイズ測定の様式図を示す。魚群の大きさは、9 個の頂点を持つ多角形で囲んだ面積として、8 分間のビデオ画像を 1 秒間隔で測定した。通常遊泳時の魚群サイズの測定結果 2 例を図 II-8、鳥の模型で脅した場合の魚群サイズの測定結果 2 例を図 II-9 に示す。魚群サイズは、水槽を往復する行動に伴い周期的に変動していた。魚群の大きさは、おおむね下流半面給餌区の方が小さくなる傾向にあったが、通常遊泳時にはその差は小さかった。一方、鳥の模型によって脅し場合は、全面給餌区の魚群の方が、脅す前の魚群の大きさに早く戻る(早く広がる)場合が見られた。

Hasegawa et al. (2021)では、放流後のサケ稚魚が、河川内や沿岸で魚食性の魚に捕食される場合、小型個体の方が捕食されやすい傾向にあることが示されており、その理由として小型個体の逃避能力が群の中で相対的に劣るためと考察している。一方で、稚魚が群を作らずにばらばらに捕食されるような状況では、捕食者と被食者(サケ稚魚)の運動能力の差が非常に大きい場合、稚魚のわずかな体長差で小型個体が捕食されやすくなるとは考えにくい。このため、魚群を形成することは大型で運動能力の高い稚魚を選択的に生残させる効果を持つと想定される。したがって、給餌方法によって魚群の形成力を高めることができれば、放流後の初期減耗の過程において沿岸滞泳期以降も生残しやすいと考えられる大型の稚魚が残りやすい可能性があり、サケ稚魚の生残率向上のための技術開発項目の一つになると考えられる。

④2020 年級行動試験供試稚魚の生産

水産資源研究所さけます部門静内事業所において給餌方法の異なる飼育試験を行う計画とし、施設全体の予定を調整した結果 2021 年 5 月上旬放流群を用いて行動観察試験を行う事とした。2 月末現在で飼育を継続中である。放流前に、一部の稚魚を FRP 水槽に移してビデオ撮影を含む行動観察および体成分測定用のサンプル採取を行う予定となっている。

【引用文献】

Hasegawa et al. 2021. Small biased body size of salmon fry preyed upon by piscivorous fish in riverine and marine habitats. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjfas-2020-0339>. (Open access).

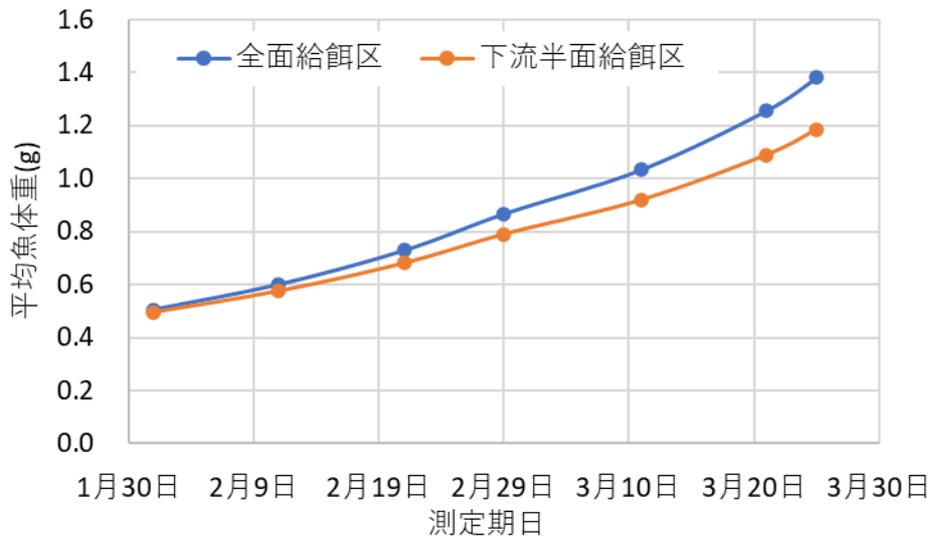


図 II-1. 平均魚体重の推移

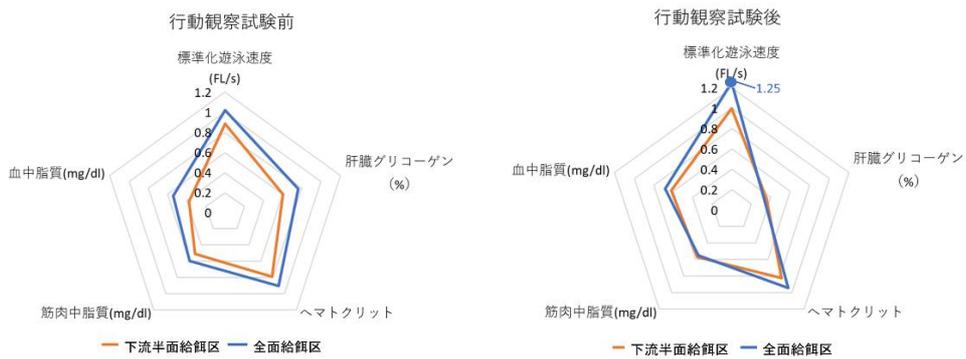


図 II-2. 行動観察試験に供試した鶴居事業所生産群のサケ稚魚の体成分

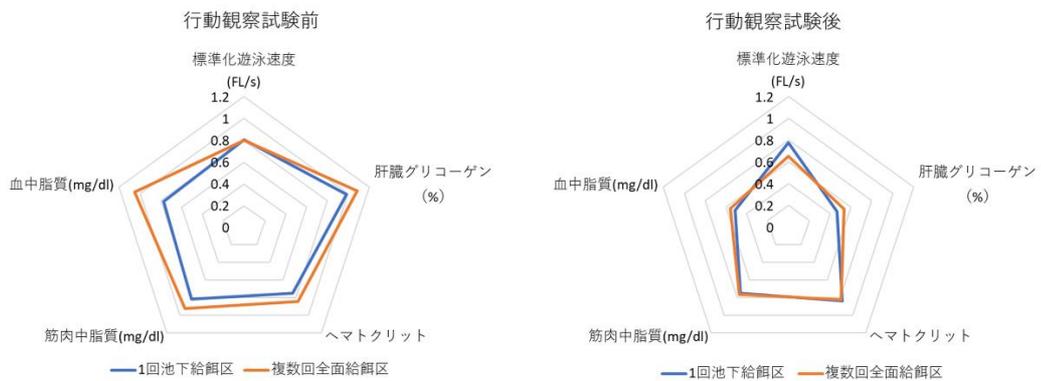


図 II-3. 2018年級の行動観察試験に供試した千歳事業所生産群のサケ稚魚の体成分

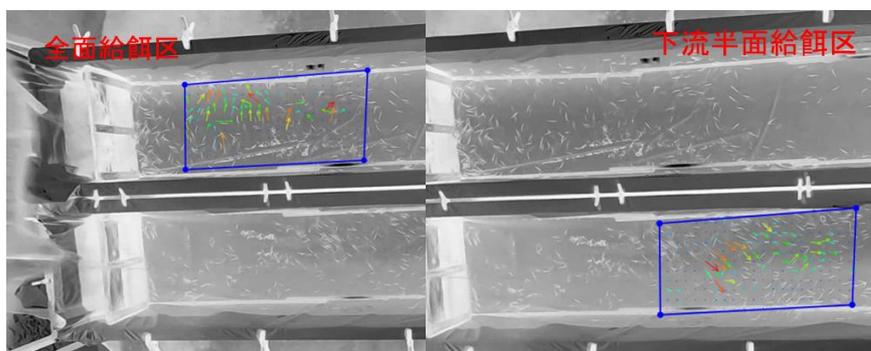


図 II-4. 撮影した画像の例(上)と解析に用いた反転画像(下)
 青色の線で囲んだ領域を解析領域とした。緑～赤の小さな矢印は、算出された速度ベクトルを示す。画像の左側から鳥の模型を移動させて、稚魚の逃避行動をひき起した。

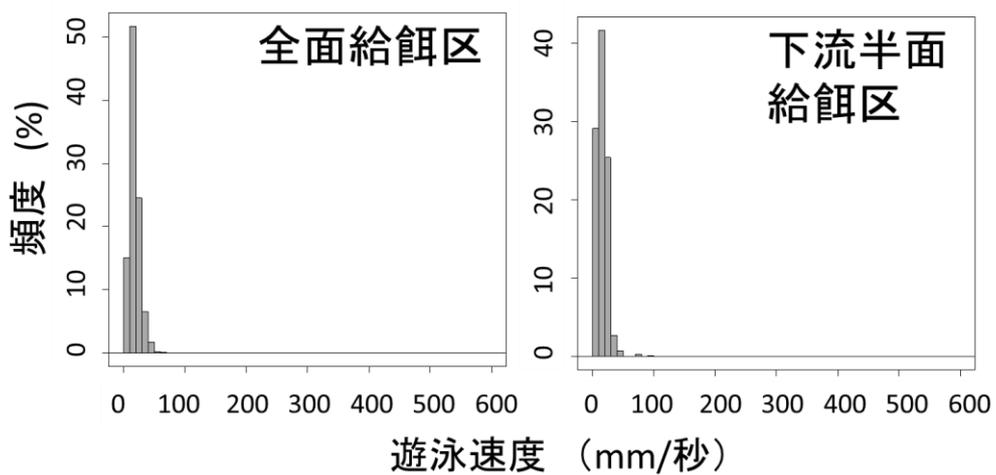


図 II-5. 給餌方法の異なる2群間での遊泳速度頻度分布の比較(通常遊泳時)

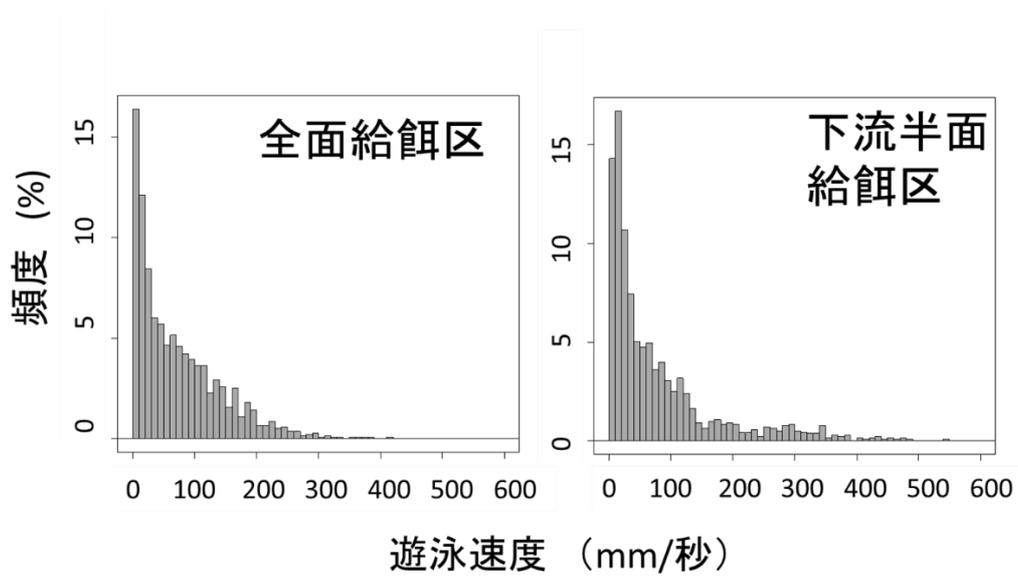


図 II-6. 給餌方法の異なる 2 群間での遊泳速度頻度分布の比較(鳥の模型で脅した場合)

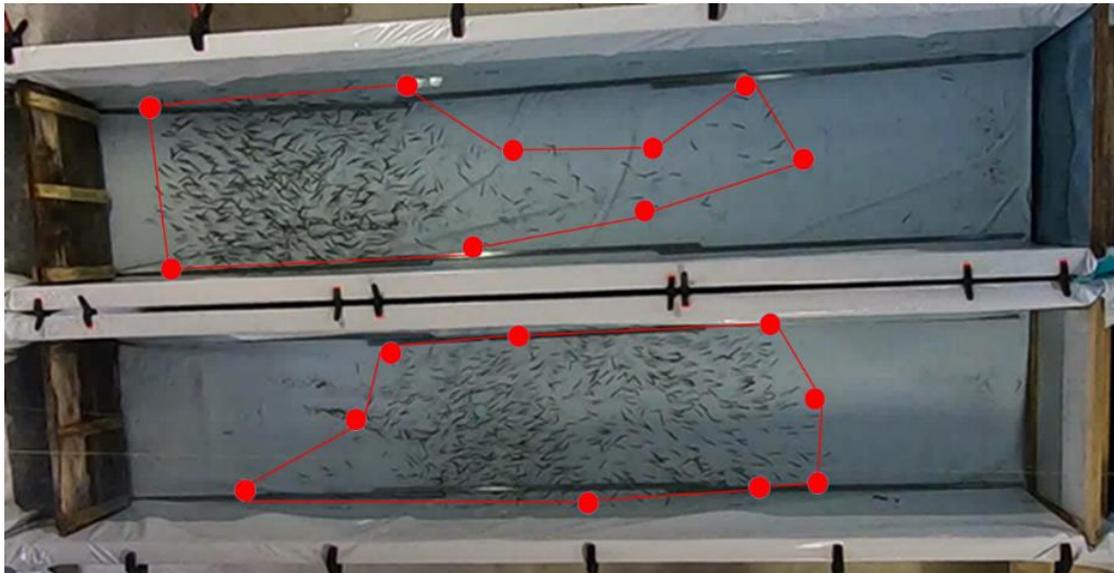


図 II-7. 魚群サイズの測定方法模式図

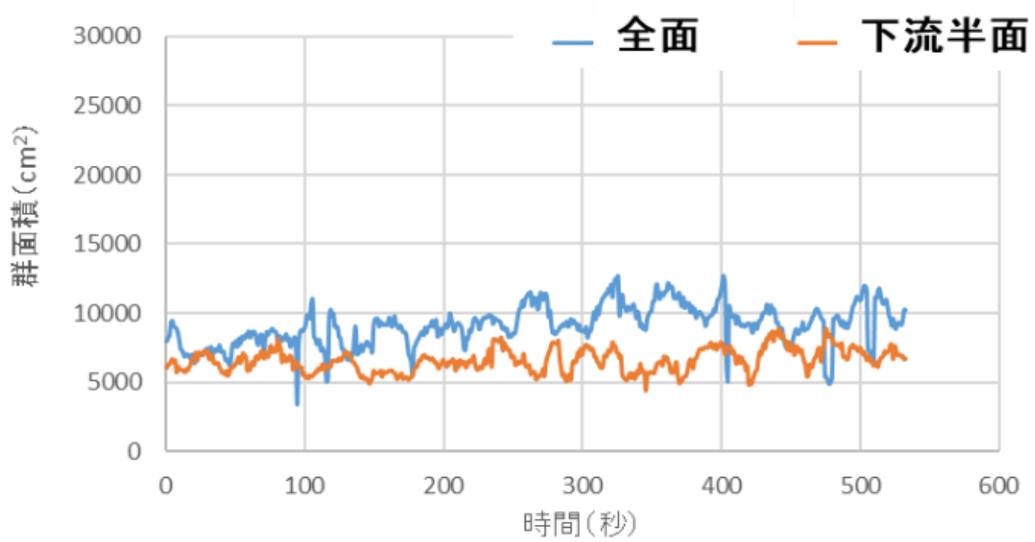
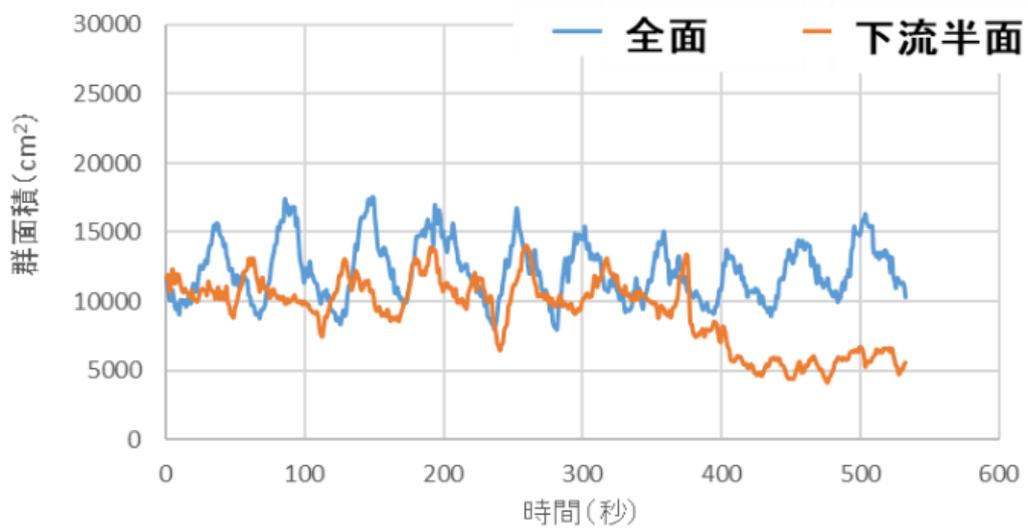


図 2-8. 通常遊泳時の魚群サイズの測定結果2例

↓ : 脅したタイミング

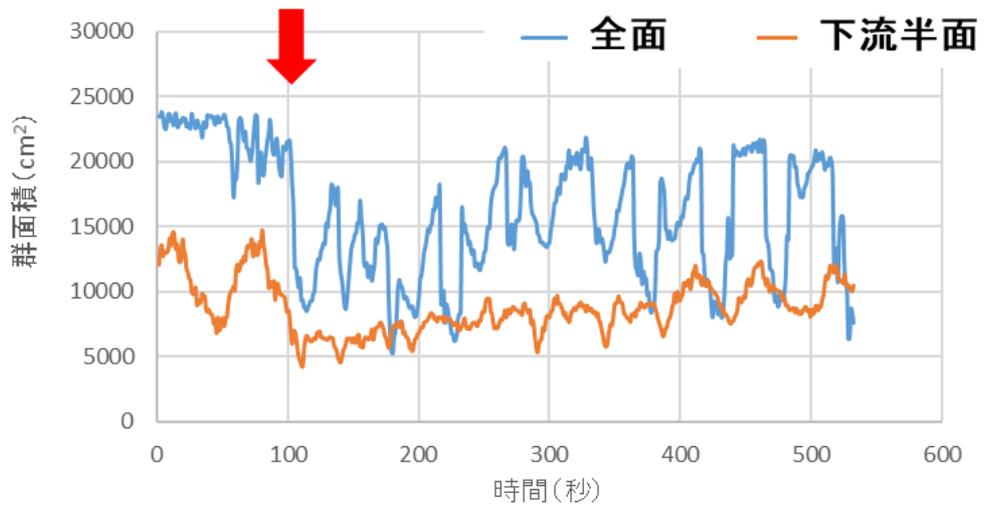
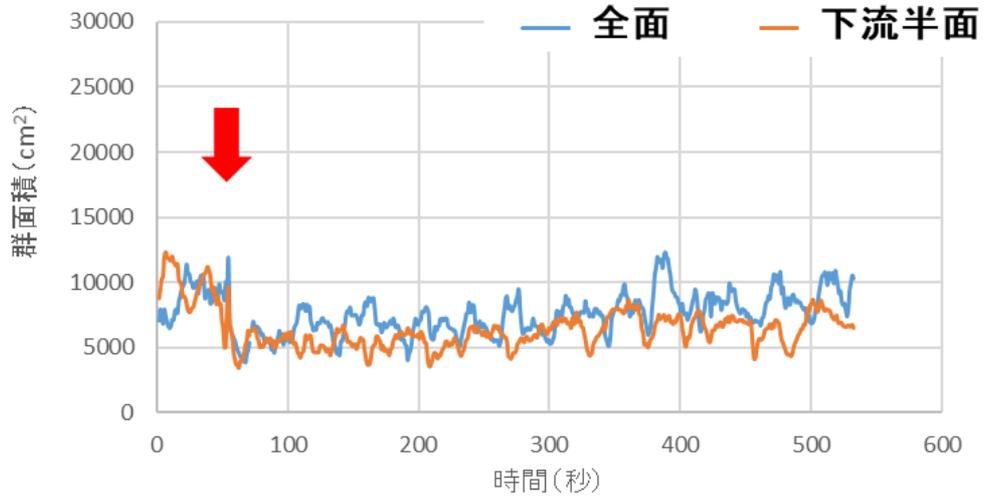


図 II-9. 鳥の模型で脅した場合の魚群サイズの測定結果2例

③ 健苗育成技術開発試験2

実施機関及び担当者:

北里大学: 笠井宏朗、清水恵子

岩手県水産技術センター: 清水勇一、長坂剛志

【目的】

稚魚期の生残率の改善による回帰率の向上を図るため、遊泳力を強化するための飼育方法を開発するとともに、遊泳力、血糖値、血中乳酸値など生理指標による健苗性の評価手法を検討することを目的とする。

【方法】

令和元年度の飼育実験は、岩手県水産技術センターの大規模実証試験施設(釜石市、熊野川)で行った。試験は、通常の半分の密度(10kg/m³)を2群用意し、一方は通常の飼育、もう一方は(有)タカツ産業製循環式流速変動装置により流速を強化して飼育した。流速は、強化区で6時から18時の12時間を流速2.0cm/秒の強化工程、18時から翌6時を0.5cm/秒の安息工程とした。対照区は常時0.5cm/秒に設定した。試験中は、池出し以降放流まで約1週間毎に尾叉長、魚体重、遊泳力、血糖値を測定した。遊泳力は、(有)タカツ産業製遊泳力測定装置により瞬間遊泳力(1秒毎に流速を1cm上昇)及び臨界遊泳力(60秒毎に流速を1cm上昇)を測定した。血糖値は、酵素電極法で人用に市販されている血糖値測定機器(ジョンソン・エンド・ジョンソン(株)製ワンタッチベリオセンサー)を用いて血糖値を測定した。

また、北里大学にてミニチュア水槽による稚魚のトレーニング予備実験を行った。ミニチュア水槽による稚魚のトレーニング予備実験は、9時から17時の間に1時間毎の流速強化(流速4~10cm/sec)と安息(2cm/sec)を繰り返すトレーニング区(トレーニングスケジュール:表1)、対照区(流速1~2cm/sec)の2試験群とした。試験は、2019年12月23日から開始し、2020年1月31日に遊泳力を測定し、遊泳力測定後の個体を用いて血糖値及び血中乳酸値を測定した。遊泳力および血糖値の測定については上記の方法と同様に、また、血中乳酸値は(株)アークレイファクトリー製ラクテート・プロ LT-1710を用いて測定し、令和元年度事業報告書にて結果を報告した。令和元年度は、遊泳力、血糖値、血中乳酸値を測定した直後に凍結保存した魚体について、解凍後、筋肉中のグリコーゲンとトリグリセリド、肝臓のグリコーゲンの測定を行い、各組織における含有率を算出した。

令和2年度の飼育実験は、流速強化の時間を10時から11時までの1時間と16時から17時までの1時間の合計2時間とした。測定項目は令和元年度と同様(尾叉長、魚体重、遊泳力、血糖値)とし、流速が成長、遊泳力に与える影響について評価する。現在、予備試験を実施中であり、今後耳石温度標識を施標した本試験を実施する。

【結果】

令和元年度試験の遊泳力測定結果を図1に示した。遊泳力は瞬間・臨海遊泳力ともに流速強化区が対照区を上回る傾向があった。しかし、飼育25日目から流速強化区の摂餌状況が悪化し、遊泳力は低下した。血糖値は、両試験区とも平均100~200mg/dLで推移した(図2)。血糖値と死亡数の間には、血糖値が上昇し、10日後程度で死亡数が増加する関係が見られた(図2)。

ミニチュア水槽による稚魚のトレーニング予備実験について、トレーニング区および対照区における臨界および瞬間遊泳力測定前後の血糖値、血中乳酸値、筋グリコーゲン含有率ならびに筋トリグリセリド含有率の結果を図3に示した。臨界遊泳力測定前後の変化について、対照区における血糖値は、遊泳力測定前後で変化はみられなかったが、トレーニング区では遊

泳力測定後に有意に上昇した。また、血中乳酸値についても、対照区では遊泳力測定前後で変化は見られなかったが、トレーニング区では有意差は確認されなかったものの、遊泳力測定後に上昇した。筋グリコーゲンについては、トレーニング区、対照区の両区において遊泳力測定後に低下がみられた。一方、筋トリグリセリドについては、筋グリコーゲンと同様にトレーニング区、対照区の両区において遊泳力測定後に低下がみられたが、遊泳力測定前の含有率はトレーニング区のほうが高かったのに対し、遊泳力測定後の含有率はトレーニング区のほうが低くなり、遊泳力測定後の含有率の低下の程度はトレーニング区のほうが著しくなる傾向にあった。瞬間遊泳力測定前後の変化についても同様の傾向が見られた。

2020年級の飼育試験に用いる稚魚を生産するため、試験施設近傍の片岸ふ化場より2020年12月14日に採卵した種卵を移入し、遊泳力強化及び低密度飼育実験用に各99千尾に耳石温度標識を施標した(表2)。

これまでの試験結果から、水流を強めることにより遊泳力は強化される傾向にあること、トレーニングを行うことで体エネルギー成分の代謝が変化することが分かってきており、今後は運動強度や運動時間の検討を行う必要がある。また、血糖値の把握によりある程度健苗性評価が可能なことが分かってきたが、血糖値の上昇と稚魚の生理状況の関係と血糖値が異常値を示した場合の対処方法などを検討する必要がある。

表1 流速強化区のトレーニングスケジュール

時刻	流速 (cm/sec)	備考
9:00-10:00	2	清掃・給餌
10:00-11:00	4	強化
11:00-12:00	2	安息
12:00-13:00	6	強化
13:00-14:00	2	安息
14:00-15:00	8	強化
15:00-16:00	2	安息
16:00-17:00	10	強化
17:00-9:00	2	安息

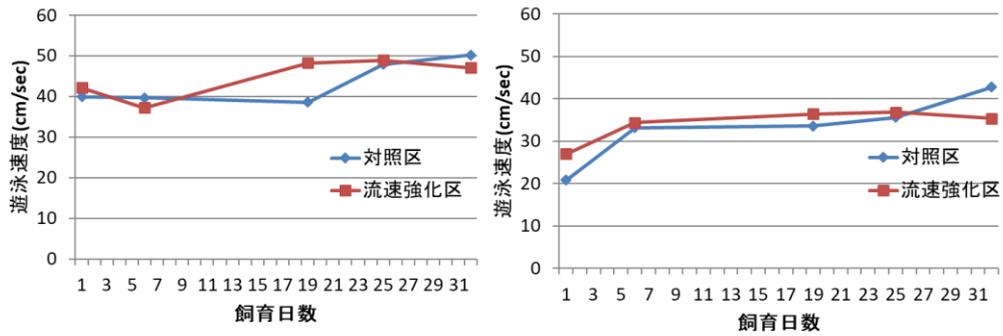


図1 遊泳力測定結果 (左：瞬間遊泳力 右：臨界遊泳力)

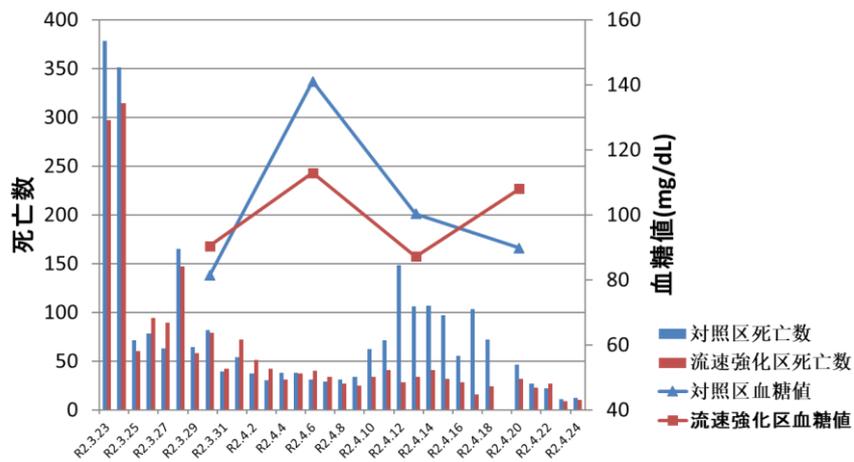
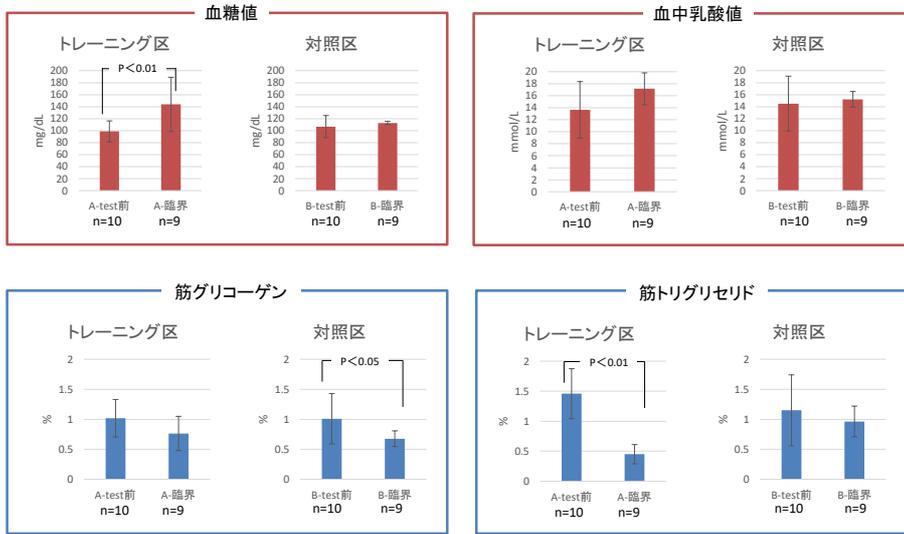


図2 血糖値と死亡数の推移

臨界遊泳力測定後の変化



臨界遊泳力測定後の変化

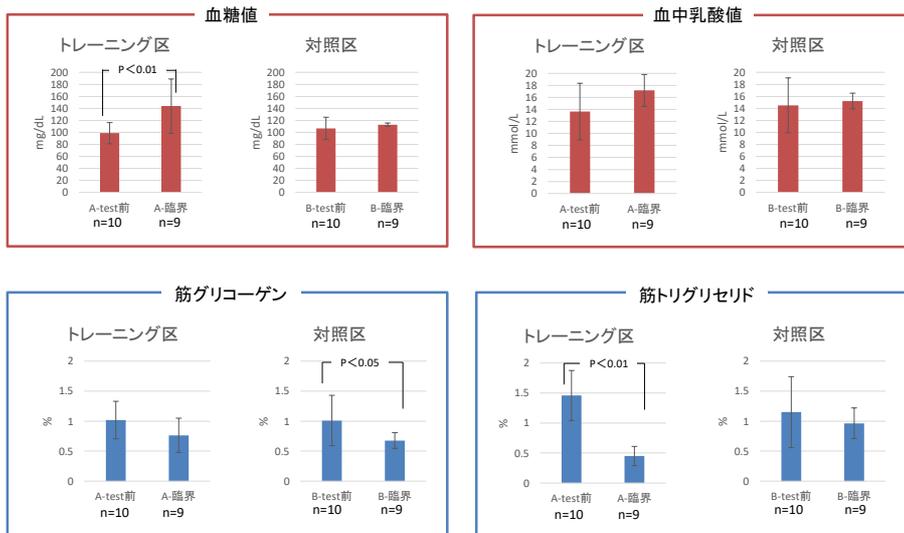


図3 トレーニング区及び対照区の運動後血糖値、血中乳酸値、筋グリコーゲン、筋トリグリセリド含有率

表2 令和2年度の試験卵確保状況

採卵日	標識数 (千尾)	コード	試験区
2020年			
12/14	99	2, 5H2	遊泳力強化
12/14	99	2, 5H3	低密度

④ 海水適応能試験

実施機関及び担当者：

全国さけ・ます増殖振興会： 内海邦夫、伊集院兼丸

【目的】

本州域のふ化場におけるサケ稚魚の海水適応能試験の普及と試験結果データの収集を行い、今後の飼育法の改善等に資する。

【方法】

令和2年度は本州域の全ふ化場 104 箇所において実施中である。

本試験の円滑な実施のため、試験実施マニュアル(図1)や事業体系図(図2)を対象ふ化場の他、各県庁や各県増殖団体等の関係機関に通知するとともに、試験に必要な資機材を送付した。令和2年度の進捗状況は以下のとおりである：

- ・2020年11月30日、試験実施ふ化場等に試験実施マニュアル等を送付、
- ・2020年12月8日から随時、人工海水の素等の資機材を送付、
- ・放流2週間前の主群等3群を対象に、1月中旬から随時実施中。

試験結果は各県増殖団体を経由し、本会に報告後、各県庁、各県増殖団体及び水産資源研究所等と情報を共有することとしている。

さらに、技術面での改善点等については関係機関と検討し、実施可能な部分から次年度の飼育方法等に反映する方針である。具体的には、試験結果を水産資源研究所及び技術普及員との合同会議で情報を共有し、種卵や仔稚魚管理、塩水浴等の実施について助言する予定である。

【結果】

2019年級の結果は、87箇所中83箇所のふ化場において90%～100%となり、80%台は、C県、H県及びI県で4例であった(表1)。2018年級は59箇所のふ化場において、60%台1例、70%台1例、80%台が6例となっており、単年比較ではあるが2019年級の海水適応率は向上した。また、試験の有用性の認知度が深まったことにより、令和元年度(2019年級)は多くの漁協で試験を3回から最大38回実施した。

試験結果については、水産資源研究所及び別途水産庁補助事業で実施している技術普及員との合同会議を2020年8月に開催し、本試験結果と両者の技術普及概況等の情報を共有した。

2018年級の適応率が65%のふ化場では、捕獲体制に変更があり卵・仔魚期の各段階においてへい死が発生したことが判明したことから、この関係を直接結びつけることはできないものの、令和2年度に改めて捕獲、採卵工程に関する手引きを作成するなどした。

本試験を通じ、ふ化場自らが前期・中期・後期の3群に試験を実施し、放流稚魚の健苗性を確認する個所もあり、本試験の普及と有用性に理解が深まりつつある。また、本試験結果に基づき、技術普及時に改善を図るなど、PDCAサイクルの発現を目指している。

海水適応能試験実施マニュアル

1. 放流2週間前の稚魚を70尾(供試尾数60尾+予備10尾)用意します。
2. 稚魚は、試験前24時間から餌止めします。
3. 10リットルのふ化用水を入れたポリバケツに「人工海水の素10リットル用」1袋を溶かし、水槽に入れます。計5袋を同様に溶かし入れます。
4. この水槽にポンプからエアを入れて、一晩置きます。
(水槽の設置は、ふ化室等一定の室温の下で、水温の変化を抑制する
ポンプの設置は、気泡がかからない水槽横等に設置する)
5. 24時間餌止めた稚魚**60尾**を水槽に入れ、48時間観察して下さい。
6. この間は餌は与えず、死亡した稚魚はその都度取り上げてください。
7. 適応率を4の表に記入して下さい。
適応率の求め方
60尾のうち、48時間内に6尾死亡した場合
(生残尾数:54尾÷供試尾数:60尾)×100=適応率は90%になります。

1. 試験機材



図1. 海水適応能試験実施マニュアル

2. 人工海水の作り方

- (1) ポリバケツ10リットルにふ化用水を入れ、「人工海水の素10リットル用」を1袋ずつ入れ、塩ビのパイプ等がかき混ぜ、溶かす。



- ①ポリバケツに10リットルのふ化用水を入れ、海水の素を1袋入れる。



- ②かき混ぜ、溶かす（塩ビパイプ等）



10リットル×5回
= 50リットル

- (2) 10リットルずつ水槽に入れる



3. 稚魚の採集方法と試験の実施

- ①、②飼育池から70尾(供試尾数60尾+予備10尾)採集し、③ふ化槽で24時間餌止めします。④60尾を水槽に移し、⑤へい死稚魚は随時除き餌止めしたまま48時間後に生き残った尾数を表に記入します。

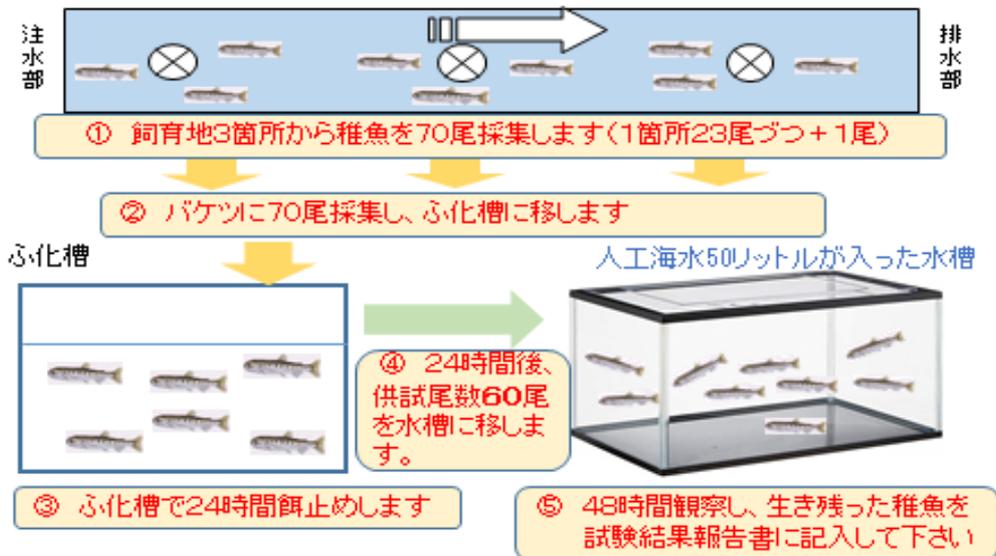


図1 (続き) .海水適応能試験実施マニュアル

4. 令和2年度 さけ・ますふ化放流技術対策事業 「海水適応能試験」事業体系図

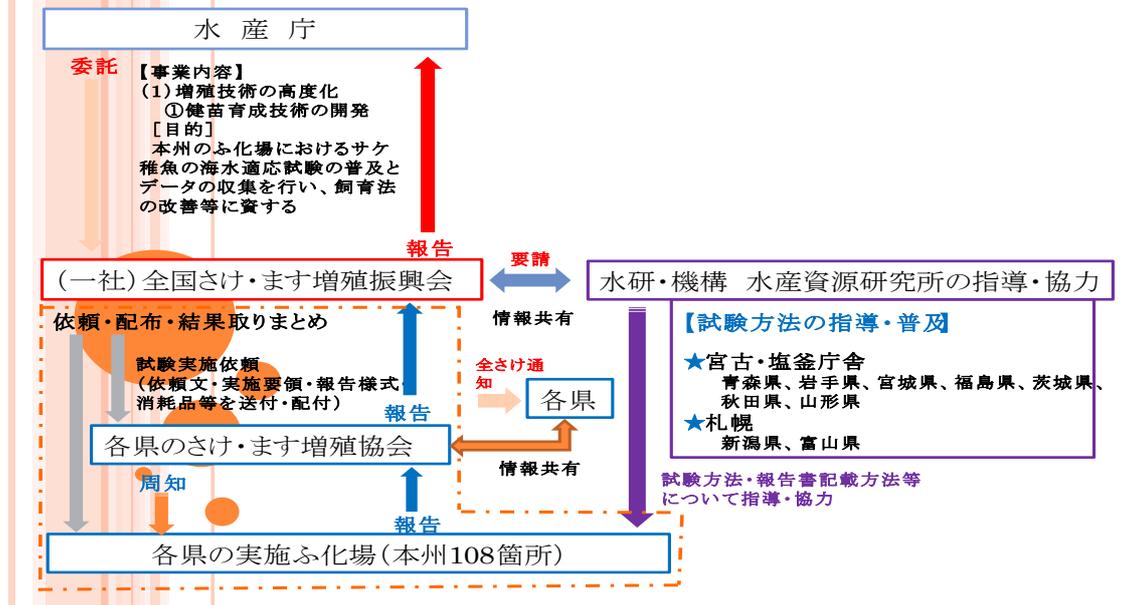


図 2. 事業体系図

表 1. 令和元年度と平成 30 年度の比較

県名	漁協数	回数	採卵月日	試験開始月日	試験終了月日	のべ試験回数 (回)	供試尾数 (60尾)	斃死尾数 (尾)	生残尾数 (尾)	適応率 (%)	平成30年度 適応率(%)
A 県	12	1~3回	2019/9/27 ~2020/1/2	2020/2/27 ~4/23	2020/2/29 ~4/25	32	20~64	0~3	20~64	95~100	83~100
B 県	17	1~11回	2019/10/1 ~2020/1/9	2020/1/14 ~5/6	2020/1/16 ~5/8	68	50~60	0~3	50~60	95~100	97~100
C 県	9	1~3回	2019/10/18 ~2020/1/6	2020/1/23 ~4/13	2020/1/25 ~4/15	18	60	0~9	51~60	85~100	65~100
D 県	4	1~3回	2019/10/31 ~11/23	2020/1/16 ~3/15	2020/1/18 ~3/17	7	60	0~1	59~60	98~100	97~100
E 県	3	1~3回	2019/11/20 ~12/6	2020/2/11 ~3/11	2020/2/13 ~3/13	5	60	0~2	58~60	97~100	100
F 県	5	1~4回	2019/10/8 ~12/2	2020/2/15 ~3/25	2020/2/17 ~3/27	14	60	0	60	100	100
G 県	14	1~5回	2019/10/3 ~12/21	2020/1/15 ~3/24	2020/1/17 ~3/26	37	60	0	60	100	93~100
H 県	19	1~3回	2019/10/4 ~12/15	2020/1/21 ~3/20	2020/1/23 ~3/22	46	60~100	0~15	54~60	85~100	77~100
I 県	4	1~38回	2019/10/17 ~12/8	2020/2/2 ~3/18	2020/2/4 ~3/20	79	30~100	0~14	30~100	86~100	98~100
9 県	87	1~38回	2019/9/27 ~2020/1/9	2020/1/14 ~5/6	2020/1/16 ~5/8	306	20~100	0~15	20~100	85~100	65~100

(2) 放流手法技術開発

① 北海道における輸送放流、海中飼育放流試験

実施機関及び担当者:

根室管内さけ・ます増殖事業協会: 蠣崎宏、平澤勝秋、戸田喜巳、川上仁

十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会: 成田伝彦、新出幸哉、林紀幸、前畑一茂

水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部: 福澤博明、羽賀正人、高橋悟、佐田巖、大本謙一、矢部貴大、吉野州正、渡邊勝亮、小野ゆい

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部: 石田良太郎、神力義仁、實吉隼人、虎尾充、渡辺智治、中村太朗

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 道東センター: 春日井潔、小山達也、橋本龍治

【目的】

北海道東部において耳石標識サケ幼稚魚を河川下流域への輸送放流や海中飼育放流し、沿岸等における採集調査により追跡して、その後の成長、回遊などをふ化場から直接河川に放流した群と比較する。

【方法】

a. 海中飼育放流

本別ふ化場において耳石温度標識を付けた 2019 (令和元) 年級サケ稚魚 1,500 千尾を生産し、西別川河口周辺に設置した生簀に稚魚を移し、1 カ月程度海中飼育した後に放流した。また、対照群として、別の標識を付けた同数の稚魚を本別ふ化場で生産し、海中飼育稚魚の放流時期に同程度のサイズで西別川に放流した。2020 (令和2) 年級についても同様の放流試験を実施するために本別ふ化場において発眼卵に耳石温度標識を付け、海中飼育試験群と対照群の各 1,500 千尾の稚魚生産を行った。

b. 下流域輸送放流

芦別ふ化場において、耳石温度標識を付けた令和元年級サケ稚魚 1,200 千尾を生産し、雪裡川の下流部に輸送放流した。また、対照群としては 1) ① 油脂添加による健苗性向上試験の標識群を利用した。2020 (令和2) 年級についても同様の放流試験を実施するために芦別ふ化場において発眼卵に耳石温度標識を付け、輸送放流群 1,200 千尾の稚魚生産を行うとともに、対照群として芦別ふ化場からの自然放流群を同数生産した。

【結果】

2019(令和元)年級の放流

a. 海中飼育放流

風蓮川で捕獲したサケ親魚から 10 月 11 日に 1,903 千粒、西別川で捕獲したサケ親魚から 10 月 25 日に 1,713 千粒を採卵、受精し、本別ふ化場に収容し、10 月 6 日採卵群は海中飼育群として 2,3,6H、10 月 23 日採卵群には河川放流群として 2,3,5H の耳石標識コード(ハッチコード)を施した。

両群とも西別ふ化場において、仔稚魚管理を行い、海中飼育群は 4 月 6、7 日に西別川河口近くの風蓮湖内に設置した海中飼育生簀に移した(図 1)。海中飼育への移行は稚魚輸送用タンク内を塩分濃度 1%にし、塩分馴致させながら 80 分ほど運搬し、幅 5m×10m、水深 4m、目合い 2mm の網生簀 2 基へ収容した(図 2)。移行時の稚魚サイズは平均尾叉長 4.4cm、平

均体重 0.71g であり、海水温は 6.2~6.3℃、塩分濃度は 27psu であった。

海中飼育開始 20 日後の 4 月 26 日に、海中飼育群は生簀を解放して放流、河川放流群は西別ふ化場の放水路から放流した。放流数とサイズ(平均尾叉長、平均体重)は海中飼育群で 1,677 千尾、5.1cm、1.03g、河川放流群は 1,509 千尾、4.8cm、0.98g であった(表 1)。

海中飼育中の水温は、飼育期間の前半は概ね 4~6℃、後半は 6~8℃の範囲で推移し、前年に比べて低めに推移し、特に 4 月中旬の水温が顕著に低かった(図 3)。餌は一般のふ化場で使用している乾燥配合飼料を与え、1 日の給餌率を体重の約 2%として自動給餌機を用いて給餌した。放流時に稚魚の 30 尾の胃内容物を調べたところ、天然餌料の摂取はみられなかった。

放流時に各群 30 尾の肝臓糖分量や筋肉脂肪量等の体成分とともに遊泳力を測定した(図 4)。遊泳力は北水産業製の遊泳力測定装置を用い、水温約 8℃で瞬発遊泳速度を測定した。2018 年級と同様、筋肉脂肪量では差が無かったが、肝臓糖分量では河川放流群の方が有意に高く(t 検定、 $P<0.01$)、瞬発遊泳速度では海中飼育群の方が遊泳力は有意に小さかった(t 検定、 $P<0.01$)。

b. 下流域輸送放流

釧路川で捕獲したサケ親魚から、9 月 18 日、23 日に 1,500 千粒ずつの採卵、受精し、芦別ふ化場に収容し、9 月 23 日採卵群に輸送放流群として 2n-2n,3H、自然放流群として 9 月 18 日採卵群に 2n-2n,2H の耳石標識コードを施した。両群とも芦別ふ化場において、仔稚魚管理を行った。4 月上旬の輸送放流に向けて飼育していたところ、3 月中旬の大雨によって釧路川流域が大氾濫したため、輸送放流点までの砂利道が軟弱化し、稚魚輸送用の大型トラックでは運行困難な状態となった(図 6)。このため、予定放流点の周辺において代替の輸送放流場所を検討したが、大型トラックが河川までアクセスできる通路がなかったことから、令和元年級の輸送放流試験は断念し、予定していた放流群は芦別ふ化場から自然放流した。この放流群は回遊経路追跡用としては利用されたため、放流結果は「北海道における回遊経路追跡用標識稚魚の生産」へ記載した。

2020(令和 2)年級の放流

a. 海中飼育放流

風蓮川及び別当賀川で捕獲したサケ親魚から 10 月 10 日に 1,800 千粒、西別川で捕獲したサケ親魚から 10 月 27 日に 1,800 千粒を採卵、受精し、本別ふ化場に収容し、10 月 10 日採卵群は海中飼育群として 2,3,6H、10 月 27 日採卵群には対照群として 2,3,5H ハッチコードを施した。両群とも西別ふ化場において、仔稚魚管理を行い、海中飼育群は 4 月上旬に西別川河口近くの風蓮湖内に設置した海中飼育生簀に移し、4 月下旬に放流予定である。対照群は 4 月下旬まで西別ふ化場で継続飼育し、自然放流する予定である。

b. 下流域輸送放流

十勝川で捕獲したサケ親魚から 10 月 5 日に 1,430 千粒、釧路川及び幌戸川で捕獲した親魚から 10 月 19~23 日に 1,330 千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に収容後、10 月 5 日採卵群に輸送放流群として 2n-2n,3H、その対照群として 10 月 19~23 日採卵群に 2n-2n,2H ハッチコードを施した。これらの標識群について、年度当初は、芦別ふ化場において仔稚魚管理し、放流する計画であったが、釧路川全体の生産体制の変更があったため、仔稚魚管理は釧路川本流上流に位置する美留和ふ化場で行うこととなり、自然放流群は美留和ふ化場からの放流へ変更した(図 7)。両群とも 4 月中下旬に放流予定である。



図 1. 西別川と風蓮湖海中飼育地点



図 2. 海中飼育生簀

表 1. 海中飼育放流試験の放流結果

年級	放流群	採卵日	捕獲水系	採卵数 (千粒)	飼育開始日 (海中飼育期間)	放流日	放流数 (千尾)	尾叉長 (cm)	体重 (g)	耳石温度標識 ハッチコード
平成30 (2018)	海中飼育群	2018/10/6	風蓮・ 当幌	1,844	2019/3/1 (4/12-26)	2019/4/26	1,616	5.1	1.11	2,3,6H
平成30 (2018)	自然放流群	2018/10/23	西別	1,800	2019/3/19	2019/4/26	1,620	5.1	1.06	2,3,5H
令和元 (2019)	海中飼育群	2019/10/11	風蓮	1,903	2020/3/3 (4/6-27)	2020/4/27	1,677	5.1	1.03	2,3,6H
令和元 (2019)	自然放流群	2019/10/25	西別	1,718	2020/3/17	2020/4/27	1,509	4.8	0.98	2,3,5H

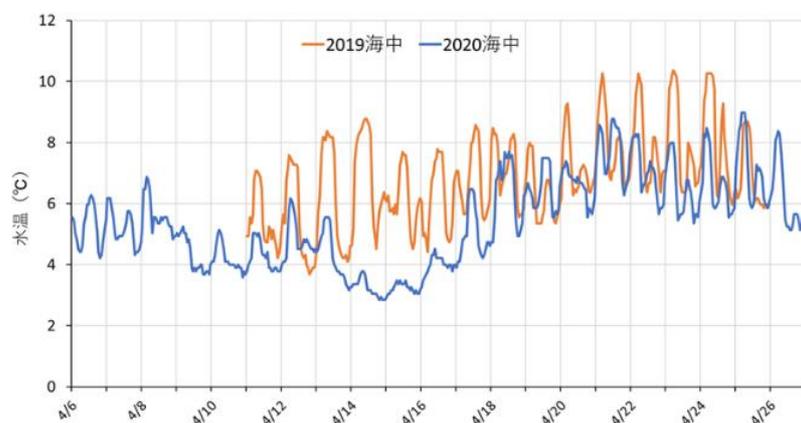


図 3. 海中飼育生簀内の水温推移

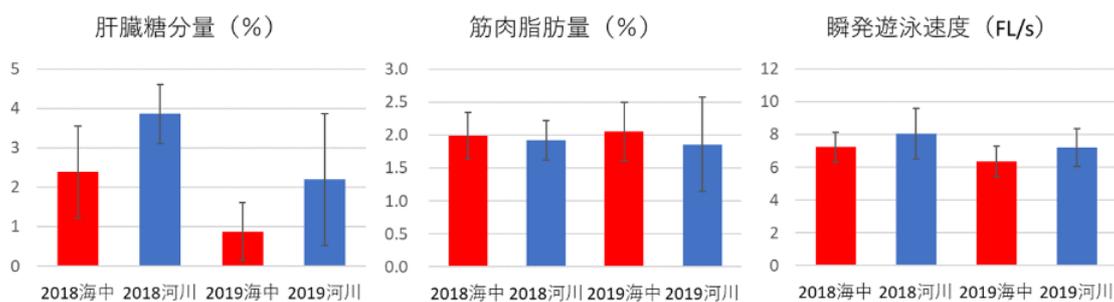


図 4. 海中飼育群と河川放流群の栄養状態と瞬発遊泳速度(バーは標準偏差)



図 5. 2019(令和元)年級の釧路川下流域輸送放流予定地点



図 6. 輸送放流予定地へ繋がる砂利道. 凸凹大きく, 軟弱になった砂利道が 500mほど続く.

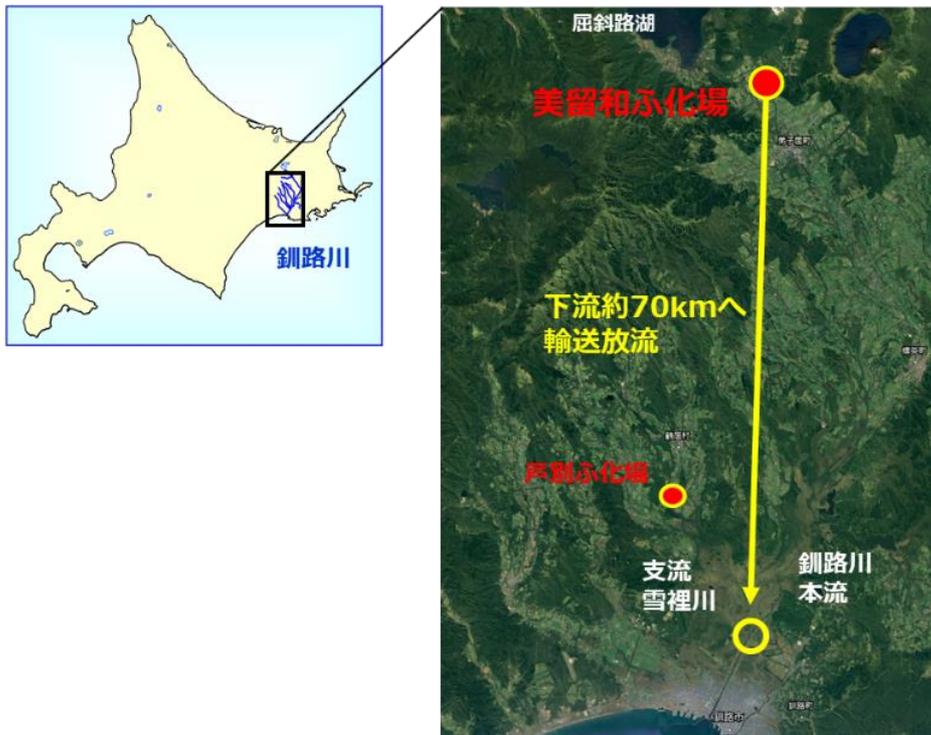


図 7. 2020(令和 2)年級の釧路川放流地点. 自然放流群は美留和ふ化場から放流.

② 岩手県山田湾海中飼育試験、沿岸環境・稚魚追跡調査

実施機関及び担当者:

岩手県水産技術センター: 清水勇一、長坂剛志

水産技術研究所 環境・応用部門 水産工学部: 澤田浩一、松裏知彦

北海道大学: 向井徹、長谷川浩平

北里大学: 笠井宏朗、清水恵子

水産資源研究所 さけます部門 資源生態部: 八谷三和

水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部: 佐々木系

【目的】

沿岸でのサケ稚魚の減耗を回避するため、海中飼育放流技術を改良することを目的とする。また、放流した稚魚を追跡調査するとともに、水温、塩分、動物プランクトン量をモニタリングし、サケ幼稚魚の分布様式や適正な放流時期を検討する。

【方法】

岩手県山田湾を調査海域として、織笠川河口付近に海中飼育施設を設置して実験を行った。令和元(2019)年度は、通常海中飼育(約1ヶ月で 4.0gを目標に飼育)を対照群として、短期海中飼育群(1~2週間の飼育期間に短縮)、イセを入れた改良大目網による海中飼育を実施するイセ大目網群(一部稚魚を逃避させ、適正密度を保つとともに潮通しの改善を図り、約1ヶ月で、4.0g以上を目標に飼育)の2試験群を設定した。改良した大目網は、通常目合いの網とイセ大目網を連結し、稚魚投入時は通常網部分のみが海中にある状態とし、稚魚が 2gに成長した時点でイセ大目網部分を海中に落網する2段式とした(図1)。イセ大目網落網後の稚魚の密度は、生簀に設置した音響プロファイラーにより分布密度を推定した。また、光学カメラにより目合いの切替前後3日間の生簀内を撮影し、撮影画像から稚魚の尾数を各試験群で計数した。給餌は手蒔きと自動給餌機による給餌も併用し、時化でも給餌量を確保した。令和元年度(2020年春実施)の各試験群 400 千尾には、通常海中飼育群 2-2,2H、短期海中飼育群 2,2nH、大目網群 2,5H の異なる耳石温度標識を施標した。飼育試験中(ふ化場での飼育期間を含む)は、定期的にサンプリングを行い、尾叉長と魚体重、遊泳力を測定した。また、サンプリングした稚魚のうち 20 尾は、冷凍後実験室に持ち帰り、筋肉中のグリコーゲンとトリグリセリド、肝臓におけるグリコーゲンの測定を行い、各組織における含有率を算出した。飼育試験終了後は、海中生簀から放流し、漁業指導調査船「北上丸」による追跡調査を行った。採捕した稚魚からは耳石を摘出し、耳石温度標識を確認することで各試験群の採捕率を算出した。また、放流後の稚魚の分布を推定するため、山田湾内においてマルチビームソナーによる音響観察を行った(新型コロナウイルスの影響により延期し、実施日未定)。

令和 2(2020)年度は、イセを入れた大目網と同様の目合いの大目網を作製し、試験を実施する。また、試験用卵 800 千粒を確保し、各試験群に異なる耳石温度標識を施標した。さらに、昨年度と同様にプロファイラーの設置を行い、モニタリングを開始した。

【結果】

各試験群は 2020 年 3 月 23 日に海中生簀に収容した。試験中の成長は、各試験群に共通して海中生簀投入後1週間程度は体重の増加が停滞し、淡水から海水への移行によるストレスが影響しているものと推察された(図 2)。短期海中飼育群は、飼育期間中成長が停滞し、設定試験期間中ほとんど成長せずに放流となった。イセ大目網群の成長は、4 月 15 日以降急激に促進され、5g以上で放流となった。遊泳力は、通常海中群、イセ大目網群で海中生簀投入後に低下したが、イセ大目網群では 4 月 23 日以降上昇した(図 3)。肝臓と筋肉中のトリグ

リセリド含有率は、時化等により給餌量が減少すると低下する傾向がみられ、給餌が通常通り実施されたときには上昇又は維持しており、トリグリセリドの含有率は給餌量と同調している傾向がみられた(図4)。また、筋肉中のグリコーゲンの含有率は、尾叉長50mmを超えると大きく低下し、肝臓のグリコーゲンもやや遅れて低下した(図5)。

音響プロファイラーによるイセ大目網群の魚群密度は、測定可能密度以上となり、エコーレベルが飽和していた。飼育期間中の密度は、2~25尾/m³と推定された(参考値)。光学カメラ画像の解析の結果、大目網の切り替え前の4月15日は平均141尾、切り替え後5日目の27日は平均154尾、放流直前の5月10日は平均114尾であり、5月10日の尾数は他の2日間よりも少なかった(図6)。また、生簀内にはイワシが遊泳していたことから、生簀にはイワシや試験魚以外のサケ稚魚の侵入も考えられた。

放流後の追跡調査は、調査船調査4回で1,081尾、まき網調査5回で1,147尾を採捕した。各試験群の調査船調査による採捕率は、高い順に通常海中飼育群0.0085%、短期海中飼育群0.0038%、大目網群0.0028%であった。

令和元年度試験では、2段式の生簀網を用いることで適正な密度での長期飼育を実施することができたため、稚魚の成長と遊泳力が向上したと推定する。しかし、生簀内の密度変化を把握することができなかつたため、今後は音響及び光学カメラを用いた密度の把握が課題である。また、給餌量とトリグリセリド含有率、尾叉長とグリコーゲン含有率の間には特徴的な関係がみられたことから、今後も給餌量と体成分、成長、遊泳力との関係について検討する必要がある。

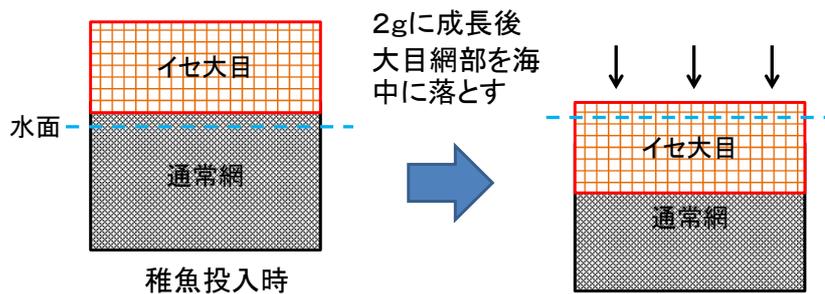
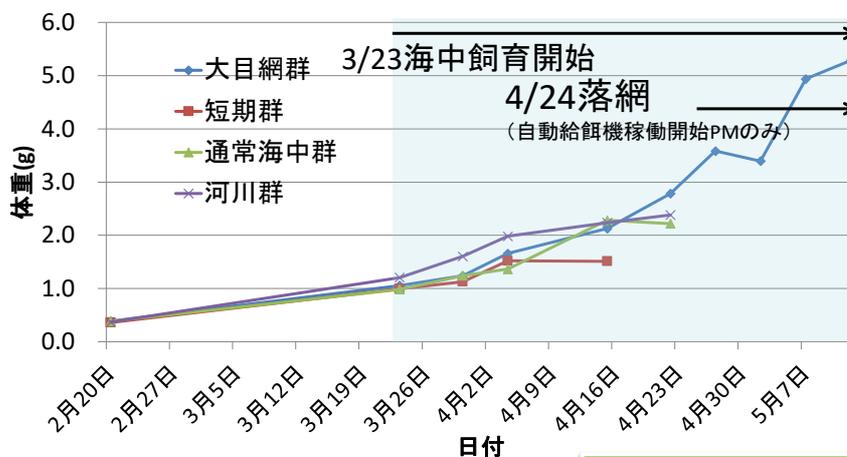
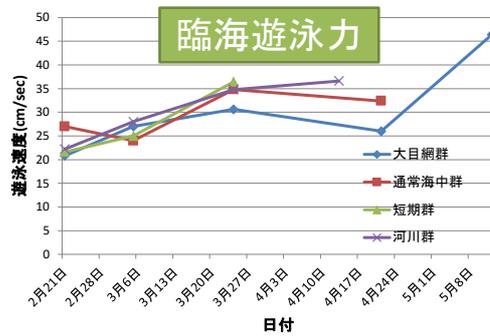


図1 イセ大目網試験群の試験模式図

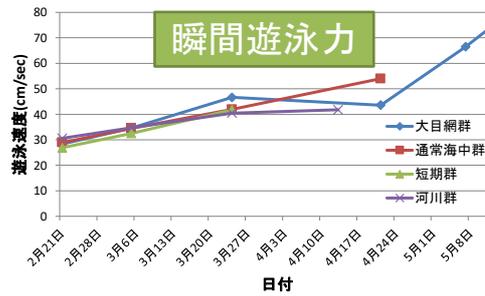


- 海中投入後1週間程体重の伸びが鈍い
 - 短期群は、4/4以降ほとんど成長せず放流
 - 4/15以降、大目網群は急成長
 - 落網後は大目網群のPMのみ自動給餌機を稼働
 - 大目網群は、51日間飼育し、平均体重5g以上で放流
- 給餌量は同じ(他生賞は手撒)
 - 時化でも給餌できる

図2 各試験群の成長の推移



- 3/24以降、大目網群、海中群で低下
- 4/23以降、大目網群は大幅に上昇



- 大目網群はいったん落ち込んだ
- 4/23以降上昇

臨海遊泳力: 1分間に1cm流速を上昇
瞬間遊泳力: 1秒間に1cm流速を上昇

図3 各試験群の遊泳力の推移

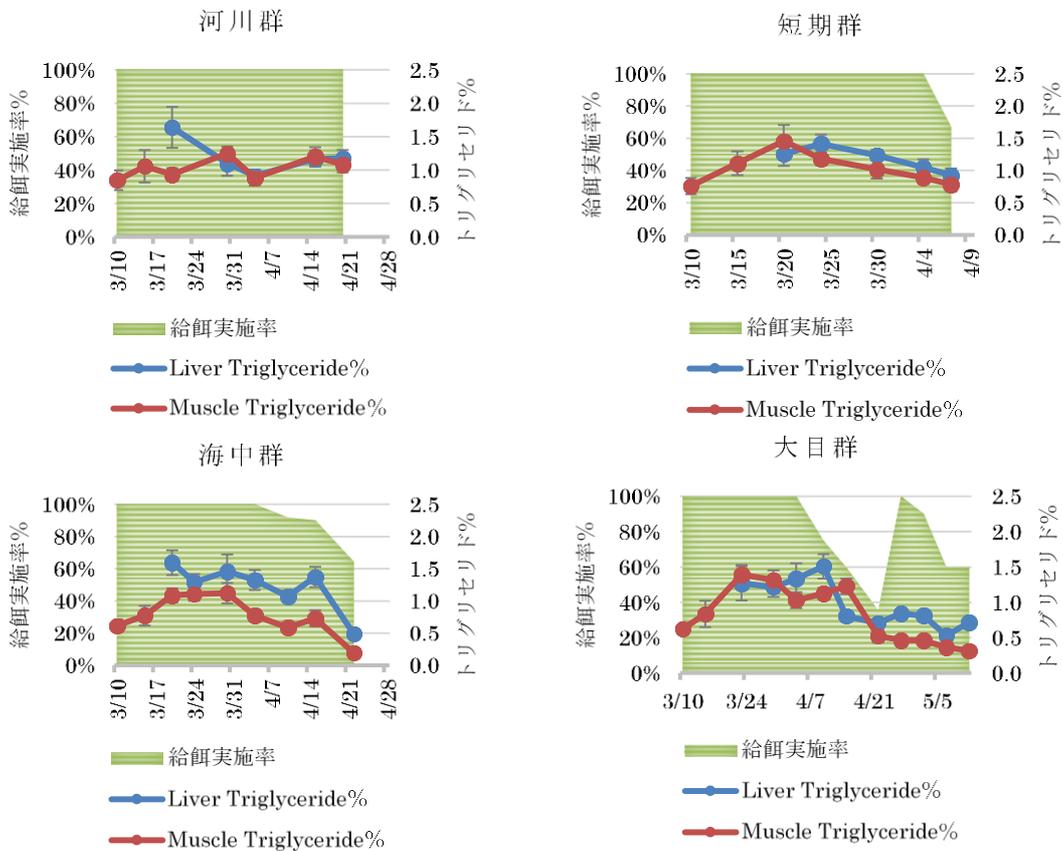


図4 各試験群の給餌実施率とトリグリセリド含有率の推移

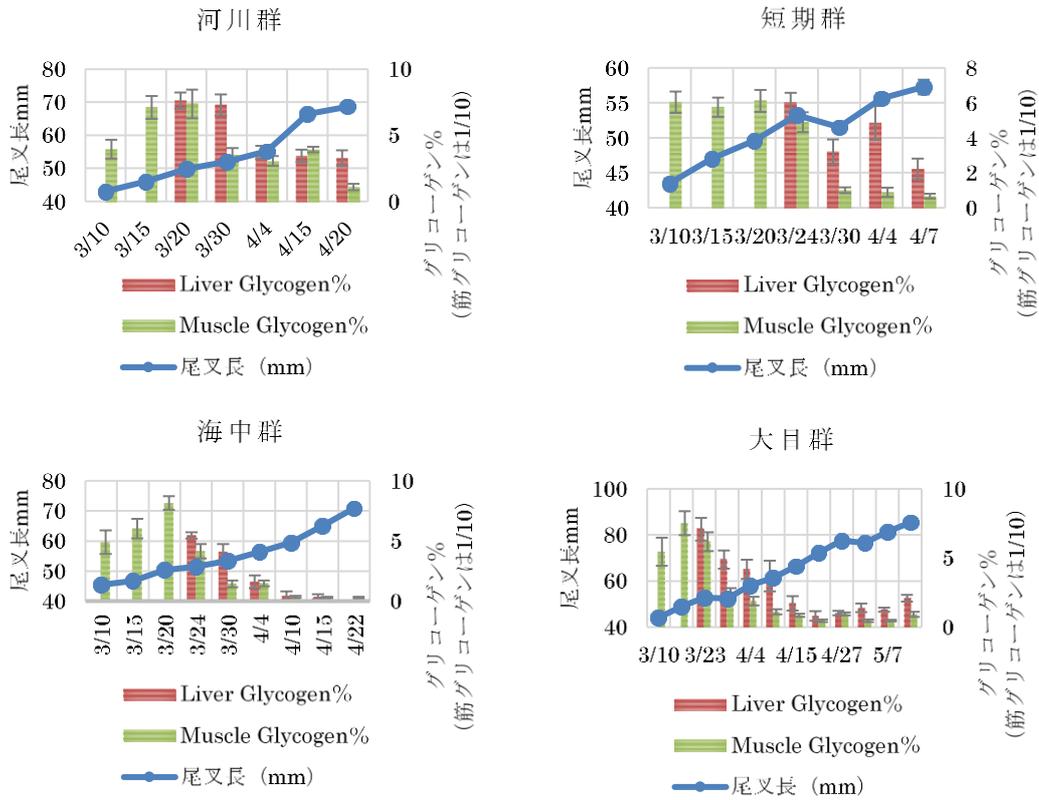
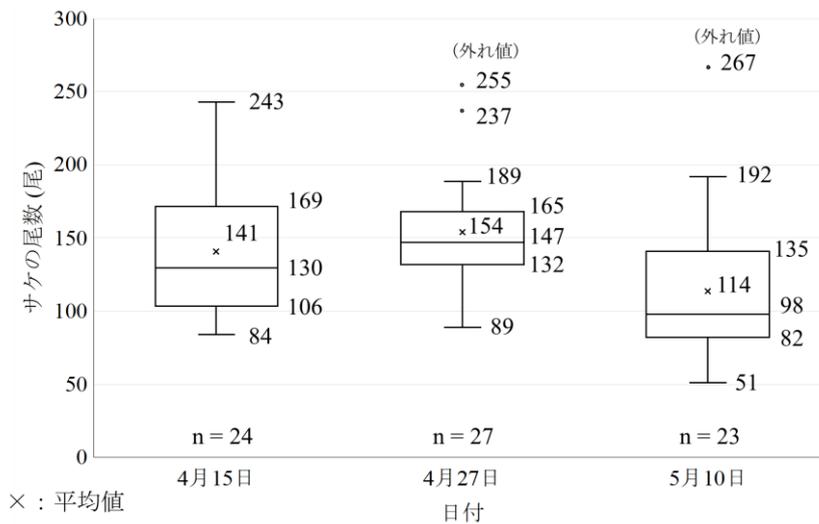


図5 各試験群の尾叉長と筋肉中グリコーゲン含有率の推移



5月10日の尾数は他の2日間よりも尾数が少ない結果が得られた

図6 光学カメラ画像における稚魚の計数結果

(3) 沿岸環境・幼稚魚追跡調査

① 北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査(厚田、昆布森、えりも以西・以東定置網、宗谷海峡)

実施機関及び担当者:

水産資源研究所 さけます部門 資源生態部: 斎藤寿彦*7、佐藤智希、本多健太郎、渡邊久爾、佐藤俊平*6、鈴木健吾、矢野豊

資源増殖部: 森下匠*1、河野洋右*2、平間美信、伊藤洋満、羽賀正人、高橋悟、濱崎薫、吉野州正、渡邊勝亮、小野ゆい、富田泰生*3、横田泰明*4、加藤雅博、加藤毅、福田勝也、平林幸弘*5、荒内勉、今井謙吾

*1:3)-①-1.【厚田沿岸域】主担当

*2:3)-①-1.【昆布森沿岸域】主担当

*3:3)-①-2.【えりも以西地区】主担当

*4:3)-①-2.【えりも以東地区】主担当

*5:3)-①-2.【宗谷港】主担当

*6:3)-①-3.【サケ幼稚魚の地理的起源推定】主担当

*7:3)-①-4.【サケ幼稚魚の耳石日周輪解析】、【3)-①全体取りまとめ】主担当

【目的】

サケ幼稚魚の分布状況や生息環境等について、沿岸域の調査海域で用船を用いたモニタリングを実施するとともに、春定置網や港湾に蟻集するサケ幼稚魚を定期的に採集する。採集したサケ幼稚魚を用いて、耳石温度標識の確認や遺伝分析により地理的起源(放流地域)の推定を行い、それらの移動時期・経路・体サイズなどの変遷を把握する。また、耳石日周輪解析による降海・成長履歴の把握や調査データの分析などを通じて、放流魚(耳石温度標識魚)の生残条件について検討する。

【方法】

1. 用船を用いたモニタリング調査

用船を用いたモニタリング調査を、厚田沿岸域(北海道日本海)及び昆布森沿岸域(道東太平洋)で実施した。

【厚田沿岸域】厚田沿岸幼稚魚生息環境モニタリング調査は、石狩市厚田区吉田氏の第二十八長生丸(9.27トン)を用船し、3月27日から5月26日まで計7回、沿岸域のCTDによる海水温・塩分等の鉛直観測、透明度、プランクトン量等の情報収集および幼稚魚採集調査を行った。

【昆布森沿岸域】昆布森沿岸のモニタリング定点4ヶ所(岸からの距離は約0.4km(定点1)、1.3km(定点2)、3.5km(定点3)、及び7.8km(定点4))で6月上旬~7月下旬にかけて合計8回調査を実施した。本調査では、CTDを用いて水温・塩分の鉛直観測を行うと共に、改良型NORPACネットを用いて定点1は水深10m層から、定点2~4は水深20m層から鉛直曳きにより動物プランクトンを採集し、餌生物の組成と現存量を調べた(図1)。

また、各調査時において3ヶ所(岸からの距離は約1.5~3.5km(③岸)、3.7~5.7km(②中間)、5.8~7.8km(①沖))岸に向かって曳く形で2艘曳網による稚魚採集調査を実施した。曳網は2kmまたは20分間とした。なお、2018年の調査までは環境観測を行

っている定点 1~4 付近で岸と水平方向に曳網していたが、2019 年からは標識魚の採集尾数を増大させることに重点を置き、現状の曳網方法に変更した。

2. 春定置網及び港湾における調査

春定置網と港湾に蝟集するサケ幼稚魚の採集は、北海道太平洋側のえりも以西地区、同えりも以東地区および宗谷港で実施した。

【えりも以西地区】室蘭、虎杖浜、厚賀および春立沿岸に設置された春定置網を調査場所とし（図 2）、定置網の揚網時にサケ幼稚魚をたも網で採集した。採集した幼稚魚は持ち帰り、冷凍後に体サイズ測定のほか、耳石および遺伝サンプルを採取した。耳石は温度標識の有無を調べ、標識コードから放流由来を特定した。また各調査場所の距岸約 1km の海面下 3m 層に設置した記録式水温計により 1 時間ごとの海水温の変化を調べた。

【えりも以東地区】調査定点は、大樹沿岸に設置された春定置（大樹サケ 4 号定置）とし、5 月下旬から 6 月下旬（5 月 28 日～6 月 30 日）に合計 6 回、春定置網の網起こし時に蝟集するサケ幼稚魚をたも網で採集した。なお、先行事業である「サケ資源回帰率向上調査事業」の結果から、当該調査地ではたも網だけではサンプル数の確保が困難であることが想定されたため、調査時に春定置網で漁獲されたサケ幼稚魚の捕食者であるマダラ等を 10 尾購入し、胃内容物中からサケ幼稚魚を収集することを併用した。また、漁協より提供を受けたアメマス 8 尾についても胃内容物を調べた。さらに、調査対象の春定置網の水深 3m 層に記録式水温計を設置して 1 時間間隔で海水温を記録するとともに、たも網調査時には CTD を使って水温・塩分の鉛直観測を行った。

【宗谷港】宗谷港での調査は、定位置（図 3）において、5 月 12 日～6 月 29 日の期間に計 10 回、それぞれ調査員 3 名で 2 時間 30 分程度行った。日没後、防波堤上から港内に向けて集魚灯を点灯し、灯下に寄ってきた幼稚魚をたも網ですくい捕った（図 4）。また、調査時に海水温と塩分を測定するとともに、定位置の外海側（水深 1.5m 前後）に記録式水温計を設置して 1 時間間隔で海水温を記録した。

採集したサケ幼稚魚の分析

各種調査で採集したさけます幼稚魚について、各個体の尾叉長と体重を測定し、左右の耳石（扁平石）を摘出した。片方の耳石は常法により耳石温度標識の確認に用いた。厚田沿岸域および昆布森沿岸域では、一部個体の胃内容サンプルを採集し、食性調査を行った。また、太平洋沿岸域で採集されたサケ幼稚魚については、遺伝分析用試料として尾部または胸鰭を採集した。

3. サケ幼稚魚の地理的起源推定

2020 年 5 月中旬～7 月下旬にかけ、春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査（以下春定置網調査、室蘭・虎杖浜・厚賀・春立・大樹）および沿岸幼稚魚モニタリング調査（以下昆布森調査）が実施された（図 5）。これらの調査で採集されたサケ幼稚魚について、各個体の尾叉長および体重を測定し、頭部より耳石標本を採集した。また同時に尾部または胸鰭を採集し、99%エタノールで固定して遺伝標本とした。採集した耳石標本は標準的な方法で標識の有無を確認し、標識魚については標識パターンからふ化場起源を特定した。また、遺伝標本から Puregene DNA Extraction Kit（QIAGEN）を用いて DNA を抽出した。抽出した DNA を 384 ウェルプレートに分注し、既知の SNP（一塩基多型）マーカー 45 遺伝子座を用いて TaqMan 法による遺伝子型の決定をリアルタイム PCR（QuantStudio 7 Flex リアルタイム PCR システム、

ThermoFisher Scientific)で行った。得られた遺伝子型データをもとに条件付き最尤法による遺伝的系群識別を行い、採集場所別・尾叉長別(小型魚:10cm 未満、大型魚:10cm 以上)で地理的起源を推定した。推定した地理的起源は北海道日本海・北海道オホーツク海/根室海峡、北海道太平洋、本州太平洋、本州日本海の5地域である。なお、大型魚の地理的起源の推定は、まとまった採集があった昆布森についてのみ行った。

4. サケ幼稚魚の耳石日周輪解析

太平洋側における日本系サケ幼稚魚の回遊経路のうち、日本沿岸離岸前の個体が採集される可能性のあるえりも以西から昆布森までの沿岸域と、日本海側の厚田沿岸域で採集された耳石温度標識魚を主な供試魚とした。耳石温度標識の確認に使用しなかった耳石を用いて、既往の方法により降海時の尾叉長、降海月日、降海から採捕までの日数を推定し、降海後の成長速度を評価した。これまでのモニタリングにより、昆布森沿岸域では日本各地の耳石温度標識魚が採集されることがわかっている。そこで、放流河川別(地域別)に降海月日と降海サイズのデータをとりまとめ、放流後の初期減耗を生残し昆布森まで到達することに成功した個体の降海履歴を蓄積し、効率的なふ化放流手法(放流時期と放流サイズ)の検討に役立てることを目的とした。厚田沿岸域では、これまでのモニタリング結果から、幼稚魚の採集豊度と当該年級の親魚の河川回帰数に正の相関関係が認められている。この結果は、放流魚の年級群豊度(回帰数の多寡)が厚田沿岸到達までの生残りに大きく依存していることを示唆している。今年度は、2019年に採集された耳石温度標識魚(2018年級)の標識パターン(ハッチコード)について降海履歴の推定を実施し、2016~2017年級との比較を行った。

最近の研究によれば、沿岸域で高成長を遂げたサケ幼稚魚は初期生残も良い可能性が指摘されている(例えば、Honda et al. 2017, 2019)。そこで、厚田の2019年の採集個体について、個体の成長速度に、降海月日や降海サイズがどのように影響するかを明らかにすることを目的に、成長速度を従属変数、降海月日、降海サイズおよび耳石温度標識のハッチコード(以下、HC)を説明変数とする一般化加法モデルを構築した。モデル選択(説明変数の組み合わせ)は、赤池情報量規準(以下、AIC)により検討し、AICが最小となるモデルを採択した。なお、構築するモデルの誤差分布は全てガンマ分布を仮定した。

【結果および考察】

1. 用船を用いたモニタリング調査

【厚田沿岸域】

沿岸水温

石狩地方沿岸水温を図6に示す。2020年春期の海水温は立ち上がりが非常に早く、日平均水温が5°Cに達したのは3月1日であった。春期の海水温が5°Cに達した日は、過去10年平均値より28日早かった。また、海水温が13°Cに達したのは6月1日であり、過去10年平均値より2日早かった。サケ稚魚の適水温帯とされる5°C~13°Cの期間は93日間であり、過去10年の適水温帯の期間は66日間であることから、2020年春期の適水温帯の期間は非常に長かった。

2020年春期に厚田沿岸域でサケの幼稚魚が採捕された期間は、3月下旬から5月下旬であり、そのときの水温は6.3°Cから11.0°Cであった。

動物プランクトン

プランクトン湿重量を図7に示す。2020年春期のプランクトン湿重量は、過去5年間と比べると5月中旬および5月下旬に定点1で高い値となった。

2020年の調査結果

表 1 に、調査月日、定点毎の海洋観測結果及びサケ幼稚魚採集数を示す。浮上直後と思われる 0.16g 程のサケ稚魚から 8.33g までのサケ稚魚が採捕された。

サケ幼稚魚の採集状況における経年比較と旬比較

1996 年からの採集状況を図 8 に示す。2020 年は、用船調査を 7 回実施し、667 尾のサケ幼稚魚を採集した。1996 年から 2019 年までの平均採集尾数は 819 尾であり、用船一回あたりの平均採集尾数は 152 尾であった。2020 年春期調査は、平年と比べて総採集尾数、用船一回あたりの平均採集尾数ともに低い値となった。

旬別のサケ幼稚魚採集状況を図 9 に示す。なお、2015 年の 6 月中旬、2017 年の 4 月中旬および 6 月中旬は時化により調査自体が未実施もしくは曳網調査が実施できず、2016 年においても調査船トラブルにより 4 月下旬から 5 月下旬にかけて調査を実施できなかった。

例年サケ幼稚魚の採集数は 4 月下旬から増え、5 月中旬に採集のピークとなり、5 月下旬には急激に少なくなる。2020 年は 4 月上旬から採捕があり、5 月上旬に稚魚の採集数のピークを迎え、5 月下旬の採捕はほとんどなかった。

耳石の解析結果

2020 年に採捕されたサケ稚魚の耳石温度標識割合を図 10 に示した。サケ幼稚魚の総採集数は 667 尾であり、耳石標識魚については、石狩川放流由来が 44.8% (豊平川含む)、余市川放流由来が 7.2%、日本海共通コード (天塩・尻別相沼内) が 0.3% であった。無標識魚については 47.6% の割合であった。2019 年度までの無標識魚の割合は平均 44.3% であり、耳石温度標識割合は例年並みであった。

2020 年に厚田沿岸で採捕された耳石温度標識からの各放流起源別の再捕率を表 2 に示す。2020 年の千歳川由来の耳石温度標識放流魚については 7 つの試験区を設定して放流しており、時期・サイズ別回帰比較試験で比較すると 3 月上旬放流と 3 月中旬放流は同程度の再捕率であったが、3 月下旬放流は 2 倍程度再捕率が高かった。また、晩期放流群の時期別河川回帰率試験においては、11 月中旬採卵群の方が 11 月下旬採卵群よりも高い再捕率であった。余市川由来の 3 つの放流群においては、4 月中旬放流群の再捕率が最も高かった。

サケ幼稚魚の体サイズ

図 11 に 2020 年春期に厚田沿岸域で採捕された採集魚全体の魚体重の成長推移及び耳石温度標識結果より前期採卵放流群、中期採卵放流群、晩期採卵放流群、また、無標識魚における成長推移を示した。2020 年春期については、4 月下旬から 5 月中旬にかけて多くの稚魚が確認され、平均魚体重は 1.48g から 2.60g であった。5 月下旬には千歳川由来の個体も含めた 4 個体が採捕され、平均魚体重は 4.07g であった。

厚田沿岸域調査の考察

2020 年春期については、適水温帯と思われる期間が非常に長くサケ稚魚にとって好適な水温環境であったと考えられるが、プランクトンの湿重量は一部の定点において例年よりも高い値がみられたものの、湿重量の値や変動は例年同様の傾向であった。

曳き網による採捕数は平年よりも少なかったが、厚田沿岸での稚魚確認数や採捕魚体重をみると、2020 年春期に降海したサケ稚魚は、ある程度大きくなった順に早めに離岸していったものとも考えられる。過去の経緯において厚田沿岸での採捕数が多かった年の回帰は、河川への回帰率が高い傾向があったが、海洋環境等の影響により、近年その傾向は崩れつつあるのかもしれない。

【昆布森沿岸域】

沿岸水温の状況

昆布森 7 号定置に設置している記録型水温計(水深 3m 層)の春期沿岸水温観測結果を図 12 に示した。2020 年の沿岸水温の特徴としては、6 月中旬に急激な水温低下が観測されたこと(11℃→5.5℃)及び、7 月中旬以降、過去 5 カ年平均水温より高い水温帯で推移したことが挙げられる。

なお、放流適期とされている沿岸水温 5～13℃の期間は過去 5 カ年平均では 5 月中旬～7 月下旬の 8 旬であったが、2020 年は 5 月中旬～7 月上旬の 6 旬であり、過去 5 カ年平均と比べ 2 旬短い状況であった。

サケ稚魚の採集状況

2 艘曳網によるサケ稚魚の採集数の推移を表 4 に示した。2020 年は 6 月 2 週～7 月 5 週にかけて 8 回の調査を実施し、2011 年以後の調査で 2 番目に多い、1,564 尾のサケ稚魚を採集した。また、採集したサケ稚魚の耳石温度標識魚(以下、標識魚)を確認したところ、1,564 尾のサケ稚魚から 311 尾の標識魚が確認された。2020 年の標識魚の混入率は 19.9%となり、ここ 10 年間で 2 番目に高かった(図 13)。

2020 年の幼稚魚採集調査における 2 艘曳き CPUE (1km 当たりの採集尾数)のピークは、③岸では 6 月 3 週、②中間と①沖では 7 月 2 週となり、2019 年と比較して③岸では 4 旬、①沖では 1 旬ピークが早かった。なお、2018 年以前は曳き網地点が異なる(定点 1～4 から横曳き)ため、厳密な比較は出来ないが、2020 年の CPUE は比較的高い状況であった(図 14)。

2020 年に確認された標識魚は北海道太平洋の釧路川から本州太平洋の岩手県までの広範囲にわたっていた。内訳は釧路川へ放流された鶴居さけます事業所由来が 34 尾、芦別ふ化場由来が 3 尾、十勝川へ放流された十勝さけます事業所由来が 157 尾、幕別ふ化場由来が 4 尾、えりも岬漁港へ放流された猿留ふ化場由来が 35 尾、静内川へ放流された静内さけます事業所由来が 30 尾、豊畑ふ化場由来が 12 尾、えりも以西統一コードが 37 尾、岩手県由来が 1 尾であった(図 15)。また、各地点における標識魚の採集状況を見てみると、十勝川・釧路川由来の標識魚は比較的岸寄りで採捕される割合が高く、えりも以西由来は沖ほど割合が高い状況であった(図 16)。

尾又長の度数分布について

2017～2020 年の 4 カ年で採集された稚魚の尾又長の度数分布を図 17 に示した。2020 年は尾又長 8.0～8.9cm の稚魚が最も多く採捕され、全体の 68%を占めた。また、稚魚の平均尾又長は 8.8cm となり、4 カ年の中では最も小さかった。

サケ標識魚の由来について

①えりも以東東部地区由来サケ稚魚

2020 年のえりも以東東部地区由来標識魚の採集月日と尾又長の状況を図 18 に示した。鶴居さけます事業所から釧路川へ放流された個体が 6 月 17 日～7 月 7 日に 34 尾(尾又長 7.7～10.7cm)、芦別ふ化場から釧路川へ放流された個体が 6 月 17 日に 3 尾(尾又長 8.4～8.9cm)採集された。

2020 年に採集されたえりも以東東部地区由来のサケ稚魚において、芦別ふ化場から一括放流された標識魚が 3 群あり、放流・採集時の尾又長および瞬間成長係数を表 5 に、尾又長の成長状況を図 19 に示した。いずれの群も 6 月 17 日に採集されており、尾又長 8.4～8.9cm、瞬間成長係数 0.0049～0.0055 と、尾又長・瞬間成長係数ともに狭い範囲に収まっており、同ような成長過程を辿ったことが推察された。

②えりも以東西部地区由来サケ稚魚

2020年のえりも以東西部地区由来標識魚の採集月日と尾叉長の状況を図18に示した。十勝さけます事業所から十勝川へ放流された個体が6月17日～7月7日に157尾(尾叉長7.6～9.9cm)、幕別ふ化場から十勝川へ放流された個体が6月17日～6月23日に4尾(尾叉長8.4～9.2cm)、また猿留ふ化場からえりも岬漁港へ放流された個体が6月17日～7月7日に35尾(尾叉長8.1～9.5cm)採集された。

これらのうち、十勝さけます事業所および幕別ふ化場から一括放流された群が6群あり、放流・採集時の尾叉長および瞬間成長係数を表5に、尾叉長の成長状況を図19に示した。いずれの群も放流日・放流サイズ・採集日に関係なく、尾叉長8.1～9.8cmで採集された。なお、十勝さけます事業所から一括放流された4群のうち、3月に放流された2群は瞬間成長係数0.0034～0.0035(平均0.0035)であったのに対し、4月に放流された2群の瞬間成長係数は0.0048～0.0093(平均0.0071)となり、4月に放流した群の方が高かった。また、4月に放流された2群は6月中旬～7月上旬にかけて採集されたが、沿岸水温が13℃を超えた7月上旬に採集された個体の瞬間成長係数(0.0048～0.0057)はそれ以前の旬に採集された個体の瞬間成長係数(0.0052～0.0093)よりも低い傾向が見られた。

③えりも以西日高地区由来サケ稚魚

2020年のえりも以西日高地区由来標識魚の採集月日と尾叉長の状況を図18に示した。静内さけます事業所から静内川へ放流された個体が6月17日～7月7日に30尾(尾叉長8.4～10.6cm)、豊畑ふ化場から静内川へ放流された個体が6月17日～7月7日に12尾(尾叉長8.9～11.0cm)採集された。

④えりも以西統一コード由来サケ稚魚

2020年のえりも以西統一コード標識魚の採集月日と尾叉長の状況を図18に示した。この標識魚は日高地区の日高幌別川、胆振地区の敷生川、道南地区の知内川から放流されており、6月17日～7月7日に37尾(尾叉長8.3～15.9cm)採集された。

⑤本州由来サケ稚魚

2020年の本州由来標識魚の採集月日と尾叉長の状況を図18に示した。岩手県統一コードの個体が6月17日に1尾(尾叉長13.8cm)採集された。この岩手県統一コードの標識魚は安家川、明戸川、田老川、津軽石川、織笠川、甲子川、盛川、気仙川から放流されている。

プランクトンの湿重量について

2020年、2019年及び2013～2018年平均の調査期間中の1m³当たりのプランクトン湿重量の推移を図20に示した。2020年は6月2週の定点2と定点4で例年を上回る状況であったものの、それ以外の結果は全て例年を下回っていた。

2020年の動物プランクトン個体数密度と分類群組成

ノルパックネットにより採集された動物プランクトン個体数密度(各調査日4定点の平均値)は、調査期間を通して39.2～3987.4個体/m³の範囲で変動した。個体数密度は、6月2週から7月3週にかけては1500個体/m³以上で変動していたが、7月4週以降は急激に減少し、特に7月5週では2013年以降で最も低い値を示した(図21)。

分類群組成は、体長2mm未満のカラヌス目カイアシ類がこれまでと同様に6月には最も優占していたが、7月になると時期の経過とともに減少し、これに代わって枝角類が優占するようになっていた。7月に枝角類の占める割合が高くなる傾向は2016年以降継続している。

2020年のサケ稚魚の胃内容物組成

2艘曳網により採集された稚魚のうち、各調査日各定点最大10尾について胃内容物を調査した。2020年の調査個体数は89尾であり、空胃個体は出現しなかった。

胃内容物指数(魚体重に占める胃内容物重量の割合)は、0.1~8.1%の範囲であり、調査期間を通じての平均値は2.6%で、2016~2019年までにみられた値(1.2~1.6%)よりも高かった。6月の胃内容物指数は2%以上と高かったものの、7月になると、2%以下と低くなる傾向にあった(図22)。

胃内容物組成(個体数比)は、各調査日で優占する種類は異なるが、サケ稚魚はこれまでの報告と同様に多様な餌生物を利用していた(図23)。6月の胃内容物組成は、体長2mm以上のカラヌス目カイアシ類、端脚類および魚卵・仔稚魚類の3群で全体の8割以上を占めていた。しかし、7月2週になると、この傾向とは異なり、枝角類および体長2mm以下のカラヌス目カイアシ類の占める割合が高くなっていた。

2. 春定置網及び港湾における調査

【えりも以西地区】

沿岸水温

2020年の各調査場所における日平均水温の推移を図24に示した。虎杖浜と室蘭では5月15日頃に8℃を超え、6月5日頃に13℃を超えた。厚賀と春立では5月26日頃に8℃を超え、厚賀では6月5日、春立では6月16日に13℃を超えた。

日平均水温8~13℃の期間の経年変化を図25に示した。室蘭では2019年、2020年両年とも8℃到達日と13℃到達日が例年より早かった。虎杖浜では2020年春の8℃到達日は例年と変わらないが、13℃到達日は比較的早かった。厚賀と春立では2020年春の8℃到達日は例年と変わらないが、13℃到達日は比較的早かった。

サケ幼稚魚採集状況

各調査場所の調査期間および耳石標識魚解析結果を表6に示した。全ての調査で採集したサケ幼稚魚は801尾で、そのうち耳石標識魚は約6%にあたる45尾であった(2019年春は20%)。

耳石標識魚は、えりも以西の3河川(知内川、敷生川、日高幌別川)から放流された共通標識群が21尾と最も多く、次いで静内川由来が18尾であった。その他、遊楽部川5尾、道東の釧路川由来が1尾であった。例年採集される北海道日本海側、本州太平洋側、本州日本海側由来の標識魚は採集されなかった。

体サイズ組成

2020年および過去3年において、採集日ごとに幼稚魚の採集状況を図26に示した。

2020年春の虎杖浜では5月中旬頃から主に6~8cm前後の幼稚魚が採集され、6月上旬から中旬になると10cm近いサイズを含めて、幅広い体サイズの個体が採集された。室蘭では調査開始時の5月下旬には4~10cmの幅広い体サイズの個体が採集され、6月中旬には5~8cmと比較的小型の個体が採集された。例年、室蘭と虎杖浜では調査時には数百から数万尾程度のサケ稚魚の群れが確認されたようだが、2020年に関しては多くても数十尾程度の群れが確認できたのみだった。

厚賀は幼稚魚を採集できず、春立では99尾と例年と比べて非常に少ない尾数となった。春立では6月下旬と7月上旬に6~9cmの個体が採集され、例年見られる10cmを超える個体は採集されなかった。

2020年春期の調査全体としては、採集尾数が少なく、10cmを超える個体が少なかったことが特徴としてあげられた。

採集日ごとの肥満度の変化を図 27 に示した。定期的なサンプリングができた虎杖浜と室蘭のデータからは、調査時期が遅くなるほど肥満度が低下する傾向が見られた。

採集尾数の少なかった春立では採集個体の肥満度は 8~10 前後で、例年採集された個体と大きな違いはなかった。

耳石標識別の放流・採捕結果(虎杖浜・室蘭)

・八雲さけます事業所(遊楽部)標識魚(図 28)

3 月中旬から 5 月上旬にかけて 8 パターンの標識群が遊楽部川へ放流され、そのうち 3 つの標識群が室蘭及び虎杖浜で再捕され、いずれも 5 月上旬放流群であった。定置網での再捕時期は 6 月上旬で、尾又長は 8~9cm であった。例年、3 月や 4 月放流群も定置網で採集されるが、今年は全く採集されなかった。

・豊畑ふ化場(静内川)標識魚(図 29)

4 月中旬から 5 月下旬にかけて 5 パターンの標識群が放流され、全ての放流群が室蘭及び虎杖浜で再捕された。4 月上・中旬放流群は 5 月中・下旬に 7~10cm で再捕された。4 月下旬から 5 月上旬の放流群は 5 月中・下旬に 5~9cm で再捕された。5 月下旬放流群は 5 月下旬から 6 月上旬に 6~8cm で再捕された。

・静内さけます事業所(静内川)標識魚(図 30)

4 月中旬から 5 月下旬にかけて 6 パターンの標識群が放流され、室蘭及び虎杖浜では 5 月中旬から 6 月上旬に再捕された。4 月に放流された標識群は 5 月中旬に約 6cm で再捕され、5 月上・中旬に放流された標識群は 5 月下旬から 6 月上旬に 7~8cm で再捕された。5 月下旬に放流された標識群は採集されなかった。

考察

胆振沿岸の調査地において稚魚が出現し始めた時期は、沿岸水温が 8℃となった 5 月中旬頃であった。出現が見られなくなった時期も 6 月中旬頃と沿岸水温が 13℃以上となった時期であり、沿岸におけるサケ幼稚魚の生息に適した水温は 8~13℃とする過去の知見と合致する状況であった。採集された幼稚魚は、調査期間を通して尾又長 6~8cm の個体が主体であり、例年のサイズと同様であった。例年、胆振沿岸の調査時には、数百から数万程度の群れが見られるが、2020 年春の調査ではそのような大規模な群れは見られなかった。この要因として、後述する日高地区での採集尾数が少なかったことや、八雲さけます事業所の結果から道南地区の早期放流群が採集されていない可能性も関係しているかもしれない。

日高地区(厚賀・春立)の採捕尾数は、2019 年春は 2690 尾で、2020 年春が 99 尾と非常に少なかった。厚賀・春立の海面下 3m の水温では 2019 年春の推移と大きくは変わらないが、6 月中旬は例年より高く推移した(図 31)。また、気象庁の表層水温では 6 月に入ってから例年より高く推移しており(図 32)、これらの要因から稚魚の離岸が例年より早まり、採集尾数が少ない結果となった可能性を考えている。また、2020 年の厚賀と春立の春定置では大型のサバが大漁であり、特異的な状況であったとの船頭談があった。サバ大群や、特異的環境(上記の高水温等)が複合的に幼稚魚採集結果に大きく影響したと考えられる。

日高地区の水温推移から、2020 年春期はサケ稚魚の成長に厳しい条件であったことが示唆されるが、餌料環境についての調査はしていないものの、7 月上旬に春立で採集された個体の肥満度は 8~10 であり、餌環境としてはそれほど悪い状況ではなかったことが推察された。

八雲さけます事業所の耳石標識放流結果からは、例年採集される 3 月と 4 月放流群が採集されず、5 月上旬放流群のみ採集された。その要因は今後検討していかなければならないが、回帰状況を注視する必要がある。

静内川の耳石標識放流結果からは、放流した標識群のほとんどが春定置調査で採集されていた。ただ、本調査では5月25日と26日に静内さけます事業所から最終放流した群は採集されなかったが、道東の昆布森では採集された。沿岸の高水温により離岸が早まった可能性やその他放流群とは回遊経路が異なる可能性が考えられる。

静内さけます事業所と豊畑ふ化場では、放流時期やサイズは似通っているが、豊畑ふ化場由来の稚魚が比較的大型で採集された。単純な比較はできないが、放流サイズが豊畑ふ化場と静内さけます事業所でそれぞれ体長6.2～7.2 cm(体重1.9～3.0g)、5.6～6.6 cm(1.5～2.3g)と多少の違いが見られた。このことが採集時のサイズに影響している可能性も否定できない。

これまでの考察で述べたように、年ごとに沿岸環境が大きく異なり、そのことが稚魚の移動や成長に大きく関わってくることから今後も継続して調査を実施していくことで、減耗の大きい沿岸域での知見を集積することができる。今後はこれらの情報と回帰状況を鑑みて、放流手法を改善していくことが必要となる。

【えりも以東地区】

沿岸水温

調査地点での日平均水温の推移を図33に示す。2020年の大樹沿岸では、観測開始時の5月15日には6.3℃であった。その後、上昇と低下を繰り返しながら、6月16日には10℃に達した。それ以降は過去4年と比べてやや高めに推移しながら、7月5日には13℃に達した。それ以降は8月上旬まで13℃を下回ることなく上昇した。

サケ幼稚魚採集状況

調査月日、調査方法別のサケ幼稚魚採集尾数を図34に、採集したサケ幼稚魚の写真を写真1に示す。6回の調査のうち、たも網では計179尾を採集した。5月28日は定置網の網おこし時に幼稚魚を採集できず、漁港でサンプリングを行った。5月28日以外は定置網の網おこし時に幼稚魚を採集した。定置網で漁獲されたマダラの胃内容物調査では、6回の調査で計47尾を調査し、このうち5尾がサケ幼稚魚を捕食しており、胃内容より計25尾のサケ幼稚魚を採集した。また、漁協より提供を受けたアメマス計8尾を調査し、このうち1尾がサケ幼稚魚を捕食しており、胃内容より1尾のサケ幼稚魚を採集した。これらを合計すると、採集尾数は205尾であった。その他、主にマダラの胃内容物からサクラマス幼稚魚を54尾採集した。

サケ幼稚魚の体サイズ

尾叉長の測定が可能であったサケ稚魚について、調査日別の尾叉長、体重、肥満度を図35に示す。5月28日に漁港内で採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長は4.67cm、体重0.89gと小さかった。6月9日にすべて胃内容より採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長は13.13cm、体重18.94gと大きかった。6月2日、6月23日、6月30日に採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長は7cm台、体重は3g台であり、一般的な離岸サイズに近い大きさであった。また、6月23日、6月30日に採集されたサケ幼稚魚の肥満度はそれぞれ7.4、6.3と低かった。

耳石分析結果

耳石温度標識確認結果を表7に示す。採集した205尾のサケ幼稚魚のうち、203個体の耳石分析が可能であった。このうち耳石温度標識は合計で24尾確認され、混入率は11.8%であった。

確認された標識魚の起源については、えりも以東海区由来では十勝川 18 尾、釧路川 2 尾であった。また、えりも以西海区由来ではえりも漁港 1 尾、日高幌別川と知内川、敷生川の共通コードが 3 尾であった(表 7)。えりも以東海区及びえりも漁港由来の標識魚は 6 月 2 日を中心に採捕されたのに対し、えりも以西由来の標識魚はすべて 6 月 9 日以降の再捕であった(表 7)。本調査で採集された十勝川(十勝さけます事業所)由来の耳石温度標識魚について、放流月日別、調査月日別の再捕尾数を表 8 に示す。十勝さけます事業所から、9 種類の耳石温度標識を施標した合計 16,206 千尾のサケ稚魚を 3 月 12 日から 5 月 26 日の期間に放流した。5 月 28 日の調査では 4 月 28 日から 5 月 7 日に放流された標識魚が 1 尾、6 月 2 日の調査では 4 月下旬以降に放流された標識魚を中心に 16 尾の標識魚が再捕された。

大樹地区の考察

5 月 28 日、6 月 2 日に採捕されたサケ幼稚魚は、確認された耳石標識魚の由来がすべて調査定点近隣または東側の海域の河川であったことから、十勝川、釧路川を中心とした東側の河川由来、及び近隣の河川由来の幼稚魚が中心であり、体サイズの分布から沿岸帯泳期の幼稚魚が中心であったと考えられる。また、6 月 9 日以降に採集された幼稚魚は耳石標識魚の由来が調査定点よりも西側の地区が多かったため、えりも以西地区由来の幼稚魚が中心であったと考えられる。

【宗谷港】

幼稚魚の採集結果

5 月 12 日～6 月 29 日の 10 回の調査でサケ 1,603 尾とカラフトマス 69 尾の幼稚魚を採集した(図 36)。採集尾数が最も多かった時期は 5 月中旬から下旬であり、その数は 122～510 尾/回だった。2018、2019 年の調査においても 5 月下旬には多くの幼稚魚が採集されている。これ以降、採集尾数は 6 月上旬、中旬に 26～58 尾/回へ減少するが、6 月下旬には 96 尾/回へと小幅ながら増加が見られた。

海水温

調査期間内に観測された宗谷港内の表層水温は 9.0～14.2℃、港外の表層水温は 8.2～15.0℃の範囲にあった(図 37)。5 月中旬 10℃前後で推移していた表層水温は、5 月下旬から上昇し、6 月上旬には 13℃を超え、6 月中旬に 14℃台に達したのち降下傾向に転じ、6 月下旬は 12℃台となった。

サケ幼稚魚の体サイズ

宗谷港で採集したサケ幼稚魚の尾叉長(FL)は、3.4～10.3cm の範囲にあり、平均は 5.7cm だった。体長組成(図 38)をみると、最も多かったのは 5cm 台の幼稚魚で全体の 53%を占めた。5 月 21 日までの調査では採集魚の体サイズは全て 7.0cm 未満であったが、5 月 27 日以降はこれより大型の幼稚魚が採集され、沖合移行サイズと考えられる 8.0cm 以上の個体も 134 尾採集された。

耳石分析結果

採集したサケ及びカラフトマスの幼稚魚 1,672 尾の耳石を分析した結果、北海道日本海～オホーツクの河川等に由来する 95 尾の耳石温度標識魚(標識魚)が確認された(表 9)。また、このほか、ロシア由来と考えられる標識魚が 6 尾見ついている。

北海道日本海由来のサケ標識魚は、天塩川、石狩川への放流群と、北海道日本海共通標識魚(天塩・尻別・相沼内川の 3 河川で共通標識使用)で、5 月下旬～6 月上旬を中心に計 81 尾が再捕された。オホーツク由来のサケ標識魚は、徳志別川、幌内川への放流群と、オホ

ーツク共通標識魚(頓別川・常呂川の2河川で共通標識使用)で、6月24日に集中して計8尾が再捕された。カラフトマス標識魚は徳志別川のほか、宗谷管内及びオホーツク中部の河川や漁港への放流群で、計6尾が再捕されている(図39)。

天塩さけます事業所から放流された天塩川の標識魚は5月12日～6月4日の期間に52尾(FL4.7～10.0cm)が再捕された。このうち2月中旬及び3月上旬の放流群は、今回初めて宗谷港で再捕された。その2群の再捕時の尾叉長はそれぞれ平均9.2cm、8.7cmあり、他の天塩川標識魚(同7.0～8.1cm)に比べ採捕数は少ないものの、体サイズは大きかった(図40)。

宗谷港の考察

宗谷港での幼稚魚採集数は5月中旬～下旬に大きなピーク、そして6月下旬に小さなピークが見られた。調査開始当初の採集数については、宗谷港から日本海側へ海岸線に沿って約14km離れた位置にある増幌川で5月上旬に1,000～2,000千尾のサケ稚魚が放流されている影響も考えられるが、このような採集数の増減傾向は、2017～2019年にも見られている。また、宗谷港で採集された日本系サケ標識魚の由来地域は、北海道日本海とオホーツクの2地域であり、両者が再捕されたのはそれぞれ5月下旬～6月上旬、6月下旬が中心となっていて、前年同様、再捕時期は分かれていた。北海道日本海については、2018～2019年調査でもほぼ同時期(5月下旬～6月上旬)に同河川(天塩川、石狩川、天塩・尻別・相沼内川共通)の標識魚が再捕されており、同地域起源の幼稚魚の主な移動時期を反映している可能性が考えられた。オホーツクに由来するサケ標識魚についても、前年に続き6月下旬に複数の標識魚が再捕された。現在の情報量では移動分布経路の検討は難しいが、オホーツク地域の放流魚の中には宗谷岬方面へ移動する幼稚魚もいて、それらが宗谷岬付近に出現する時期は北海道日本海起源の幼稚魚よりも遅い時期であると考えられた。

天塩さけます事業所から放流した標識魚5群は、その放流時期やサイズが異なり、再捕サイズも区々であるが、一部の比較的小さな個体を除き、5群とも同時期(5月下旬～6月上旬)に宗谷港に出現し再捕されている。このことも上述と同様に、サケ幼稚魚の移動時期を反映しているのかもしれない。また、2月中旬及び3月上旬に早期放流された2群は、過去の調査では1尾も再捕されていなかったため、適期放流群とは移動時期が異なる、移動経路が異なる可能性のほか、生き残りが悪い可能性が想定されたが、今回調査では複数個体が再捕され、さらに、早期放流の2群は他の標識群より再捕時の体サイズが大きく、沖合移行に十分な体サイズへ成長していた。各放流群の移動分布や生き残り条件等については今後も検討が必要である。

3. サケ幼稚魚の地理的起源推定

北海道太平洋沿岸の定置網5ヶ所(室蘭・虎杖浜・厚賀・春立・大樹)および昆布森沿岸で実施した各種調査で、合計2,577個体のサケ稚魚が採集された(表10)。このうち春定置網調査5ヶ所におけるサケ幼稚魚の採集尾数は、室蘭193個体、虎杖浜509個体、厚賀0個体、春立99個体、大樹205個体(マダラおよびアメマスの胃内容物から採集した26個体を含む)で、虎杖浜における採集尾数が最も多かった。一方、厚賀ではサケ幼稚魚の捕獲が無く、例年と異なる様相を示した。昆布森における採集尾数は1,571個体で、春定置網調査よりも多く採集された。採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長±標準偏差は、室蘭で6.87±0.97cm、虎杖浜で6.94±1.00cm、春立で7.24±0.68cm、大樹で6.78±1.98cm、昆布森で8.78±0.57cmとなり、春立において例年よりも小さい傾向を示した(図41)。尾叉長分布を見ると、室蘭・虎杖浜・春立は7cm付近に、昆布森は9cm付近にピークを持つ一峰型の、大樹は5cm付近と7cm付近にピークを持つ二峰型の形状を示した(図42)。また、尾叉長10cm

以上の大型魚は、大樹では採集されたものの、例年見つかる春立や昆布森ではほとんど確認されなかった。

採集したサケ幼稚魚のうち 2,570 個体について耳石温度標識の有無を調べた結果、各地のふ化場から放流された耳石温度標識魚が 380 個体(14.8%)確認された(表 11)。放流起源は北海道えりも以西地域 125 個体、北海道えりも以东地域 254 個体、本州太平洋地域 1 個体であった。調査定点別では、室蘭・虎杖浜・春立の 3 定点ではいずれも北海道えりも以西地域由来の耳石温度標識魚が優占し、その多くは静内川(静内事業所・豊畑ふ化場)由来あるいはえりも以西統一コード(日高幌別・敷生・知内)が標識された個体であった。また室蘭・虎杖浜では道南の遊楽部川(八雲事業所)を由来とする個体も採集された(表 11)。大樹および昆布森で再捕された耳石温度標識魚の多くは北海道えりも以东地域を起源とする個体で、その由来は十勝川(十勝事業所・更別第 2 ふ化場)あるいは釧路川(鶴居事業所・芦別ふ化場)で占められていたが、えりも漁港に海中放流された標識魚も一定数再捕された(表 11)。また昆布森ではえりも以西由来の耳石温度標識魚も再捕された。一方、本州のふ化場を起源とする耳石温度標識魚は、岩手県統一コードを施標された個体が昆布森で 1 個体再捕されただけであり、例年と比較し非常に少なかった。

各種調査で採集されたサケ幼稚魚の一部について小型魚と大型魚に分け、それぞれ遺伝的系群識別による地理的起源の推定を行い、2015 年以降のデータと比較した。その結果、小型魚では例年同様、北海道 3 地域(日本海、オホーツク/根室、太平洋)を起源とするサケが優占しており、特に北海道太平洋系サケの割合が高かった(図 43a)。調査定点別では、室蘭および虎杖浜において例年と同様の傾向を示したが、春立では他地域・例年と比較し本州太平洋系および本州日本海系の割合が高い傾向を示した。一方、大樹および昆布森では本州太平洋系または本州日本海系は推定されなかった。昆布森で採集された大型魚について系群組成推定を行ったところ、本州太平洋系が一定割合推定されたが、本州日本海系の割合は低かった(図 43b)。

本調査で採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長は、例年 9cm 前後である春立で小さく、室蘭・虎杖浜と同程度の値を示した。また、尾叉長 10cm 以上の大型魚が春立や昆布森で例年と比較し少なかった。耳石温度標識の解析結果では、北海道えりも以西およびえりも以东由来の耳石標識魚の分布は例年と同様であったが、本州太平洋および本州日本海由来の耳石標識魚は皆無だった。一方、遺伝的系群識別による地理的起源の推定では、春立の小型魚で例年よりも本州太平洋系と本州日本海系の割合が高く、また昆布森の大型魚において本州太平洋系が一定割合推定され、その値は 2019 年よりも高かった。過去の調査から、本州太平洋を由来とする個体は大型魚として北海道太平洋沿岸に移動してくると考えられている(佐藤ほか 2016)。2020 年は大型個体の採集が少なく、また本州由来の耳石標識魚がほとんど再捕されていないが、遺伝的系群識別では小型魚・大型魚ともに本州太平洋系の分布が推定されたことから、本年は本州太平洋を起源とする少数のサケ幼稚魚が 5~7 月にかけて北海道太平洋沿岸までたどり着いている可能性が考えられた。

4. サケ幼稚魚の耳石日周輪解析

[北海道太平洋沿岸] 分析に供した 7 尾の推定降海時期は 4 月中旬(4/10~22)であり、降海時の尾叉長は 55.0~71.6 mm とやや大きめであった(表 12)。また、降海以降の成長速度は 0.69~0.93 mm/日と見積もられ(表 12)、過去の知見(Honda et al. 2017)と比べても高い成長速度に偏った。以上より、2018 年と 2019 年の春に降海した本州太平洋側河川起源のサケ幼稚魚では、4 月中旬に比較的大型サイズで降海し、その後高成長を遂げた個体は日高の沿岸まで到達できていたものと推察された。

[厚田沿岸]2019年の厚田沿岸域では、3月26日から6月4日までの期間に8回の曳網調査が実施され、402尾のサケ幼稚魚が採集されている(羅津ほか2020)。耳石温度標識を確認した結果、石狩川(豊平川含む)から放流された標識魚は45%を占めていた(羅津ほか2020)。本分析では、これら石狩川の標識魚のうち、調査日および調査定点ごとに最大20~30尾を無作為抽出したものを耳石日周輪解析のサンプルとした。分析に用いたサンプルの放流履歴、採集履歴および耳石日周輪解析の結果を表13に示す。

耳石日周輪解析の結果、推定された降海日は3月6日から5月8日に及んだ。このうち、実際の放流日以前に降海したと推定された個体は、ハッチコード(HC)2-2-3Hの2尾(最も早い放流月日との差:平均2日、範囲1~3日)、HC2-3,3Hの1尾(最も早い放流月日との差:1日)およびHC2-3-2Hの2尾(最も早い放流月日との差:平均2日、範囲:1~3日)であった。しかし、これらの個体は推定降海日と実際の放流日との乖離が平均2日ほどと僅かであったことから、日周輪解析の測定誤差が推定結果に与える影響は軽微であるものと考え、これらの個体も含めて以後の分析を行うことにした。

サンプル数が比較的多かったHC2-2-3H、HC2-3-2H、HC2-3,3HおよびHC2,3-3Hの4群について、平均放流サイズと推定降海サイズを比較したところ、推定降海サイズはHC2-3-2Hを除き、いずれの標識群とも放流サイズを下回る値を示した($t=-8.624\sim-4.5008$, $df=13\sim100$, $p<0.001$) (表13)。両者に有意差の認められなかったHC2-3-2Hは、放流月日が4月25日と遅かったことから、放流および降海から再捕までの日数が他の標識群に比べて短期間であり、そのことが放流サイズと降海サイズに差ない結果につながった可能性があると考えられる。その一方で、放流から再捕までの日数が経過した他の3群では、比較的大型で降海した個体から順次調査海域を離れた結果、再捕個体の降海サイズが放流サイズよりも小さい方に偏ったのかもしれない。

成長速度(降海から再捕までの体成長)は平均0.35~0.68mm/日と推定された。標識群ごとに平均成長速度と沿岸域での採捕率との関係を見たところ、両者には統計学的に有意な正の相関が認められた(図44: $r=0.77$, $p<0.05$)。もし再捕率の違いが降海後の生残の違いを反映しているとするならば、成長速度の高い標識群ほど生残が良いという傾向を反映したもののなのかもしれない。

成長速度を従属変数とする一般化加法モデルを検討するため、様々なモデルを検討した結果、説明変数として標識パターン、降海月日および降海サイズを含んだモデルが採択された(表14)。図45に、採択されたモデルの、成長速度に対する降海月日および放流サイズの効果をそれぞれ示した。降海月日の効果はM字型を呈し、2019年1月1日からの日数で93~104日(すなわち、4/4~4/15)の期間に、成長速度に対して負の効果が認められ、この期間に降海した個体では成長速度が低下していた可能性が示唆された。もう一方の降海サイズは成長速度に対して線形の関係が認められ、降海サイズFL45.97mm以上で成長速度に対して正の効果を与えた可能性が示唆された。採択されたモデルによる成長速度の推定値を図46に示す。図46から、全体的に大型で降海した個体において成長速度が高くなる傾向が認められた。ただし、4月上旬から中旬にかけて、成長速度のコンター図が上に凸型を示しており、この時期に降海した個体はその前後の時期に降海した個体に比べて、同じ成長速度を獲得するためにはより大型で降海する必要があったことを示している。なお、2019年3月中に大型(FL50mm前後<)で降海した個体の成長速度が高く推定されているが、該当するサンプルがほとんどないことからモデルによる外挿の結果である可能性が高く、結果の解釈には注意が必要であろう。

2017~2019年の厚田沿岸における成長速度を比較した結果(図47)、成長速度の年平均値は3年とも異なり、2017年>2019年>2018年の順番で大きいことがわかった(クラスカルウォリステスト: $\chi^2=99.186$, $df=2$, $p<0.0001$ 、[多重比較]ボンフェローニ補正によるマンホイットニーU検定: $p<0.0001\sim0.01$)。また、2017~2019年の石狩河口近傍の表面海水温の推

移を見ると、4月中は2017年の水温が最も高く、2019年は3月から4月中旬にかけて3年の中では水温が最も低く、5℃到達が4月中旬と遅かった(図48)。先の分析で、2019年4月上旬から中旬に降海した個体では成長速度が低下していた可能性を示したが、その理由として2019年の海水温の低さが影響した可能性がある。その一方で、4月中の海水温が2017年と2019年の間に相当した2018年は、成長速度が3年の中では最も小さかった。なぜ2019年よりも水温の高い2018年で、成長速度が2019年よりも劣ったのか、現時点では理由は不明である。2017年および2018年の分析結果では、ある特定の降海時期において、大型で降海した個体のほうが高い成長速度を獲得する傾向が認められた(斎藤ほか2019,2020)また2019年の分析結果でも、大型で降海した個体の方が高い成長速度を獲得する傾向が認められた。これらのことから、大型種苗の放流が高い成長速度の獲得、ひいては初期減耗の軽減に有効である可能性が3年の調査から示唆された。

【引用文献】

- Honda K., et al. (2017) Growth rate characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Pacific coast of Japan and reaching Konbumori, eastern Hokkaido. Fish. Sci., 83: 987-996.
- Honda K., et al. (2019) First report of growth rate of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* captured in the Sea of Okhotsk offshore. Ichthyol. Res., 66: 155-159.
- 羅津三則ほか. (2020)(3)-1-1.【厚田沿岸域】. 令和元年度さけ・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. 42-44.
- 斎藤寿彦ほか. (2019)(3)-1-4.【サケ幼稚魚の耳石日周輪解析】平成30年度さけ・ますふ化放流抜本対策事業調査事業 調査報告書. 65-70.
- 斎藤寿彦ほか. (2020) (3)-1-4.【サケ幼稚魚の耳石日周輪解析】令和元年度さけ・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.53-55.
- 佐藤俊平ほか. (2016) (1-6) 耳石標識と遺伝分析によるサケ稚魚の移動動態の解明. 平成27年度太平洋サケ資源回復調査委託事業 調査報告書. 47-55.



図 1. 調査地点図

定点 1～4 は環境測定を実施した場所を示し、赤矢印①～③は二艘曳網による稚魚採集を実施した調査ラインを示す。
 出典: 国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>)
 地理院タイル (電子国土基本図) に調査地点を追記して掲載。

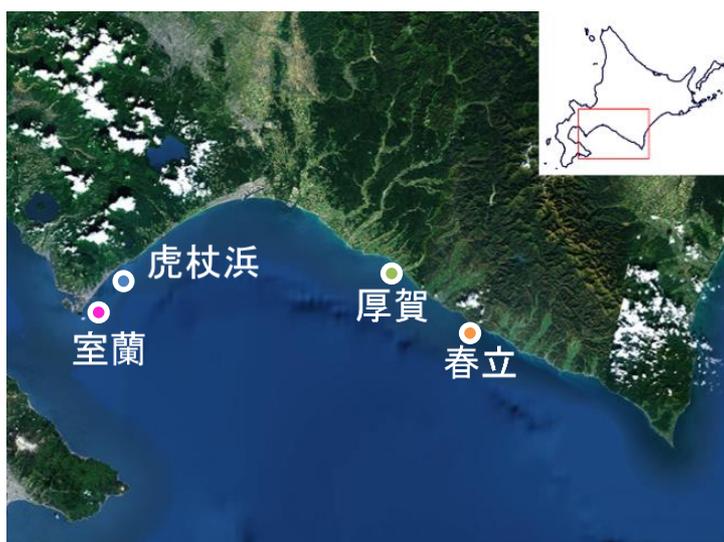


図 2. えりも以西調査地



図 3. さけます幼稚魚採集を行った位置
宗谷港の図示した位置で、集魚灯を用いて幼稚魚採集を実施。



図 4. 集魚灯採捕の様子
宗谷港において日没後に集魚灯を点けてさけます幼稚魚を採集した。集魚灯は海面を照らすように防波堤壁面に設置し、明かりに寄ってきた幼稚魚を1尾ずつたも網で掬い捕った。

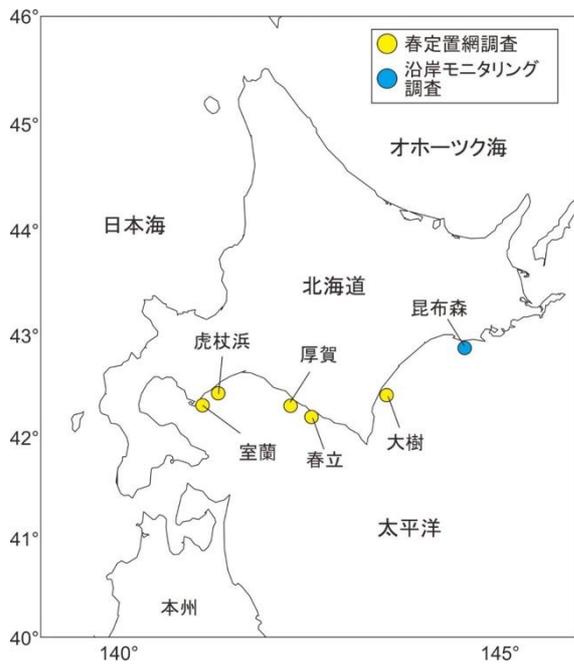


図 5. 2020 年 5 月－7 月にサケ幼稚魚を採集した春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査および沿岸サケ幼稚魚モニタリング調査の調査定点

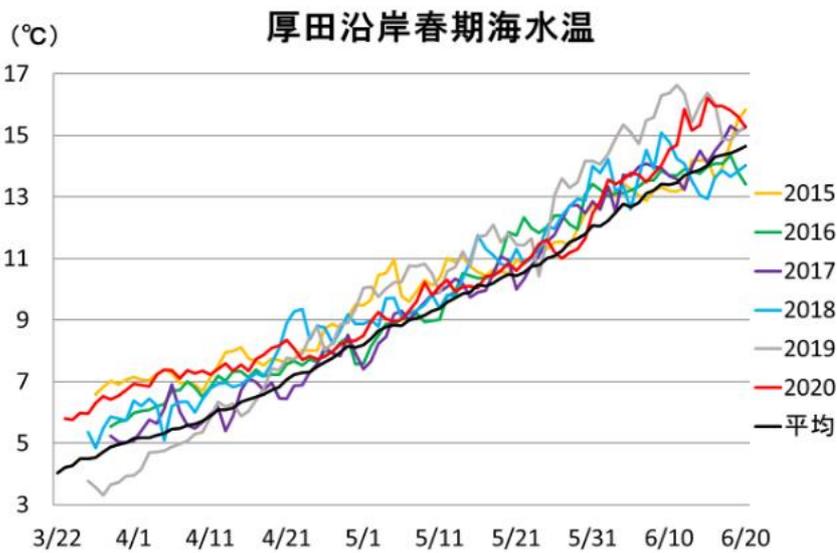


図 6. メモリ式水温計で測定した厚田沿岸域における春期海水温の推移(水深 3m)

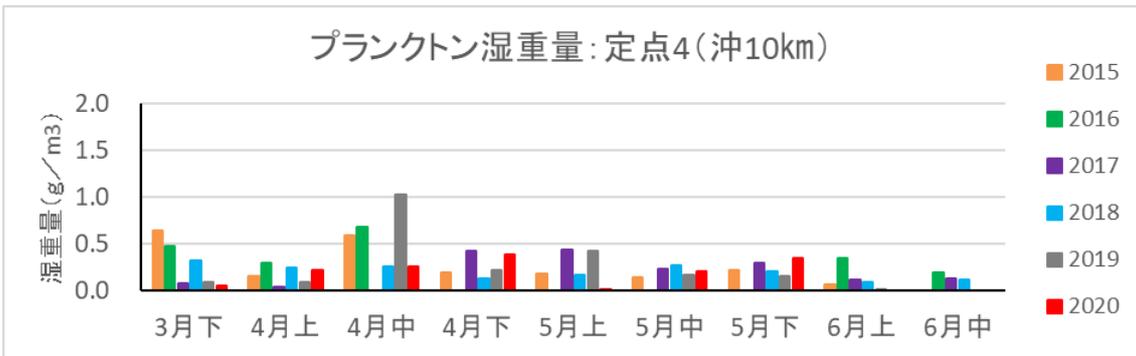
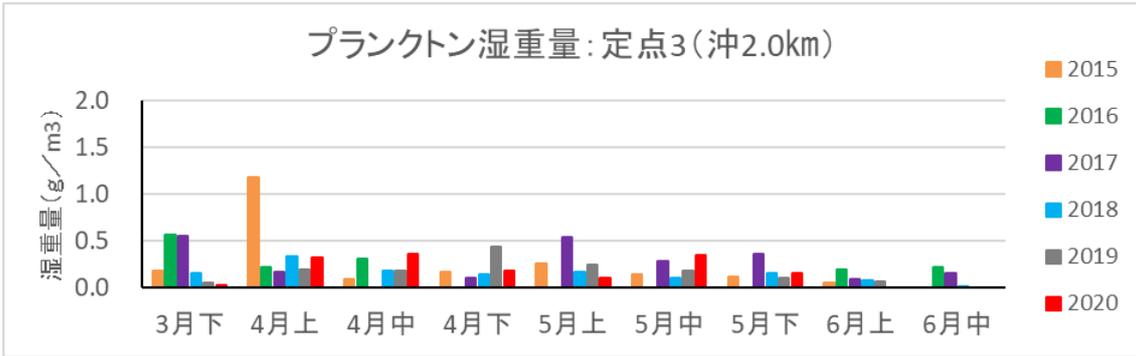
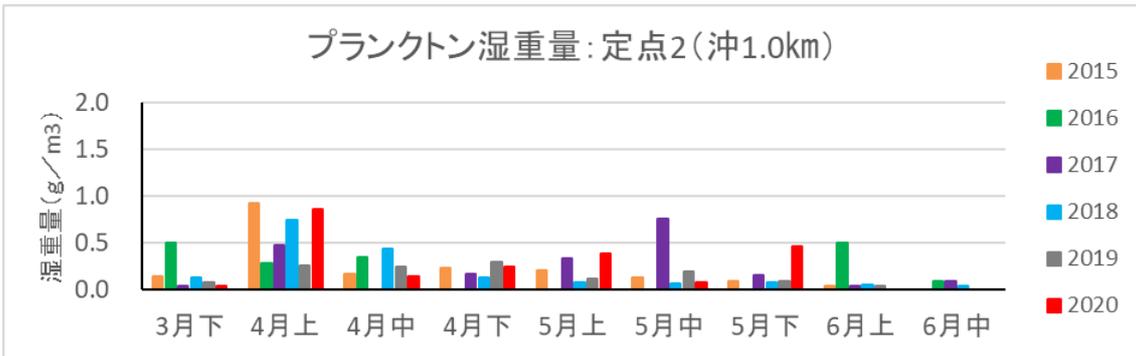
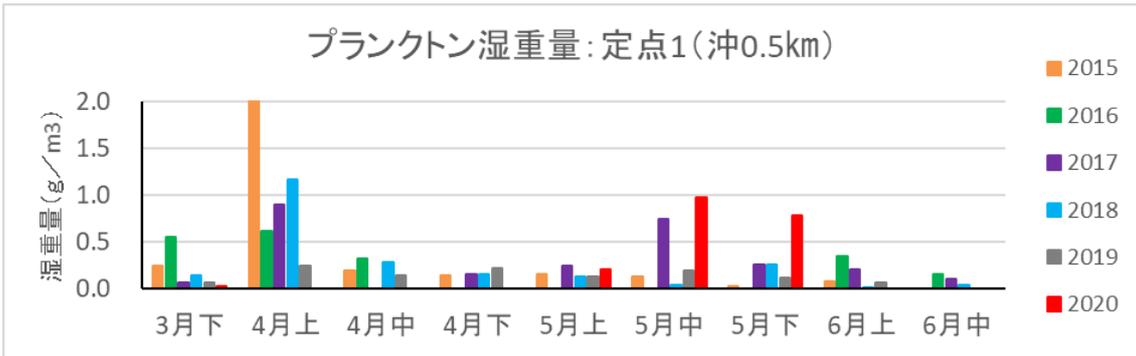


図 7. 厚田沿岸域における定点別の動物プランクトン湿重量

表 1. 2020 年厚田沿岸域における調査月日及び定点ごとの海洋観測結果とサケ幼稚魚採集数

調査月日	観測開始時刻	定点	距岸 (km)	水深 (m)	水深3m水温 (°C)	水深3m塩分 (PSU)	透明度 (m)	プランクトン湿重量 (g/m ³)	サケ幼稚魚採集数	魚体重(g)			備考
										最小	平均	最大	
3月27日	7:20	4	10.0	31	6.6	30.40	4.0	0.106					曳き網未実施
3月27日	8:22	3	2.0	21	6.2	32.03	2.5	0.070	3	0.89	1.41	1.81	
3月27日	9:12	2	1.0	21	6.3	31.81	2.0	0.122	20	0.20	0.73	1.62	
3月27日	9:56	1	0.5	16	6.3	31.90	2.5	0.050	0				
4月8日	7:27	4	10.0	31	7.3	31.71	3.0	0.726	3	0.54	0.80	1.05	
4月8日	8:40	3	2.0	21	7.4	32.36	4.0	0.608	8	0.33	0.60	1.03	
4月8日	9:25	2	1.0	18	7.4	32.27	2.5	0.486	2	0.42	1.19	1.95	
4月8日	10:07	1	0.5	16	7.4	30.64	2.5	0.286	5	0.16	0.55	1.04	
4月15日	7:31	4	10.0	31	7.4	32.35	13.0	1.154	0				
4月15日	8:35	3	2.0	21	7.4	29.55	3.0	0.990	1	0.25	0.25	0.25	
4月15日	9:21	2	1.0	19	7.4	28.95	3.5	0.292	3	0.56	0.73	0.85	
4月15日	10:03	1	0.5	16	7.7	25.96	3.5	-	1	0.72	0.72	0.72	
4月24日	7:14	1	0.5	16	8.0	31.69	2.0	-	240	0.44	1.65	5.99	
4月24日	8:57	2	1.0	17	8.0	31.69	2.5	0.450	105	0.41	1.16	5.58	
4月24日	9:37	3	2.0	21	7.8	31.95	5.0	1.110	10	0.26	0.74	1.13	
4月24日	10:30	4	10.0	30	7.8	31.82	4.0	1.090					曳き網未実施
5月8日	7:40	4	10.0	31	9.7	28.91	4.0	0.030	154	0.73	2.65	8.33	
5月8日	8:41	3	2.0	21	8.8	32.42	5.5	0.214	7	0.62	1.40	2.11	
5月8日	9:24	2	1.0	18	9.1	32.76	4.5	0.640	0				
5月8日	10:09	1	0.5	17	9.1	32.51	4.5	0.252	17	0.22	2.65	7.77	
5月19日	7:30	4	10.0				4.5	0.742	10	3.68	5.25	6.57	CTD測定未実施
5月19日	8:34	3	2.0				3.0	1.014	9	0.24	1.40	3.09	CTD測定未実施
5月19日	9:20	2	1.0				2.5	0.224	0				CTD測定未実施
5月19日	10:01	1	0.5				2.5	1.228	65	0.20	1.74	6.19	CTD測定未実施
5月26日	7:14	4	10.0	31	11.6	32.14	4.5	0.308	0				
5月26日	8:18	3	2.0	21	11.3	32.73	5.0	0.478	0				
5月26日	9:10	2	1.0	19	10.9	32.85	4.0	0.414	0				
5月26日	10:00	1	0.5	16	11.3	32.50	5.0	0.902	4	2.51	4.07	6.39	

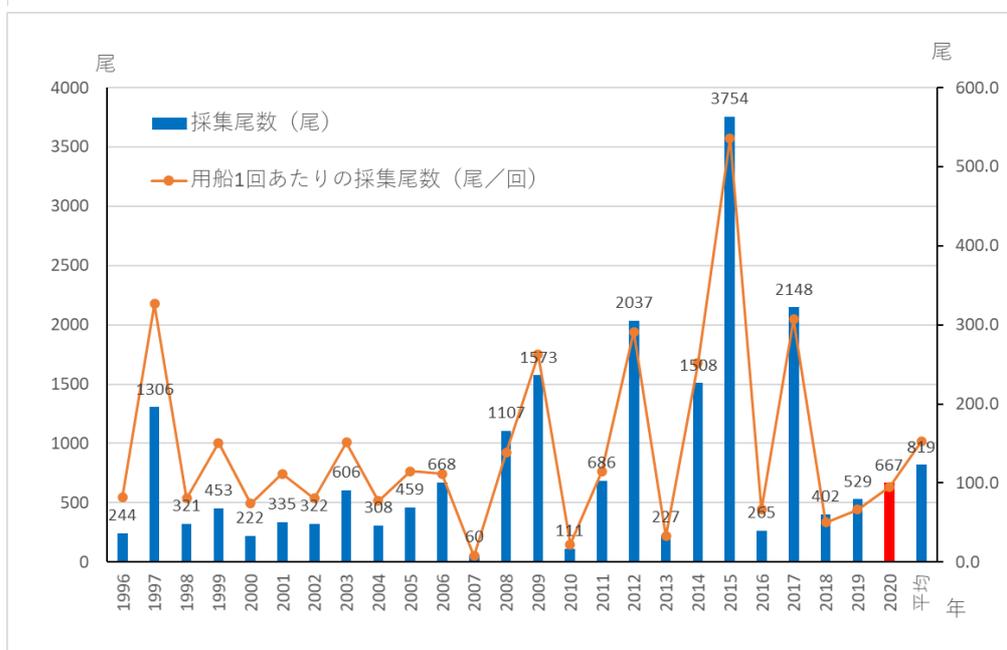


図 8. 厚田沿岸域における年毎のサケ幼稚魚採集数

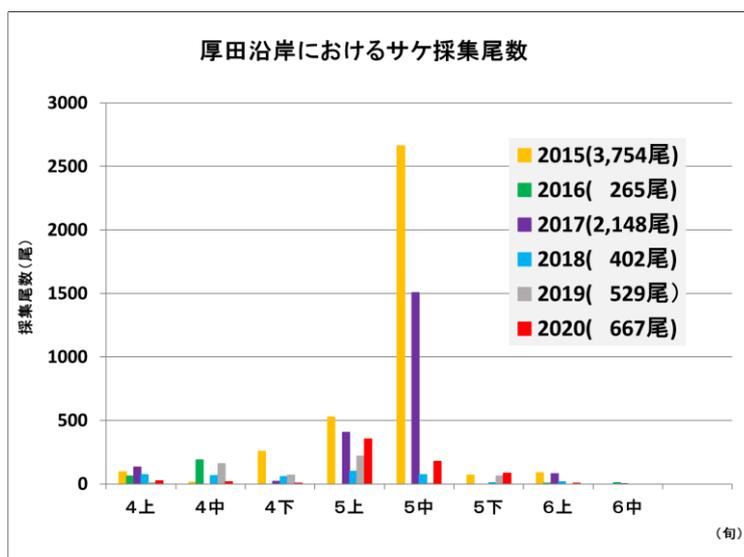


図 9. 厚田沿岸域における用船 1 回あたりのサケ幼稚魚採集尾数

耳石温度標識魚割合 2020年度春:2019年級

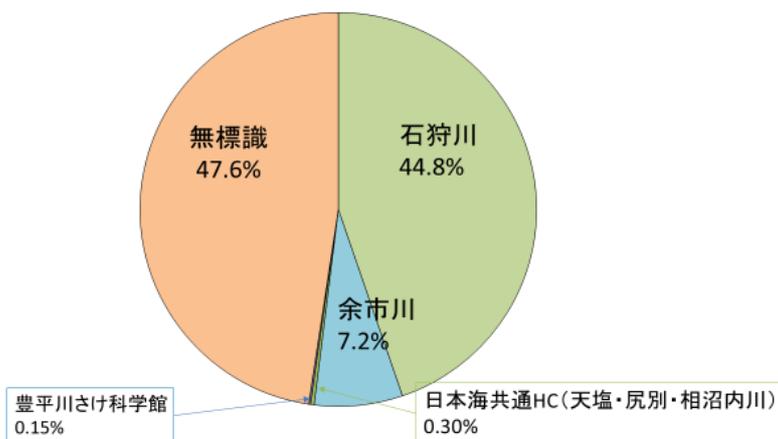


図 10. 2020 年春期に厚田沿岸域で採集された耳石温度標識別(放流起源別)の割合

表 2. 2020 年春期に厚田沿岸域で採集された耳石標識魚と採捕率

放流由来河川	放流区分	再捕率(%)
千歳 (石狩川)	時期・サイズ別回帰比較試験① (3月上旬1.0g以上放流)	0.00045%
	時期・サイズ別回帰比較試験② (3月中旬1.0g以上放流)	0.00038%
	時期・サイズ別回帰比較試験③ (3月下旬1.0g以上放流)	0.00099%
	採卵期別の河川回帰率の把握 (前期)	0.00088%
	採卵期別の河川回帰率の把握 (中期)	0.00109%
	晩期放流群の時期別河川回帰率試験④ (11月中旬採卵群)	0.00137%
	晩期放流群の時期別河川回帰率試験⑤ (11月下旬採卵群)	0.00079%
余市	3月下旬放流群	0.00069%
	4月上旬放流群	0.00042%
	4月中旬放流群	0.00148%
天塩・尻別・相沼内	日本海共通コード	0.00004%
石狩川	豊平サケ科学館	0.01587%

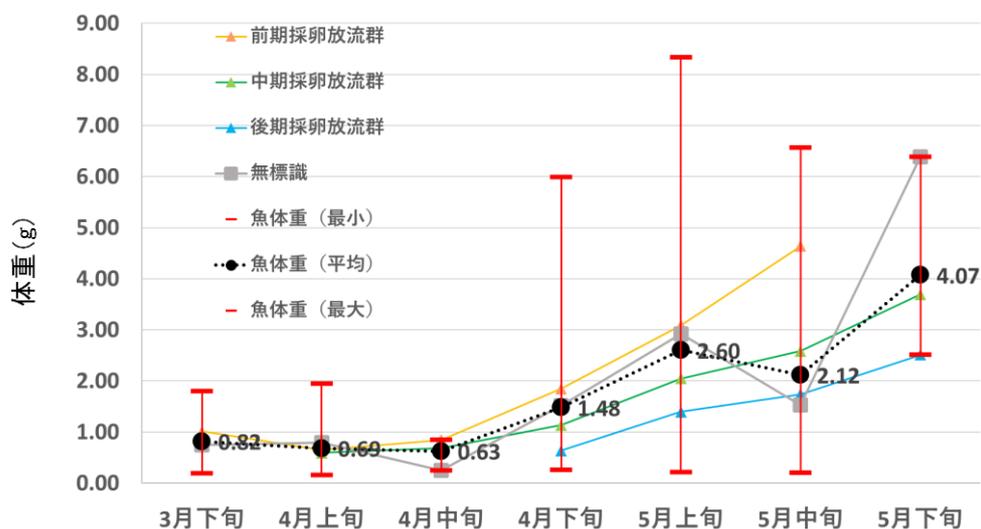


図 11. 2020 年春期におけるサケ幼稚魚の魚体重の推移

表 3. 2020 年春期に厚田沿岸域で採集された耳石温度標識魚数

		3/下	4/上	4/中	4/下	5/上	5/中	5/下
千歳 (石狩川)	時期・サイズ別回帰比較試験① (3月上旬1.0g以上放流)				4	2		
	時期・サイズ別回帰比較試験② (3月中旬1.0g以上放流)	3			1	1		
	時期・サイズ別回帰比較試験③ (3月下旬1.0g以上放流)		1		9	2	1	
	採卵期別の河川回帰率の把握 (前期)	2	8	1	56	30	8	
	採卵期別の河川回帰率の把握 (中期)		2	3	72	46	11	2
	晩期放流群の時期別河川回帰率試験④ (11月中旬採卵群)				8	13	5	
	晩期放流群の時期別河川回帰率試験⑤ (11月下旬採卵群)					1	6	1
	余市	3月下旬放流群	1			10	3	
	4月上旬放流群				4	4	2	
	4月中旬放流群				17	6	1	
天塩・尻別・相沼内	日本海共通コード				2			
石狩川	豊平サケ科学館					1		
	無標識	17	6	1	172	69	50	1
	解析不能		1					
	合計	23	18	5	355	178	84	4

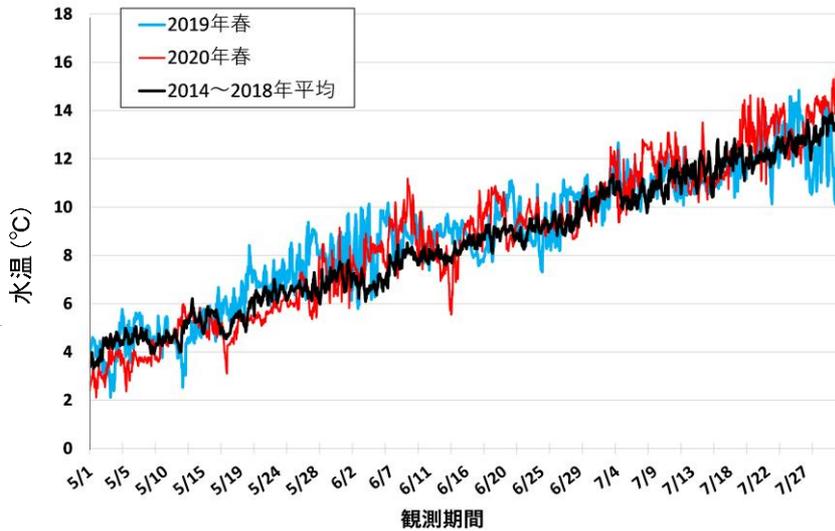


図 12. 沿岸水温の推移(昆布森沖 1.3km: 水深 3m 層)

表 4. 昆布森沿岸域における調査年別のサケ幼稚魚採集数の推移(単位:尾)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
6月1週	7	—	—	0	16	—	—	—	—	—
6月2週	0	0	0	243	0	0	0	4	0	0
6月3週	382	2	0	3	25	2	25		0	820
6月4週	161	231	0	0	61	3	0	33	136	107
6月5週	45	25	1,738	—	—	3	2	0	—	56
7月1週	0	89	—	25	—	—	—	15	90	—
7月2週	0	38	8	4	6	163	0	39	413	578
7月3週	27	—	24	0	0	29	0	25	227	1
7月4週	—	0	3	6	1	38	5	4	39	1
7月5週	—	—	—	—	48	0	—	—	—	1
計	622	385	1,773	281	157	238	32	120	905	1,564

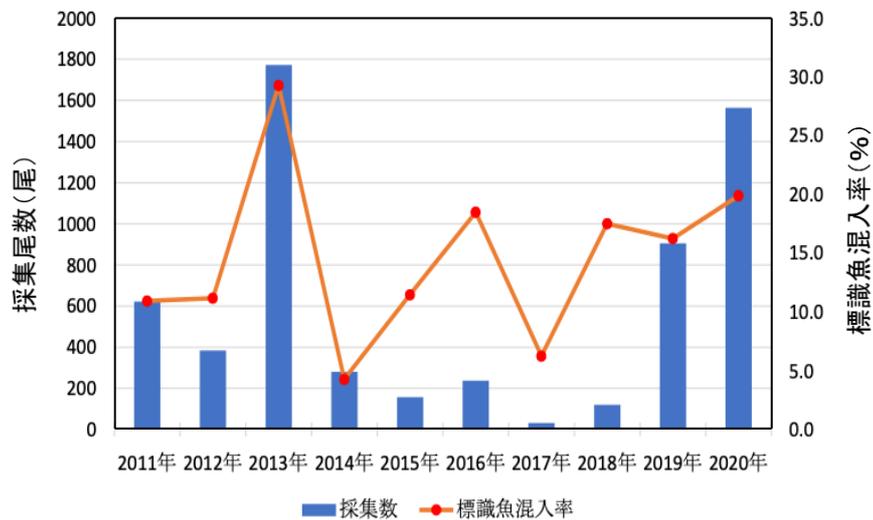
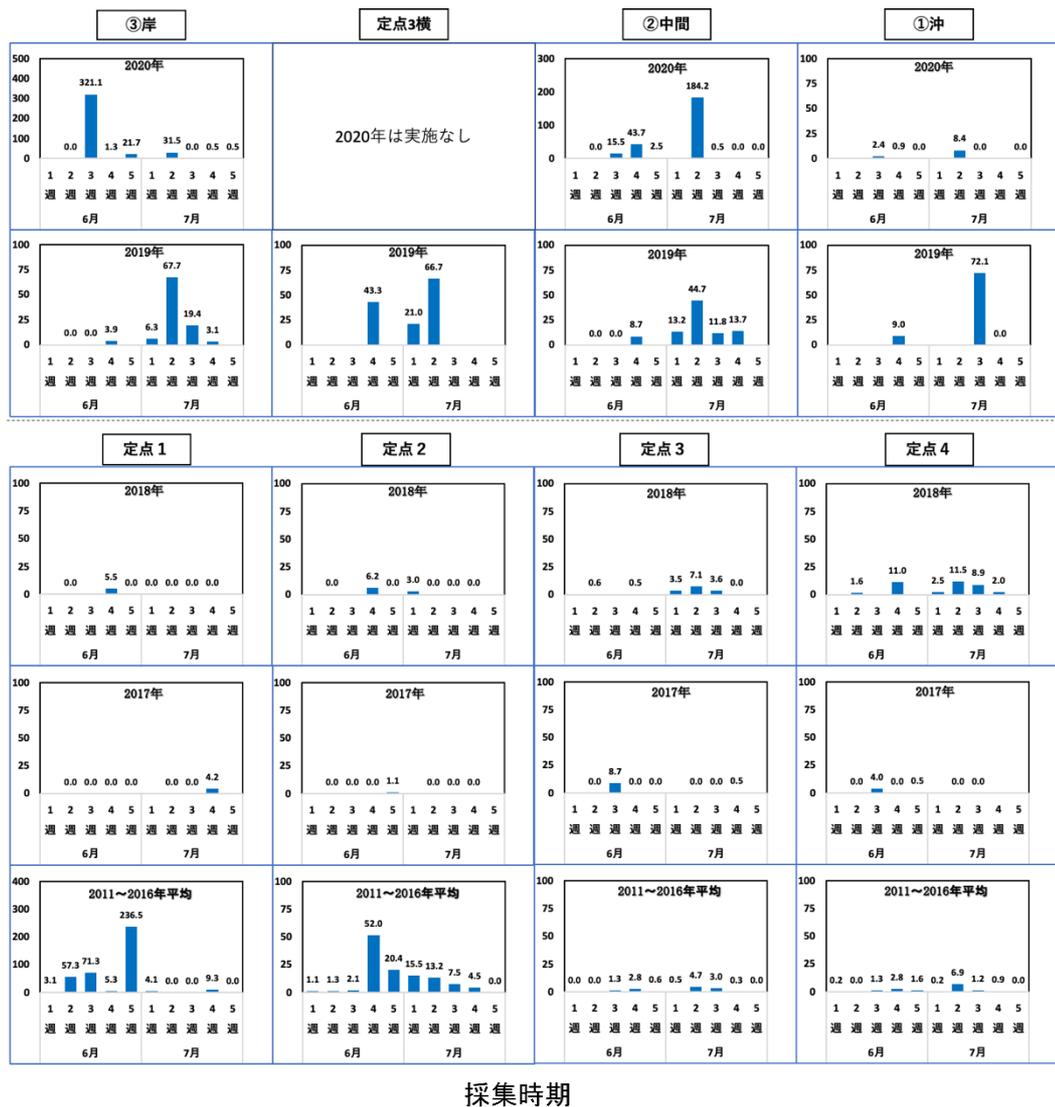


図 13. 昆布森沿岸域における調査年別のサケ幼稚魚採集数と耳石温度標識魚の混入率の推移

曳網 1km あたりの採集尾数 (CPUE)



採集時期

図 14. 昆布森沿岸域で採集されたサケ幼稚魚の調査地点別 CPUE(尾/km)の推移
 上 2 段の図は 2020 年、2019 年の調査地点別 CPUE を、下 3 段の図は過去の近似調査
 点の CPUE をそれぞれ示す。

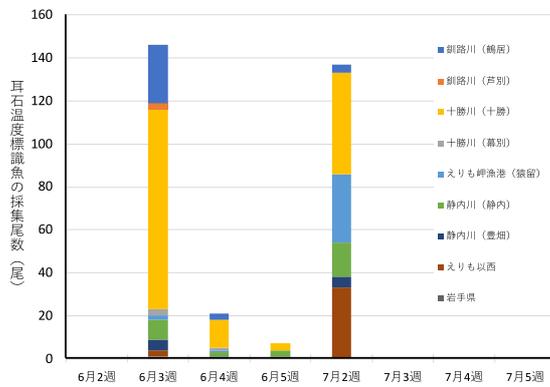


図 15. 2020 年に昆布森沿岸域で採集されたサケ幼稚魚の調査時期別採集数および耳石温度標識由来(括弧内はさけます事業所やふ化場を示す)

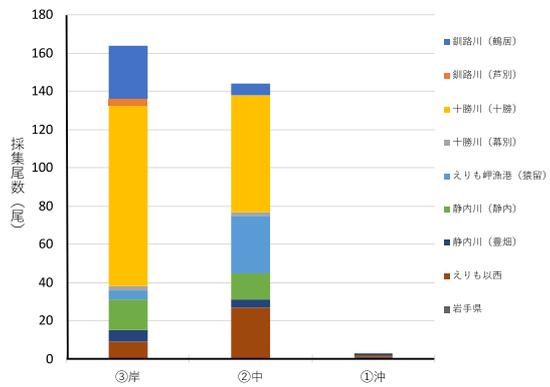


図 16. 2020 年に昆布森沿岸域で採集されたサケ幼稚魚の調査地点別採集数および耳石温度標識由来(括弧内はさけます事業所やふ化場を示す)

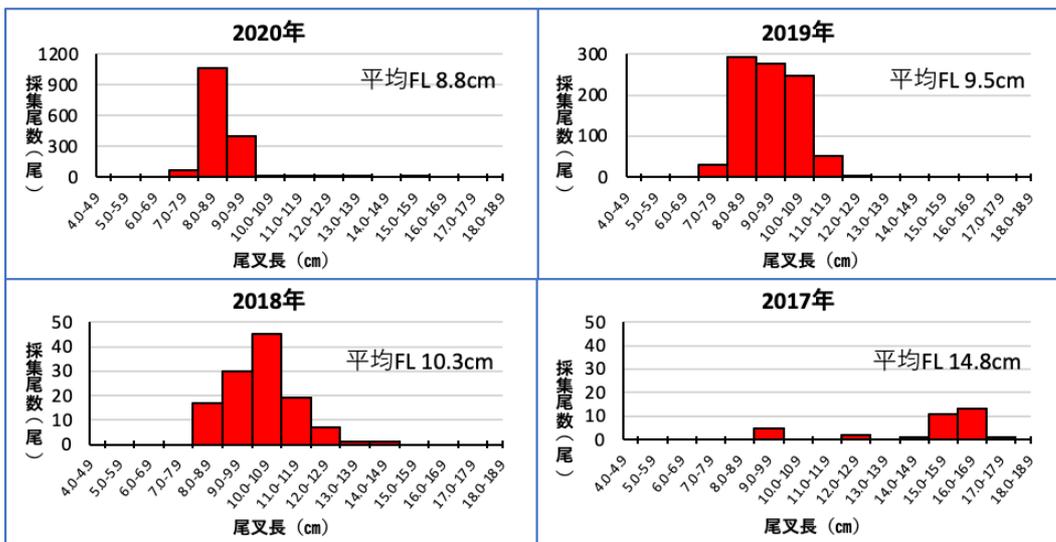


図 17. 昆布森沿岸で採集されたサケ稚魚の尾叉長分布

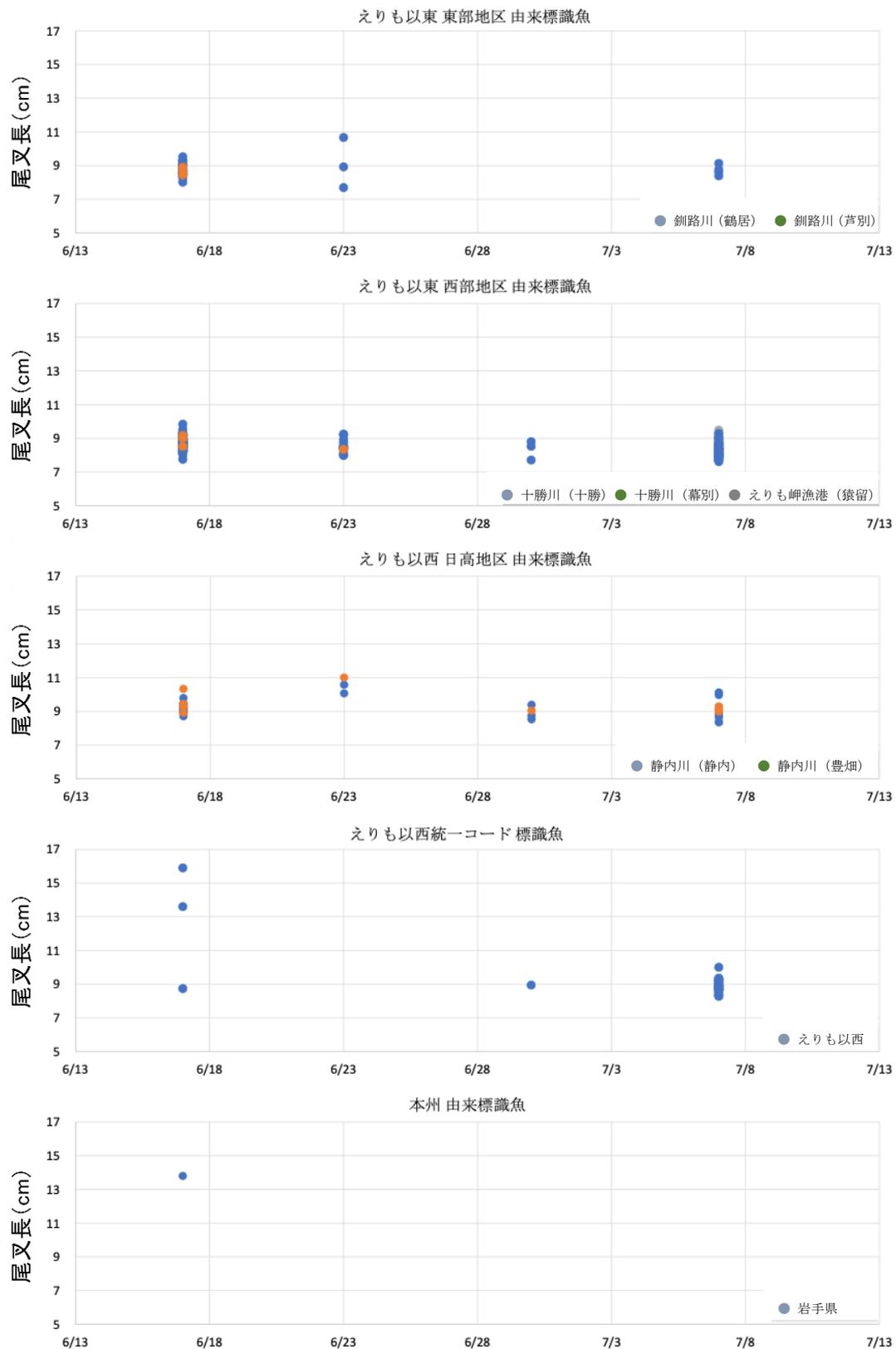


図 18. 昆布森沿岸域で確認された放流地区別標識魚の再捕日と尾叉長の状況

表 5. 昆布森沿岸で確認された一括放流された標識魚の放流時、採集時の尾叉長および瞬間成長係数

放流時データ						昆布森沿岸採集時データ		
標識コード	放流先	放流場	放流日	平均尾叉長 (cm)	放流数 (千尾)	採集日	尾叉長 (cm)	瞬間成長 係数
2n,2n-2H	釧路川水系	芦別	3月27日	5.8	1,344	6月17日	8.7	0.0049
2n-2n,2H	釧路川水系	芦別	3月27日	5.8	1,344	6月17日	8.9	0.0052
2n-2n,3H	釧路川水系	芦別	4月3日	5.6	1,366	6月17日	8.4	0.0055
2-5,3H	十勝川水系	十勝	3月12日	6.0	1,249	6月17日	8.4	0.0034
2-5-3H	十勝川水系	十勝	3月13日	6.3	1,247	6月17日	8.9	0.0035
2-5-2H	十勝川水系	十勝	4月27日	6.3	1,472	6月17日	8.5	0.0058
						6月17日	8.2	0.0052
						6月17日	9.0	0.0069
						6月17日	8.6	0.0061
						6月17日	8.9	0.0068
						6月17日	8.7	0.0064
						6月17日	8.5	0.0058
						6月17日	9.5	0.0081
						6月17日	8.7	0.0063
						6月17日	9.8	0.0088
						6月17日	9.1	0.0073
						6月17日	9.3	0.0077
						6月17日	9.3	0.0076
						6月17日	8.6	0.0060
						6月17日	9.1	0.0073
						6月17日	9.2	0.0074
						6月17日	8.8	0.0065
						6月17日	8.3	0.0053
						6月17日	8.5	0.0058
						6月17日	8.8	0.0066
6月17日	8.8	0.0065						
6月17日	8.3	0.0055						
6月23日	9.3	0.0067						
7月7日	8.9	0.0049						
2,5,4H	十勝川水系	十勝	4月27日	5.8	1,495	6月17日	8.8	0.0082
						6月17日	8.8	0.0082
						6月17日	9.0	0.0087
						6月17日	9.3	0.0093
						6月17日	8.4	0.0072
						6月17日	8.7	0.0080
						6月17日	8.7	0.0080
						6月17日	8.7	0.0079
						6月17日	8.8	0.0081
						6月17日	8.5	0.0075
						6月17日	8.4	0.0074
						6月17日	8.7	0.0080
						6月17日	8.5	0.0076
						6月17日	8.2	0.0068
						6月23日	8.5	0.0068
						6月23日	8.9	0.0076
						7月7日	8.1	0.0048
						7月7日	8.7	0.0057
2,4,1,2H	十勝川水系	幕別	3月15日	5.1	2,107	6月23日	8.4	0.0049
2,4,1,3H	十勝川水系	幕別	3月15日	5.0	1,401	6月17日	9.0	0.0063
						6月17日	9.2	0.0065
						6月17日	8.5	0.0057

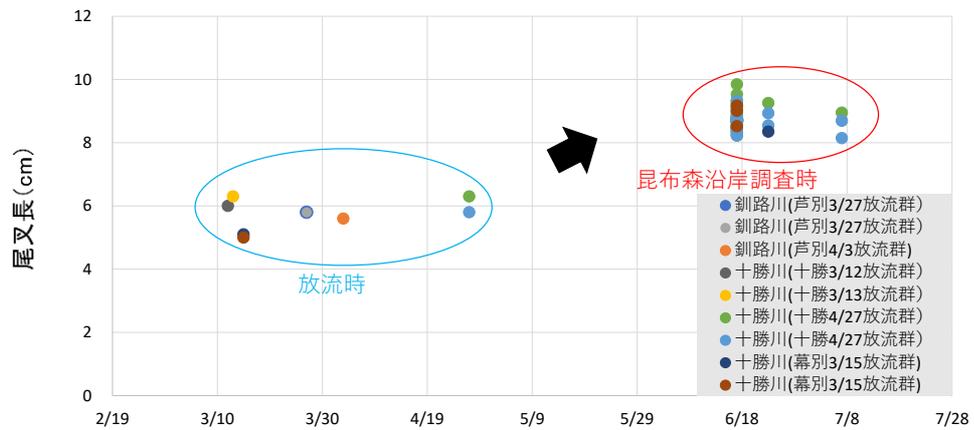


図 19. 昆布森沿岸域で確認された一括放流された標識魚の放流時、採集時の尾叉長の状況

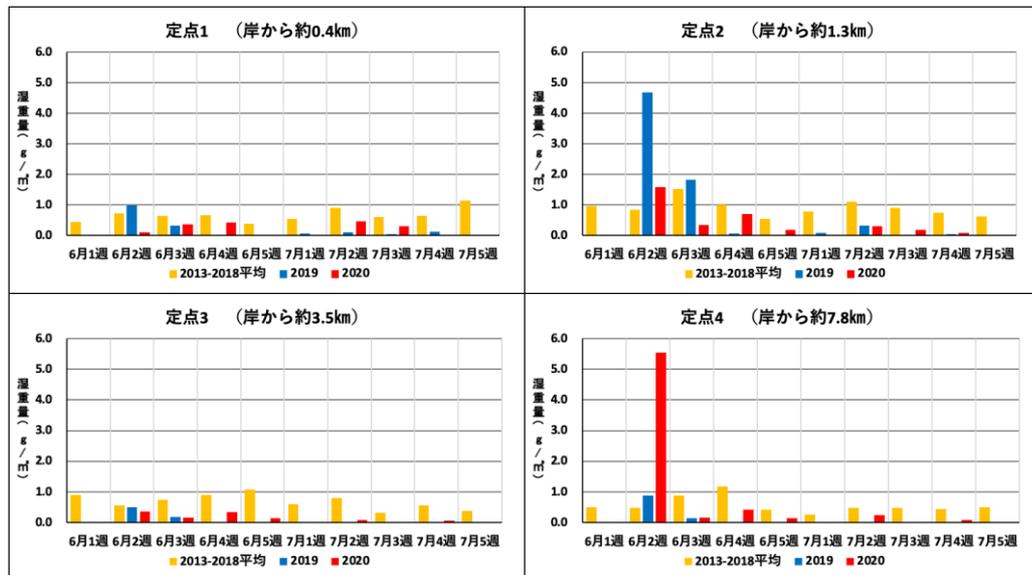


図 20. 昆布森沿岸においてノルパックネットによって採集された動物プランクトン湿重量の季節変化

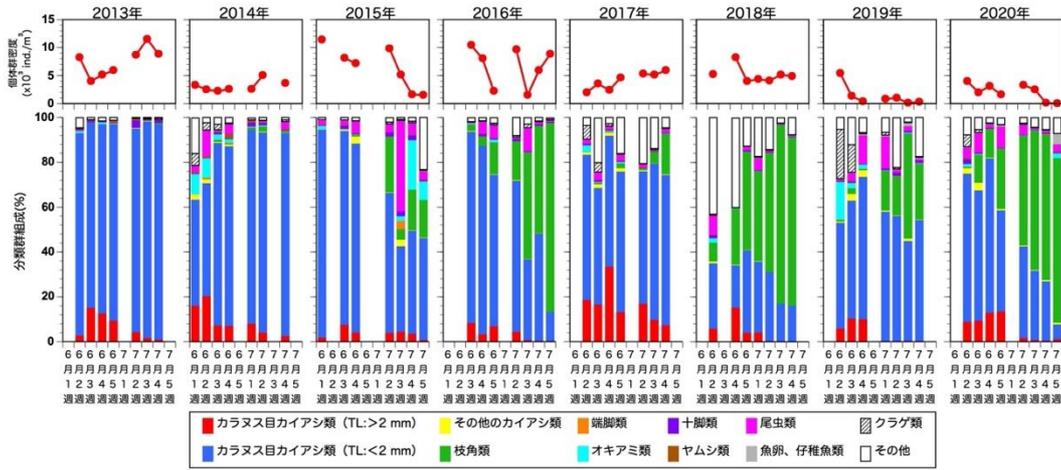


図 21. 昆布森沿岸域における動物プランクトンの個体数密度と分類群組成(4 定点の平均値)

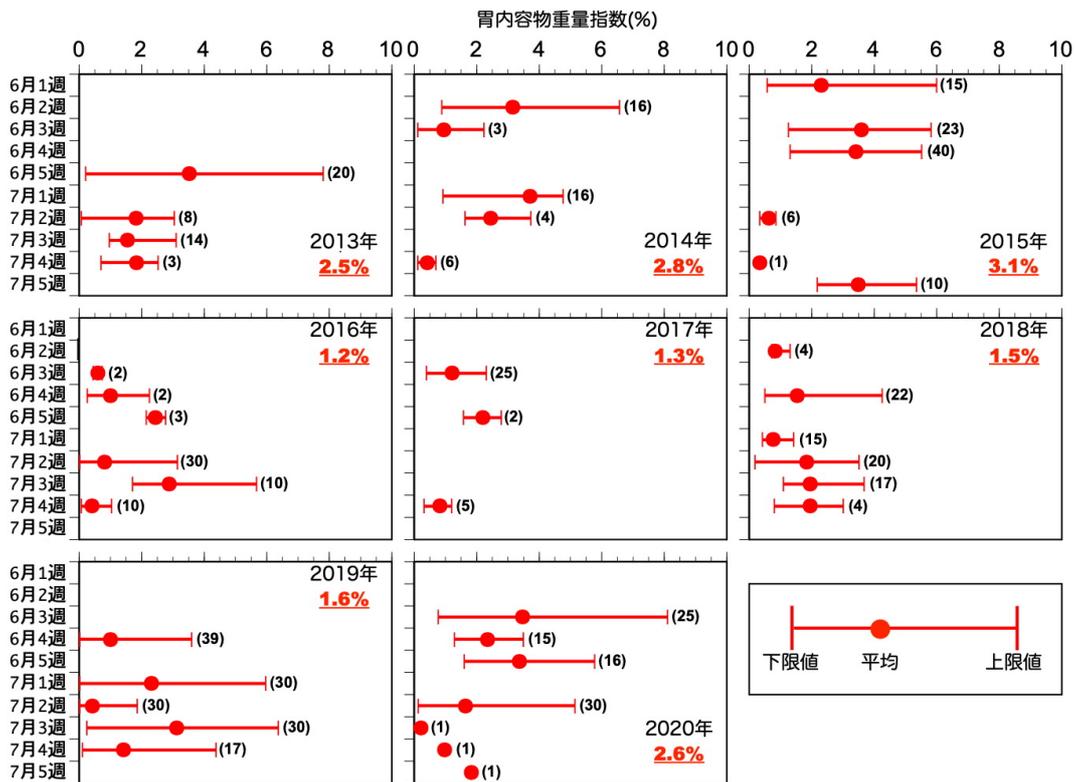


図 22. 昆布森沿岸域におけるサケ稚魚の胃内容物重量指数(胃内容物重量/魚体重 × 100)

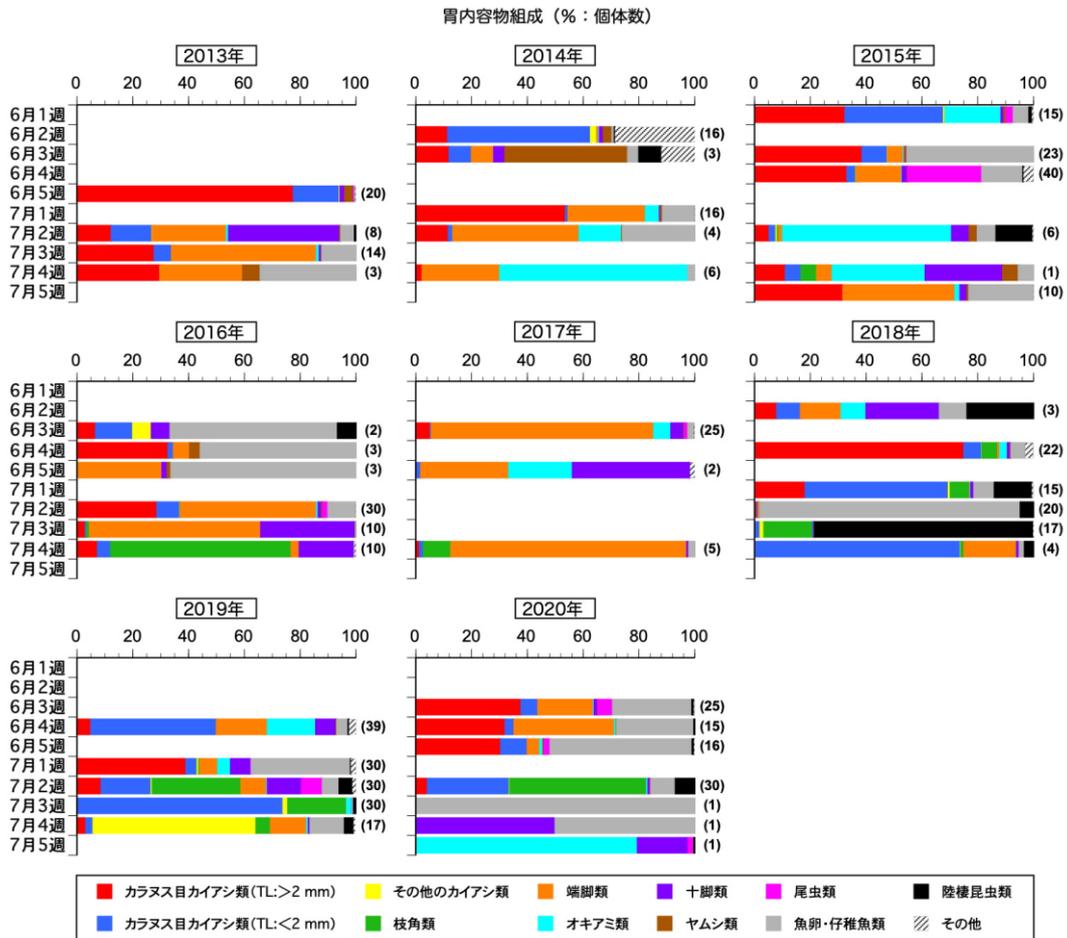


図 23. 昆布森沿岸域におけるサケ稚魚の胃内容物組成(個体数比)

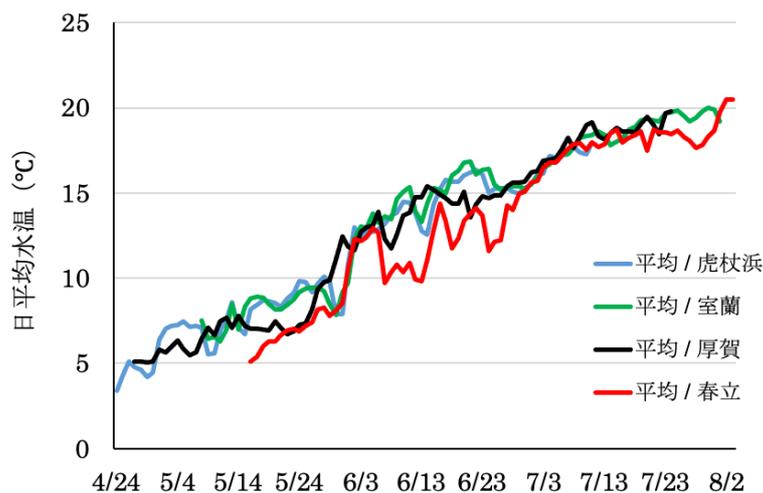


図 24. 2020 年のえりも以西海域における各調査場所別の日平均水温

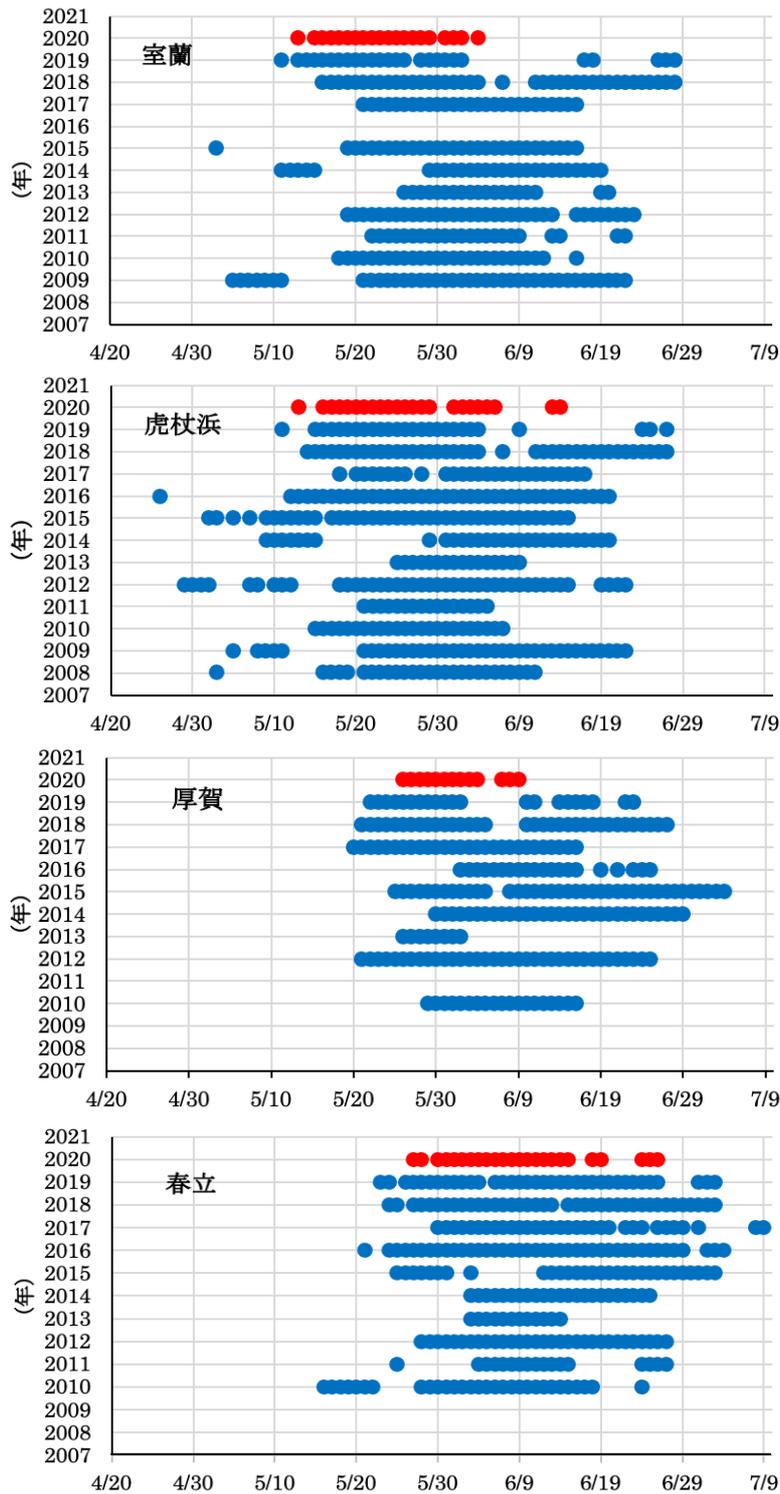


図 25. 日平均水温 8-13°C 期間の経年変化(室蘭・虎杖浜・厚賀・春立)
 なお、室蘭の 2016 年および厚賀の 2011 年データはそれぞれ欠損。厚賀および春立では 2010 年から水温観測を開始。

表 6. えりも以西海域における調査期間とサケ幼稚魚解析結果

単位(尾)

調査地点	調査期間	サケ幼稚魚 採集尾数	耳石標識尾数 (放流由来水系別)				無標識 尾数
			静内川	知内川、敷生川 日高幌別川	遊楽部川	釧路川	
室蘭	5/28-6/11	193	9	3	1		180
虎杖浜	5/14-6/16	509	9	16	4	1	479
厚賀	6/3-6/29	0					
春立	6/4-7/3	99		2			97
計		801	18	21	5	1	756

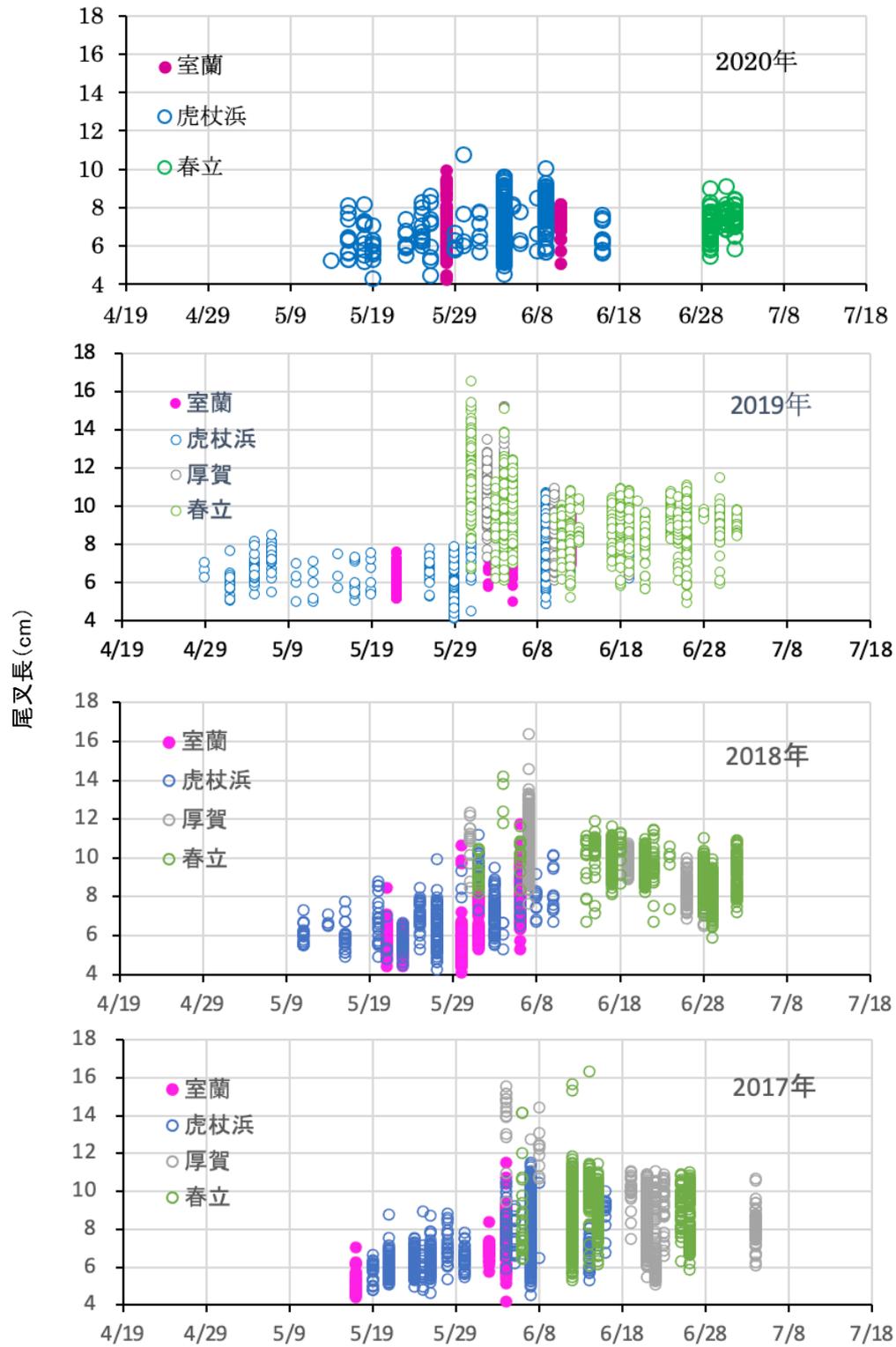


図 26. えりも以西海域における採集日ごと尾叉長(2017~2020年)

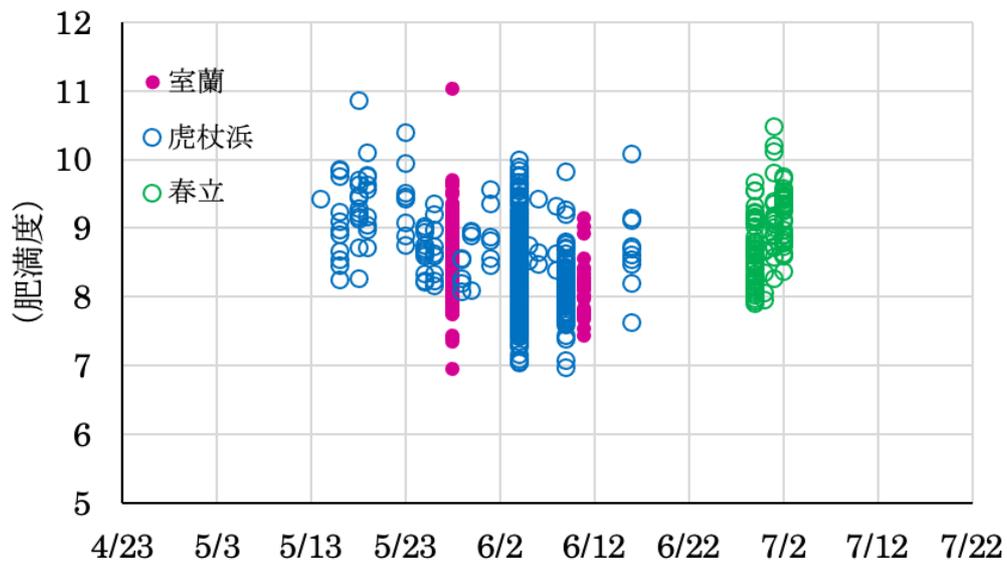


図 27. えりも以西海域における採集日ごとの肥満度の変化(2020 年)

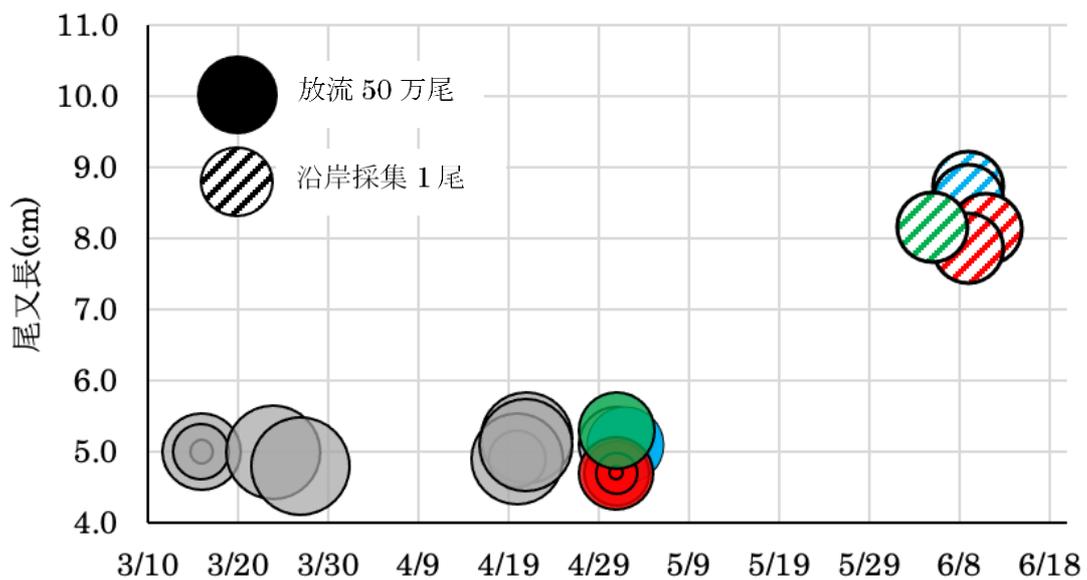


図 28. 八雲さけます事業所標識魚の室蘭・虎杖浜での再捕状況
塗りつぶしの円は放流日と尾又長、円の大きさは放流尾数をそれぞれ示す。斜線の円は沿岸域での再捕日と尾又長を示し、円の大きさに関係なく1尾を表す。色の違いは標識の違いを示す。

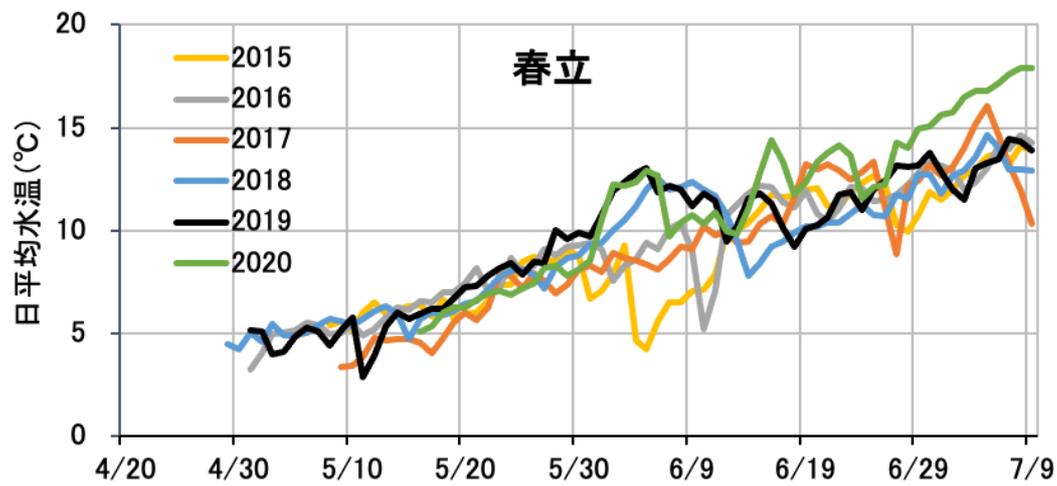
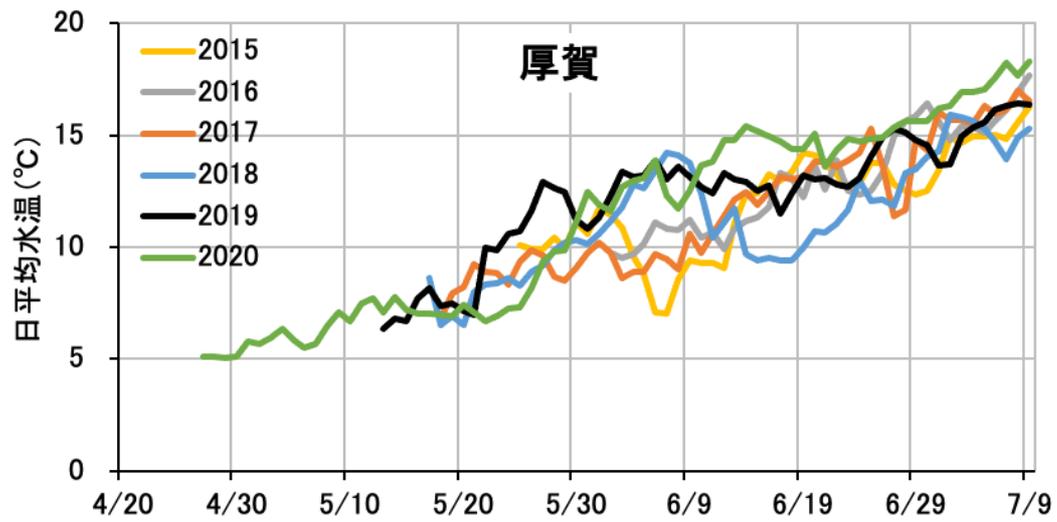
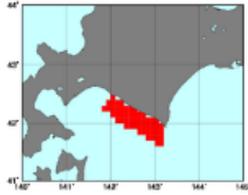


図 31. えりも以西海域の厚賀および春立における海水温の経年変化(3m 深)



日高地方南西沿岸

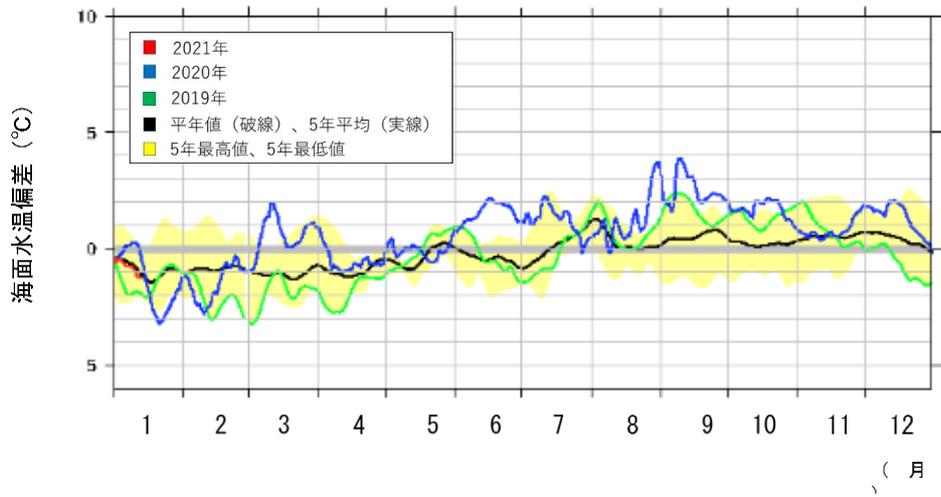
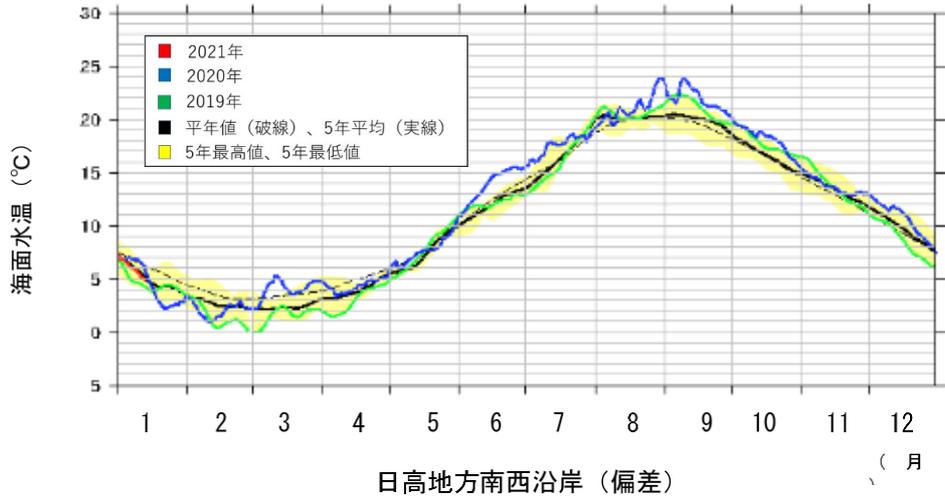


図 32. 日高地区南西沿岸の表層水温の変化と偏差
 気象庁のホームページから引用(気象庁 | 海面水温に関する診断表、データ
 沿岸域の海面水温情報 (jma.go.jp))

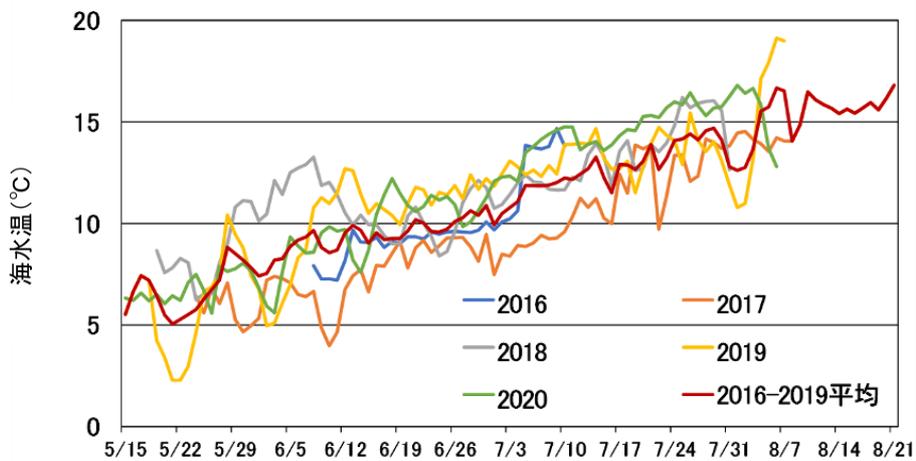


図 33. 大樹沿岸域における日平均水温の推移

たも網によるサケ稚魚採集数

調査月日	5/28	6/2	6/9	6/16	6/23	6/30
サケ幼稚魚採集数	65	108	0	0	5	1

胃内容物調査

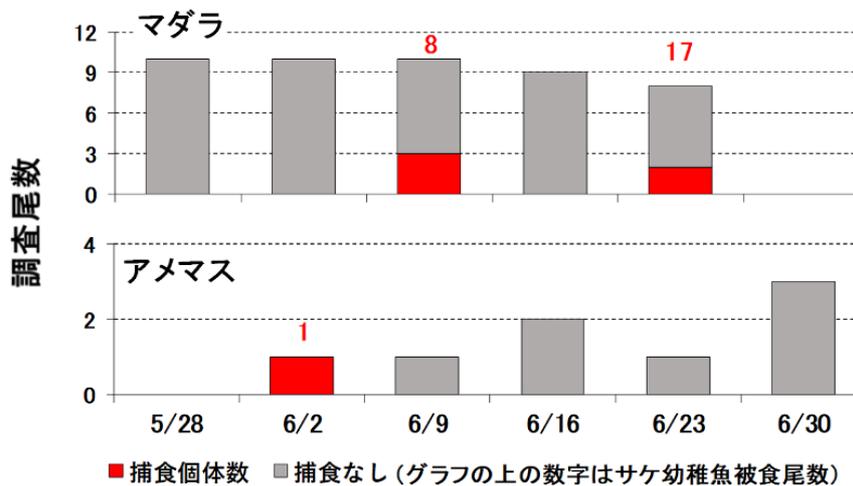


図 34. えりも以東海域における調査月日、調査方法別のサケ幼稚魚採集尾数



写真 1. たも網で採集したサケ幼稚魚 (2020 年 6 月 2 日)

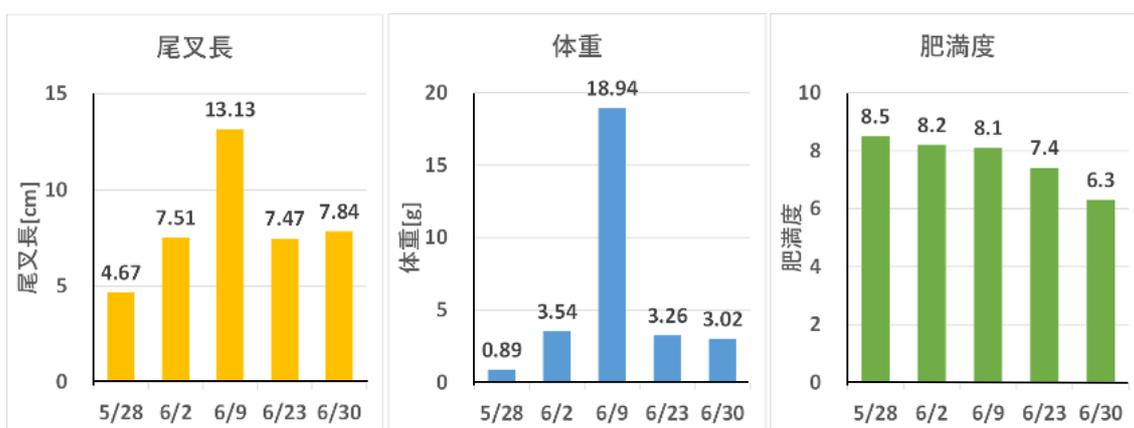


図 35. えりも以東海域で採集されたサケ幼稚魚の調査日別の尾叉長、体重および肥満度
6 月 19 日の調査ではサケ幼稚魚が採集されなかったため、グラフには示さなかった。

表 7. 大樹地区で再捕された耳石温度標識魚の確認結果

放流起源	調査月日						合計
	5/28	6/2	6/9	6/16	6/23	6/30	
えりも以東海区							
釧路川		2					2
十勝川	1	16			1		18
えりも以西海区							0
えりも漁港					1		1
日高幌別川・知内川・敷生川			1		2		3
無標識	64	91	7	0	16	1	179
耳石なし					2		2

表 8. 大樹地区で再捕された十勝川由来の耳石温度標識魚の放流月日別、調査月日別の再捕尾数

ハッチ コード	放流月日	放流尾数 (千尾)	調査月日毎の再捕尾数						合計
			5/28	6/2	6/9	6/16	6/23	6/30	
2-5-3H	2020/3/13	1,247							0
2-5,3H	2020/3/12	1,249		1					1
2,5,2H	2020/3/23-4/3	3,059		1					1
2,5-3H	2020/4/3-9	1,504							0
2-5-2H	2020/4/27	1,472		2					2
2,5,4H	2020/4/27	1,495							0
2-5,2H	2020/4/28-5/7	1,504	1	4					5
2,5,3H	2020/4/30-5/11	1,521		4					4
2,5-2H	2020/4/30-5/26	3,155		4					4
合計		16,206	1	16	0	0	0	0	17

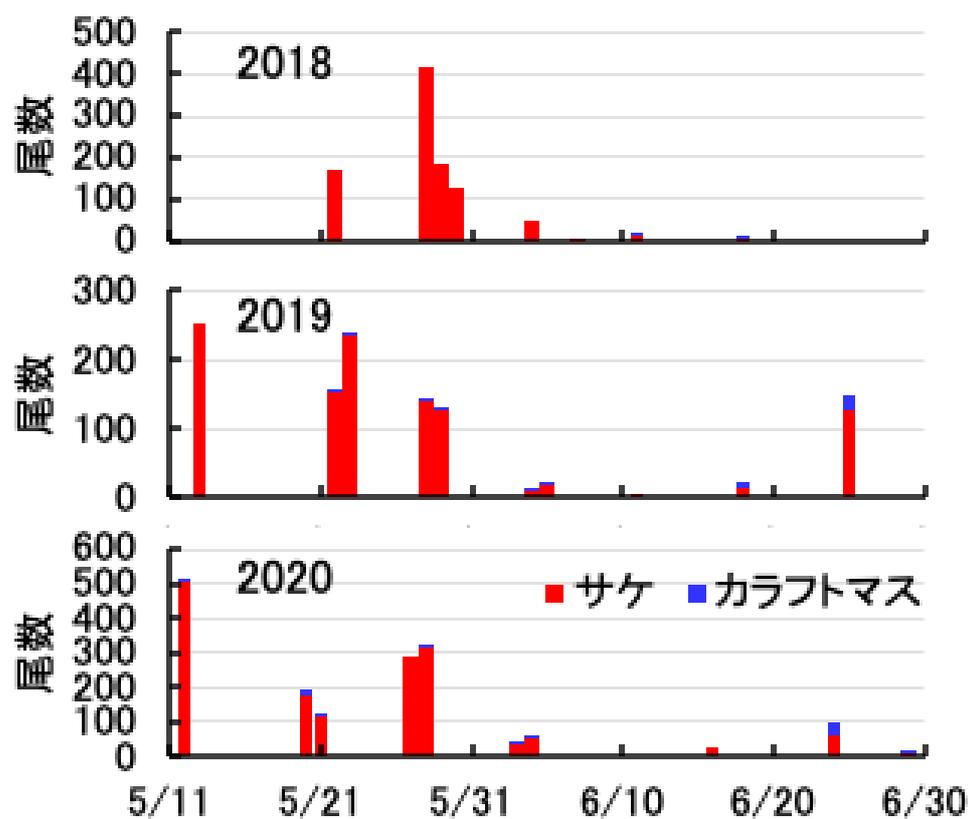


図 36. 2018～2020 年の宗谷港集魚灯採捕による調査日別のさけます稚魚採集尾数
 各年の調査期間は、2018 年 5 月 22 日～6 月 21 日(9 回)、2019 年 5 月 13 日～
 6 月 25 日(10 回)、2020 年 5 月 12 日～6 月 29 日(10 回)。

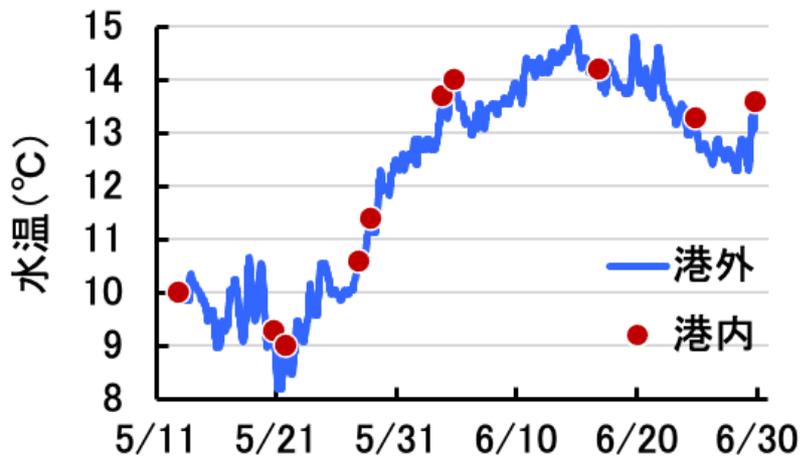


図 37. 宗谷港で観測した 2020 年の表層水温
 港内(赤●)は調査日の 19 時 30 分に観測した値。港外(青線)は記録式水温計による 1 時間間隔の観測値。

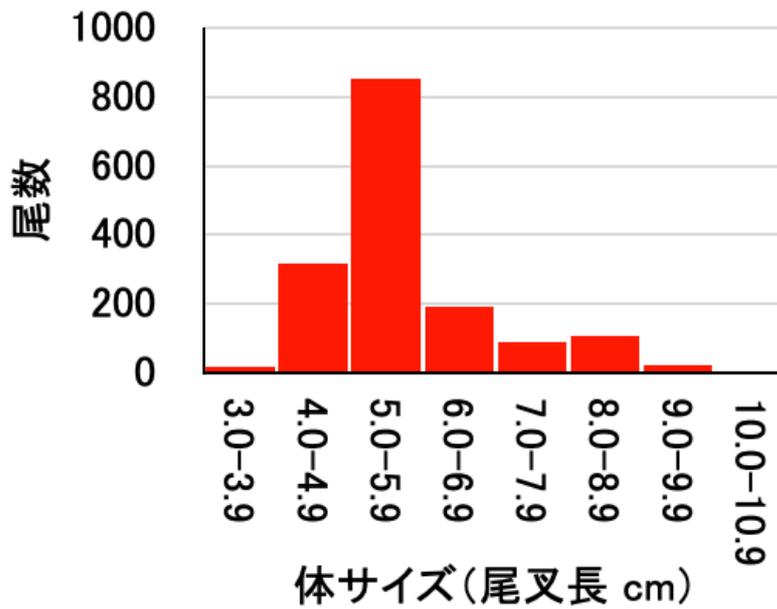


図 38. 宗谷港で採集したサケ幼稚魚の体サイズ(尾叉長)組成

表 9. 宗谷港で再捕された耳石温度標識魚の放流河川、再捕尾数及びハッチコード

天塩・尻別・相沼内川は 3 河川で共通の標識を使用。同様に、頓別・常呂川は 2 河川で共通、カラフトマスの宗谷管内は 5 河川、オホーツク中部は 9 河川 4 港で共通の標識を使用。

魚種	標識魚の放流河川	再捕尾数	ハッチコード(標識の種類)	備考
サケ	天塩川	52	2n-3H ・ 2,1-3H ・ 2-1,3H ・ 2-1-2H ・ 2,3,2H	天塩さけます事業所放流
	石狩川	5	2,3-3H ・ 2-2-3H	千歳さけます事業所放流
	天塩・尻別・相沼内川	24	2-5H ・ 2,2,1,2H	3 河川共通の標識
	徳志別川	5	2,2,2,3H ・ 2-3-3H	徳志別さけます事業所放流
	頓別川・常呂川	2	2,8H	2 河川共通の標識
	幌内川	1	2,1,7H	
カラフトマス	徳志別川	1	2-3H	
	宗谷管内(5 河川)	4	2,1,2H	地域共通の標識
	オホーツク中部(9 河川 4 港)	1	2,1,4H	地域共通の標識

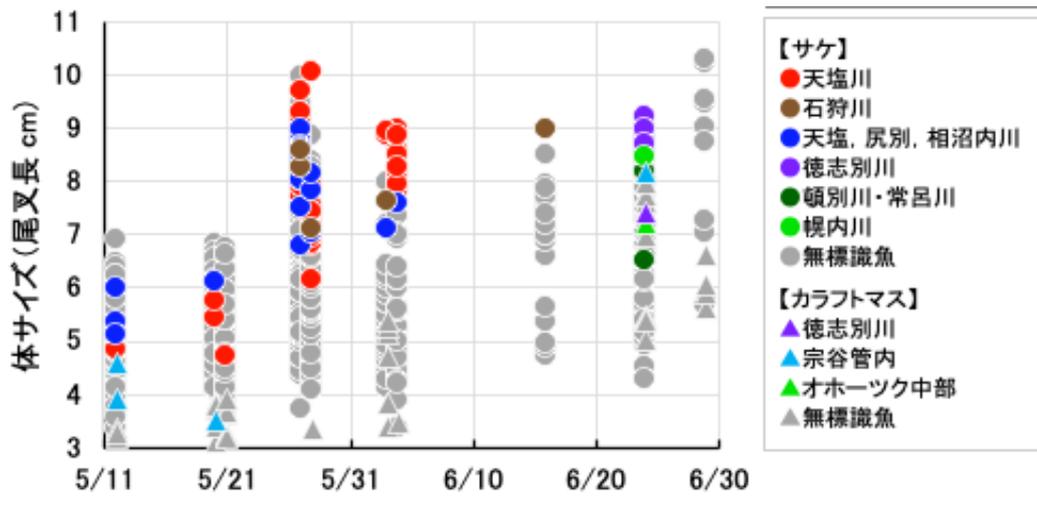


図 39. 宗谷港で採集した標識魚の時期とサイズ(尾叉長)

サケは●、カラフトマスは▲で示し、放流由来河川毎に色分けした。なお、両魚種とも灰色は無標識魚。

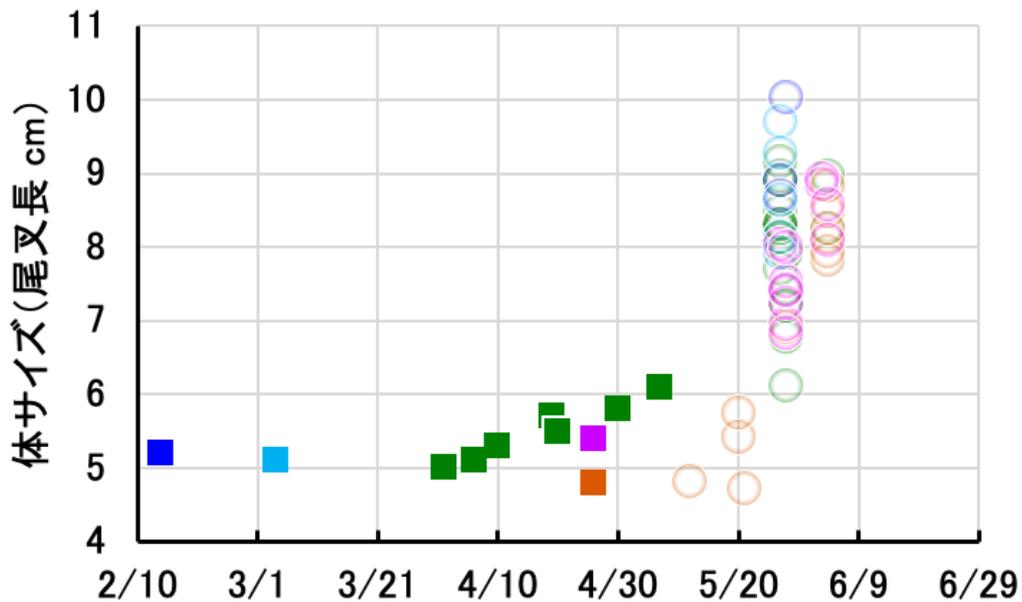


図 40. 天塩川(天塩さけます事業所)から放流された標識魚の宗谷港での標識群別再捕状況
 ■印は各標識群の放流時期とサイズ、○印は同じく再捕時期とサイズを示す。■○印の色は標識群別に配色している。

表 10. 2020 年に北海道太平洋沿岸の春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査
 および沿岸幼稚魚モニタリング調査で採集されたサケ幼稚魚の時期別採集尾数
 -は調査が実施されなかったことを示す。

	室蘭	虎杖浜	厚賀	春立	大樹	昆布森
調査期間	5/23-6/11	5/14-6/16	6/3-6/29	6/4-7/3	5/28-6/30	6/11-7/28
5月中旬	-	32	-	-	-	-
5月下旬	166	37	-	-	65	-
6月上旬	27	430	0	0	117	-
6月中旬	-	10	0	0	0	827
6月下旬	-	-	0	52	23	163
7月上旬	-	-	-	47	-	578
7月中旬	-	-	-	-	-	1
7月下旬	-	-	-	-	-	2
合計	193	509	0	99	205*	1571

*マダラおよびアメマス の胃内容物から採集された 26 個体を含む。

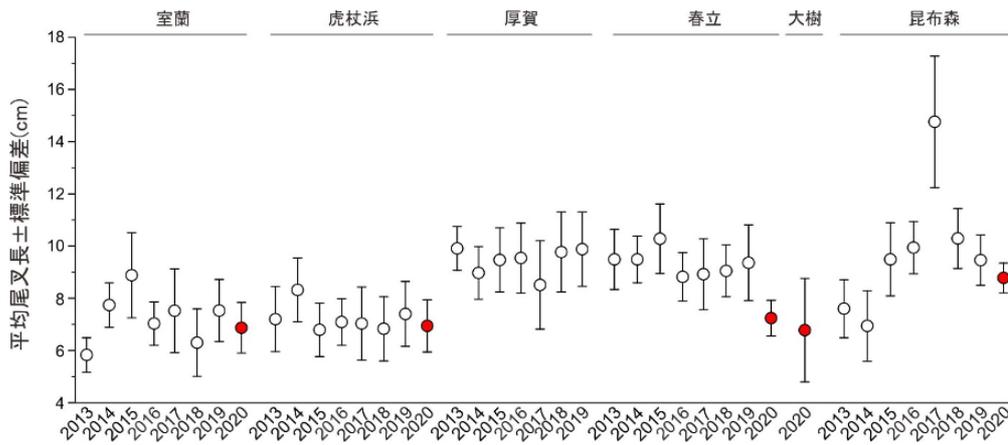


図 41. 2013～2020 年の春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査および沿岸サケ幼稚魚モニタリング調査で採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長と標準偏差
赤丸で示したグラフは 2020 年の結果を示す。

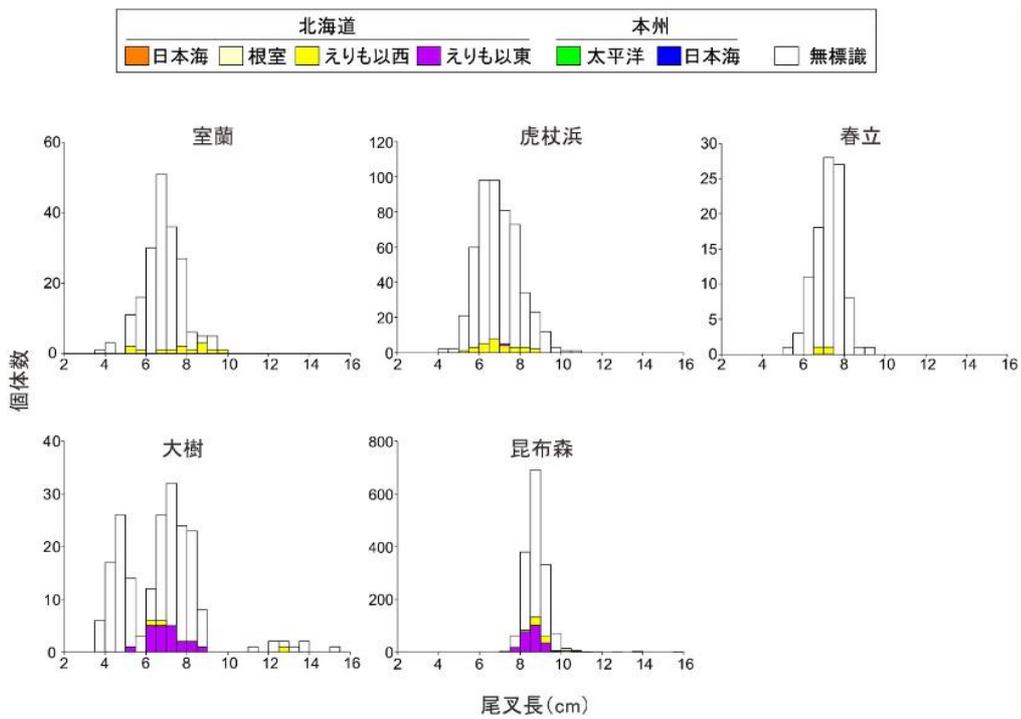


図 42. 2020 年に春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査および沿岸サケ幼稚魚モニタリング調査で採集されたサケ幼稚魚と耳石温度標識魚の尾叉長分布

表 11. 2020 年に春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査および沿岸幼稚魚モニタリング調査で採集されたサケ幼稚魚から見つかった尾叉長別の耳石温度標識魚の
 個体数とその放流起源
 小型魚：尾叉長 10cm 未満、大型魚：尾叉長 10cm 以上。

放流起源	室蘭		虎杖浜		春立		大樹		昆布森	
	小型魚	大型魚	小型魚	大型魚	小型魚	大型魚	小型魚	大型魚	小型魚	大型魚
北海道えりも以西										
八雲	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0
静内	2	0	5	0	0	0	0	0	26	4
豊畑	7	0	4	0	0	0	0	0	9	2
えりも以西統一コード**	3	0	16	0	2	0	2	1	34	3
北海道えりも以东										
えりも漁港	0	0	0	0	0	0	1	0	35	0
十勝	0	0	0	0	0	0	17	0	156	0
更別第 2	0	0	0	0	0	0	1	0	4	0
芦別	0	0	1	0	0	0	1	0	3	0
鶴居	0	0	0	0	0	0	1	0	33	1
本州太平洋										
岩手県統一コード	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
耳石無し	0	0	0	0	0	0	2	0	12	0
無標識魚	180	0	477	2	97	0	171	8	1225	16

*厚賀は採集無し。

**えりも以西統一コード：日高幌別・敷生・知内

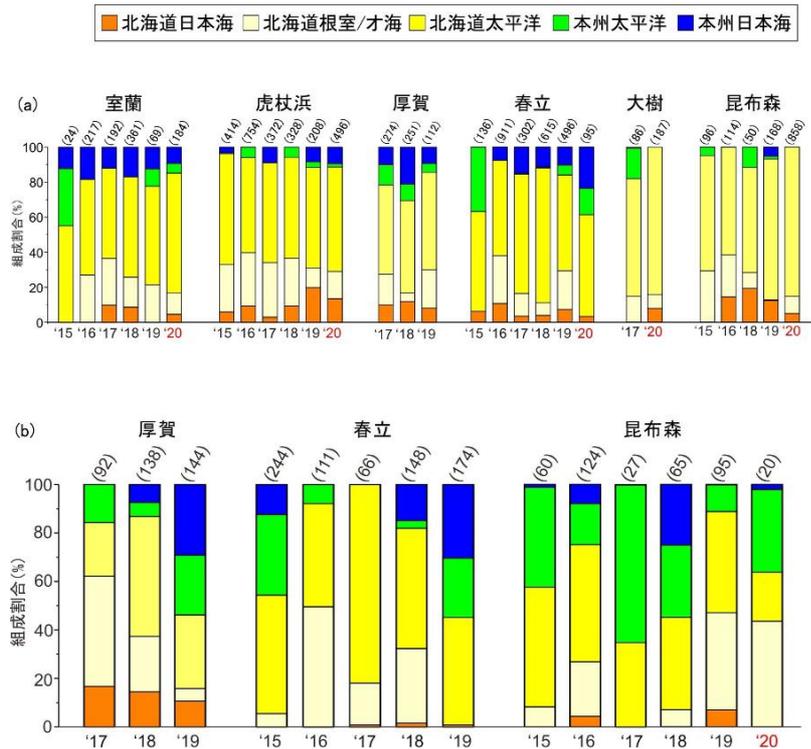


図 43. 遺伝的系群識別により推定した、2015–2020 年の春定置網混入サケ稚魚モニタリング調査および沿岸サケ幼稚魚モニタリング調査で採集されたサケ幼稚魚の地理的起源 (a) 小型魚(尾又長 10cm 未満)、(b) 大型魚(尾又長 10cm 以上)。グラフ上部の数字は分析個体数を示す。

表 12. 2018 年と 2019 年に北海道太平洋沿岸で再捕された本州太平洋側河川起源サケ幼稚魚の再捕獲・降海履歴等についての一覧

個体No.	再捕場所	再捕日	再捕時の尾又長 (mm)	推定降海日	降海時の尾又長 (mm)	推定降海時の成尾又長 (mm)	降海以降の成長速度 (mm/日)	耳石標識コード	放流河川	放流時期	平均放流サイズ (mm)
1	厚賀	2018/6/8	126.2	2018/4/10	71.6	71.6	0.93	2.1,3H	三陸沿岸河川	2018/1/20-5/1	46-57
2	春立	2018/6/2	93.5	2018/4/12	58.5	58.5	0.69	2.1,3H	三陸沿岸河川	2018/1/20-5/1	46-57
3	厚賀	2019/6/3	93.9	2019/4/14	58.8	58.8	0.70	2.1,3H	三陸沿岸河川	2019/1/28-4/26	46-64
4	厚賀	2019/6/3	105.5	2019/4/22	71.2	71.2	0.82	2-6H	奥入瀬川	2019/4/2	51
5	厚賀	2019/6/3	98.3	2019/4/10	55.0	55.0	0.80	2-6H	奥入瀬川	2019/4/2	51
6	厚賀	2019/6/5	90.1	2019/4/22	56.5	56.5	0.76	2.1,3H	三陸沿岸河川	2019/1/28-4/26	46-64
7	春立	2019/6/1	101.7	2019/4/17	61.3	61.3	0.90	2.6H	三陸沿岸河川	2019/3/1-5/10	46-62

三陸沿岸河川: 安家川、明戸川、田老川、織笠川、甲子川、盛川、気仙川

表 13. 2019 年厚田沿岸域で採集された石狩川水系起源の標識サケの放流履歴、採集履歴及び日周輪解析結果

ハッチ コード	放流履歴			厚田での採集履歴				耳石日周輪解析の結果			
	放流月日	放流サイズ (mm)	放流数 (千尾)	採集月日	再捕数	再捕サイズ*1 (mm)	回収率*2	標本数	推定降海日*1	推定降海*1 サイズ(mm)	成長速度*1 (mm/日)
2,2n,3H	2019/3/5	49.5	1304	3/26,5/9	2	61.13 (47.93,74.33)	1.53	2	3/19 (3/6,3/29)	49.36 (42.67,56.04)	0.35 (0.27,0.44)
2,4n,3H	2019/3/14	51.3	1267	4/15	1	54.01	0.79	1	3/26	44.93	0.45
2,6n,3H	2019/3/25	50.3	1296	4/15	2	45.66 (36.71,54.6)	1.54	2	4/3 (3/29,4/5)	41.21 (33.80~48.61)	0.35 (0.32~0.38)
2,3-3H	2019/3/21 ~4/12	47.61*3	13358	4/4~5/23	85	52.86 (36.05~76.76)	6.36	78	4/11 (3/24~4/22)	44.36 (31.72~57.04)	0.44 (0.19~0.87)
2-2-3H	2019/4/5~4/19	50.87*3	11056	4/15~5/23	116	56.25 (34.44~75.85)	10.49	101	4/16 (4/2~5/8)	46.77 (31.70~56.75)	0.48 (0.18~0.83)
2-3,3H	2019/4/15	48.2	1077	4/26~5/23	15	48.49 (44.22~74.37)	13.93	14	4/19 (4/14~5/4)	44.19 (36.00~49.50)	0.61 (0.33~0.81)
2-3-2H	2019/4/25	50.13	995	5/9,5/23	14	64.98 (43.25~78.34)	14.07	14	4/30 (4/22~5/5)	51.05 (38.37~59.78)	0.68 (0.39~0.91)
2-2H*4	2019/4/3~5/6	-	81	4/15	1	50.88	12.35	1	4/9	48.47	0.42

*1: 表中の数値は測定値あるいは推定値の平均を、括弧内はその範囲をそれぞれ示す。降海日が放流日より早く推定されたケースを含む。

*2: 回収率=(再捕数/放流数)×10⁶

*3: 同一ハッチコードの群が複数日にわたって放流されていたため放流数による加重平均で放流サイズを算出。

*4: 札幌市豊平川さけ科学館からの放流

表 14. 2019 年に厚田沿岸域で採集した石狩川産サケ幼稚魚における成長速度の一般化加法モデル(モデル選択)

G は成長速度を、mark はハッチコードの違いを、day at SE は降海日(2019 年 1 月 1 日からの日数)を、FL at SE は降海サイズを、const は定数項をそれぞれ表す。s()はスプライン関数を示す。モデルの誤差項はガンマ分布を仮定。

モデル	GCV	AIC	Δ AIC	モデルにより説明された デビアン스%	統計学的に有意(p<0.05)な説明変数
G=mark+s(day at SE)+s(FL at SE)+const	0.057	-333.989	0.000	50.5	mark, day at SE, FL at SE, const
G=mark+s(day at SE : FL at SE)+const	0.057	-332.549	1.440	51.3	mark, day at SE : FL at SE, const
G=mark+const	0.057	-332.549	1.440	51.3	mark, day at SE : FL at SE, const
G=mark+s(day at SE)+s(FL at SE)+s(day at SE : FL at SE)+const	0.057	-332.549	1.440	51.3	mark, FL at SE, day at SE : FL at SE, const
G=mark+s(day at SE)+s(day at SE : FL at SE)+const	0.057	-332.549	1.440	51.3	mark, day at SE : FL at SE, const
G=mark+s(FL at SE)+s(day at SE : FL at SE)+const	0.057	-332.549	1.440	51.3	mark, FL at SE, const
G=s(day at SE : FL at SE)+const	0.058	-327.377	6.611	48.6	day at SE : FL at SE, const
G=s(FL at SE)+s(day at SE : FL at SE)+const	0.058	-327.377	6.612	48.6	FL at SE, day at SE : FL at SE, const
G=s(day at SE)+s(FL at SE)+s(day at SE : FL at SE)+const	0.058	-327.377	6.612	48.6	FL at SE, day at SE : FL at SE, const
G=s(day at SE)+s(day at SE : FL at SE)+const	0.058	-327.377	6.612	48.6	day at SE : FL at SE, const
G=s(day at SE)+s(FL at SE)+const	0.059	-325.153	8.835	45.9	day at SE, FL at SE, const
G=mark+s(FL at SE)+const	0.060	-320.391	13.597	44.7	mark, FL at SE, const
G=s(FL at SE)+const	0.068	-294.826	39.162	33.5	FL at SE, const
G=s(day at SE))+const	0.075	-273.200	60.789	30.6	day at SE, const
G=mark+s(day at SE)+const	0.078	-266.507	67.481	32.8	mark, day at SE, const
G=const	0.101	-208.768	125.221	-1.67E-14	const

GCV: 一般化クロス・バリデーション規準

AIC: 赤池情報量規準

Δ AIC: AIC最小モデルとのAICの差

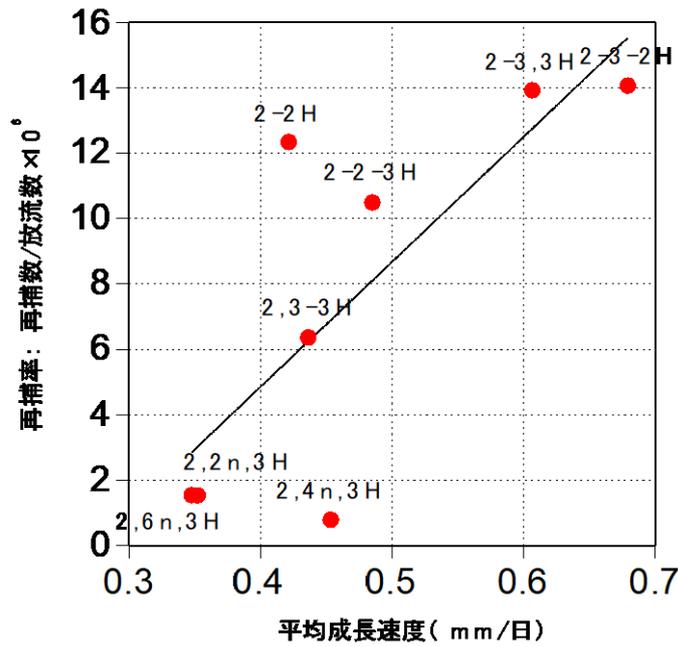


図 44. 厚田沿岸域で再捕された耳石温度標識別の成長速度と再捕率の関係
 図中の凡例は標識パターン(ハッチコード)を示す。

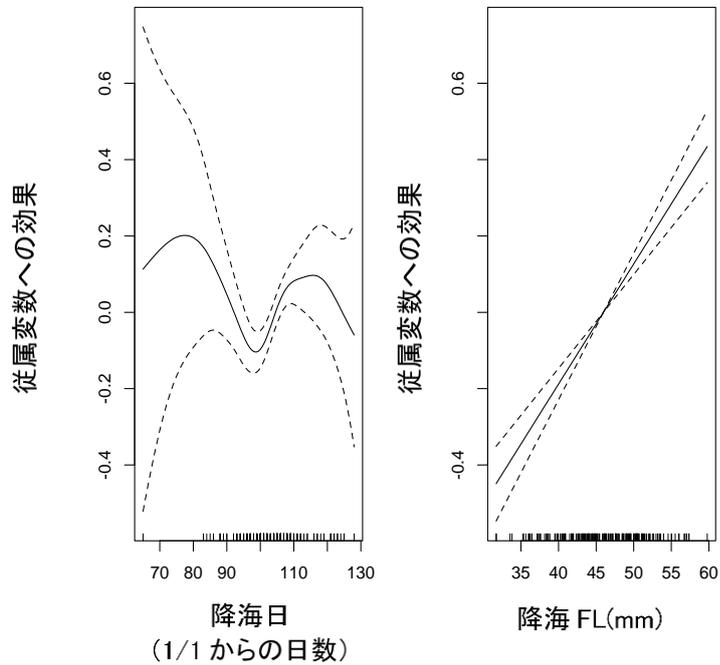


図 45. 表に示した成長速度の一般化加法モデルで、最も当てはまりの良かった $G = \text{mark} + s(\text{day at SE}) + s(\text{FL at SE}) + \text{const}$ のモデルにおける降海日と降海 FL が成長速度に与える効果
 破線は 95%信頼区間を示す。

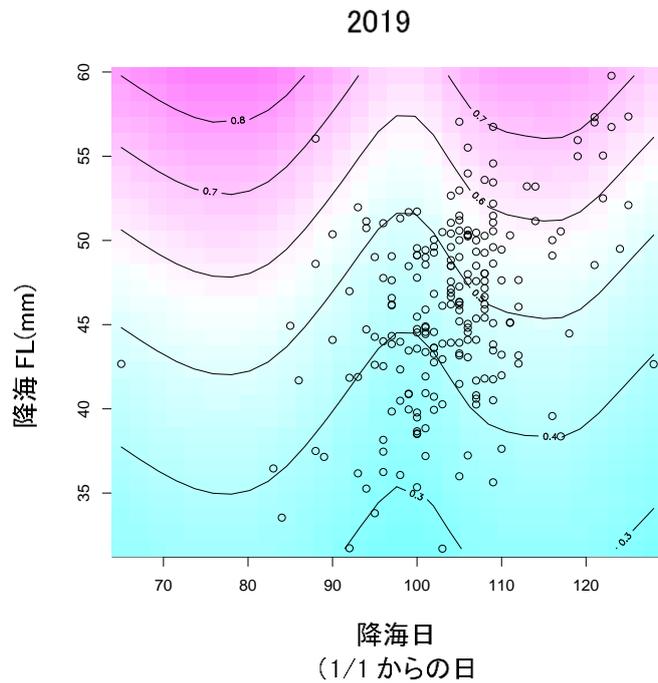


図 46. 北海道厚田沿岸域で 2019 年に採集された石狩川産サケ幼稚魚の耳石日周輪解析から推定された成長速度 (mm/日) に、一般化加法モデル (表のベストモデル) をフィットさせたときの推定値 (コンター図) 図中の寒色系の部分は成長速度が小さいことを、暖色系の部分は成長速度が大きいことをそれぞれ意味する。図中の○は、分析に用いた個体の降海月日と降海サイズ (推定値) を示す。

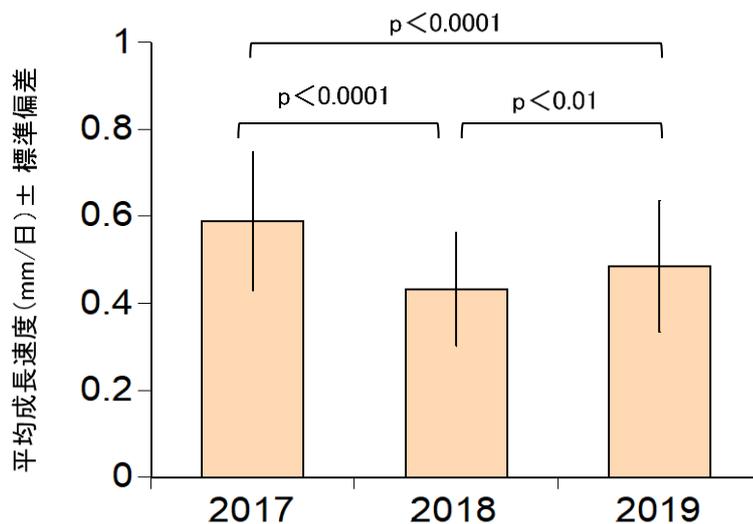


図 47. 厚田沿岸域で 2017~2018 年に再捕された耳石温度標識サケの成長速度の比較 クラスカルウォリス 検定の結果、統計学的な違いが検出されたため、ボンフェローニ補正を施したマンホイットニーの U 検定で多重比較を実施 (図中の p 値)。

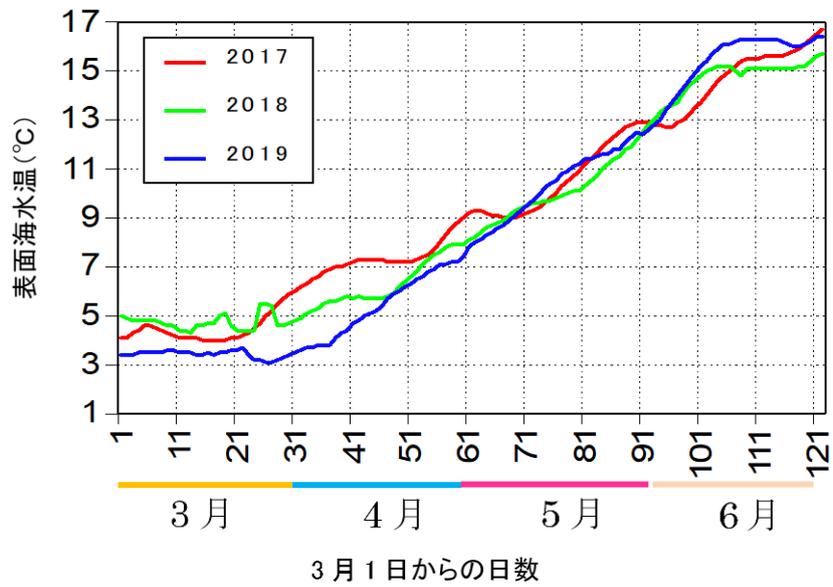


図 48. 厚田沿岸域における表面海水温
元データは気象庁が公表する緯度経度 0.25° メッシュの日平均表面海水温の再解析値。

② 北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査(道南太平洋、道東太平洋、根室、日本海、太平洋・根室海峡・オホーツク沖合)

【目的】

各地域の港や沿岸、沖合においてサケ幼稚魚の採集と海洋観測を行い、海洋環境や飼育放流の方法が放流後の幼稚魚の移動や成長、栄養状態に与える影響を検討する。

a. 道南太平洋

実施機関及び担当者:

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部: 石田良太郎、神力義仁、村上豊、渡辺智治、實吉隼人、中村太郎

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 道南支場: 竹内勝巳、青山智哉
渡島管内さけ・ます増殖事業協会: 柳元孝二、鈴木 慎

【目的】

これまで津軽暖流の影響を強く受ける道南地区の西側の知内地区において沿岸水温とサケ稚魚の移動状況について調査を行い、放流時期の判断に繋がる情報が得られてきた。一方で、道南地区の東側の恵山地区では、低温の沿岸親潮(水温 2.0℃以下、塩分 33.0psu 以下)の影響を受けることから、稚魚の移動状況も異なると考えられる。2020 年は恵山地区の沿岸において海洋観測を行うとともに漁港におけるサケ稚魚の分布状況を調査し、沿岸環境と稚魚の移動状況について把握することに加え、知内地区の漁港において油脂添加による健苗性向上試験により放流された標識稚魚の採集と健苗性の評価を目的とした。

【方法】

1) 恵山地区

2020 年の 2 月下旬から 6 月中旬まで毎旬 1 回、函館市恵山地区の沿岸において海洋観測を行った(図 1)。観測は恵山地区の尻岸内川河口に位置する女那川漁港の 0.5km 沖合の地点(St.1:河口沖)と 1.5km 北東の地点(St.2:古武井沖)で表面水温、透明度、CTD による水温と塩分の測定と動物プランクトンの採集を行った。3 月下旬から 4 月上旬に女那川漁港と東隣の山背泊漁港において日中に目視により稚魚の分布状況を調べ、夜間はタモ網を用いて 15 分間の稚魚採集を行い、魚体サイズや耳石温度標識、摂餌状況を調査した。

2) 知内地区

健苗性向上試験の標識魚の放流日(油脂群:4 月 18 日、対照群:4 月 25 日)の翌日と放流の 3 日後、5 日後、翌旬に知内町の中の川漁港と木古内町の泉沢漁港において(図 1)、夜間にタモ網を用いて稚魚採集を行い、採集した稚魚は 100 尾を上限に冷凍して実験室へ持ち帰り、魚体測定をした後に耳石を採取して標識を確認した。健苗性向上試験の標識魚については肝臓中のグリコーゲン含量と筋肉中のトリグリセリド含量を市販の測定キットを用いて測定した。各測定値は、分析に使用した肝臓と筋肉の重量でそれぞれの含量を除いて組織重量当たりの含量で示した。

【結果】

1) 恵山地区

2020 年における沿岸の表面水温は 2 月下旬から 4 月上旬にかけて 3~4℃台で推移し、4 月中旬に 5℃を超え、6 月には 10℃に達した(図 2)。水深 3m においても同様の傾向を示した。塩分は河口沖水深 3m では 2 月下旬で 33.0psu 台を示した後は低下し、32.5psu 程度で

5月下旬まで推移した。古武井沖の水深3mにおいても3月中旬からは32.5psu程度で推移した。表面の塩分は河口沖では32.5psuよりも低下する時期があり、河川水の影響も考えられる。古武井沖では水深3mと同程度の値を示した。(図3)。過去3年と比べて2020年の水温は4月上旬まで、塩分は期間を通して低く推移した。古武井沖における動物プランクトンの湿重量は、増減はあるが3月から4月は過去3年と比べて高く推移した。(図4)。

2020年の漁港内におけるサケ稚魚の分布は、知内地区の調査との兼ね合いで3月下旬と4月上旬の短期間での実施となった。この期間に採集した稚魚からは耳石標識魚は発見されなかった。過去3年の調査では沿岸水温が低い2017年と2019年は3月下旬と5月に多くの稚魚が山背泊漁港で採集されたが、沿岸水温の高い2018年は5月にはほとんど採集されなかったことから、沿岸の低水温が稚魚の移動を制限する可能性が示唆された。

2) 知内地区

知内川では2020年4月17日に健苗性向上試験の油脂群1,425千尾(標識コード:2,3-2H)と4月25日に対照群1,319千尾(標識コード:2-2,3H)を放流した。調査期間中に375尾の稚魚を採集し、そのうち257尾を栄養状態分析用のサンプルとした。耳石温度標識より、油脂群は放流翌日の4月18日に8尾、4月26日に3尾、5月7日に2尾の計13尾、対照群は放流翌日の4月26日に10尾、4月30日に5尾の計15尾を確認した。採集尾数の多い放流翌日の稚魚の栄養状態を比べると、油脂群はグリコーゲン含量が0.20%、トリグリセリド含量は1.14%、対照群はそれぞれ0.03%と1.21%で群間の差はみられなかった(図5)。それらの稚魚の体長と肥満度の平均値は、油脂群で4.3cm、9.23、対照群で5.5cm、7.38であった。放流前の栄養状態は油脂群がグリコーゲン含量0.90%、トリグリセリド含量1.53%で、対照群は油脂群と同時期の測定ではそれぞれ0.31%と1.35%、放流が遅れたことから直前の4月25日に採集したサンプルでは、それぞれ0.43%と1.12%であった(図6)。放流前と放流翌日の栄養状態を比べると両群ともにグリコーゲン含量の減少は顕著であるが、トリグリセリド含量の減少は小さく、この時点では油脂添加の効果は示されなかった。

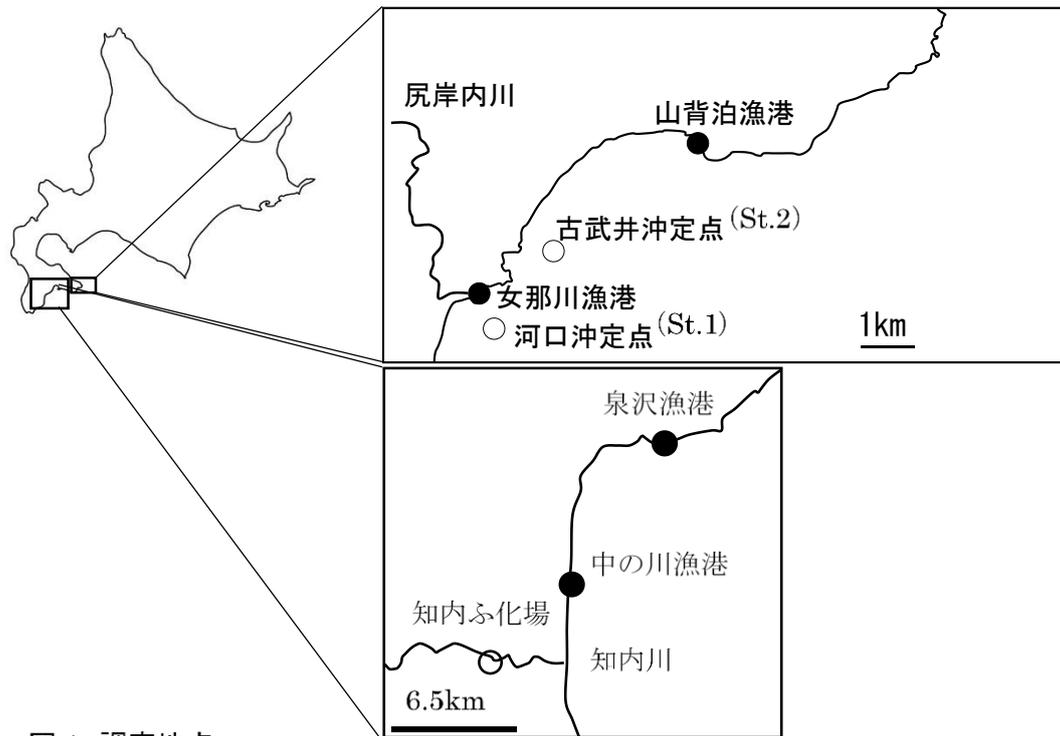


図1 調査地点

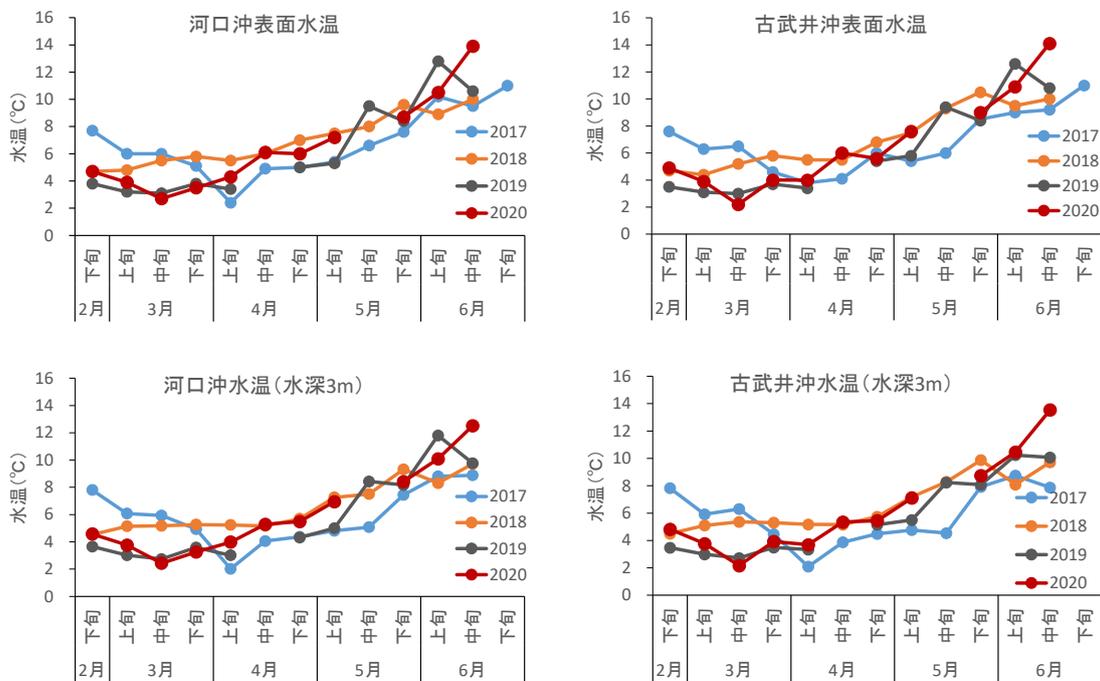


図2 恵山地区沿岸の表面水温（上段）と3m深の水温（下段）

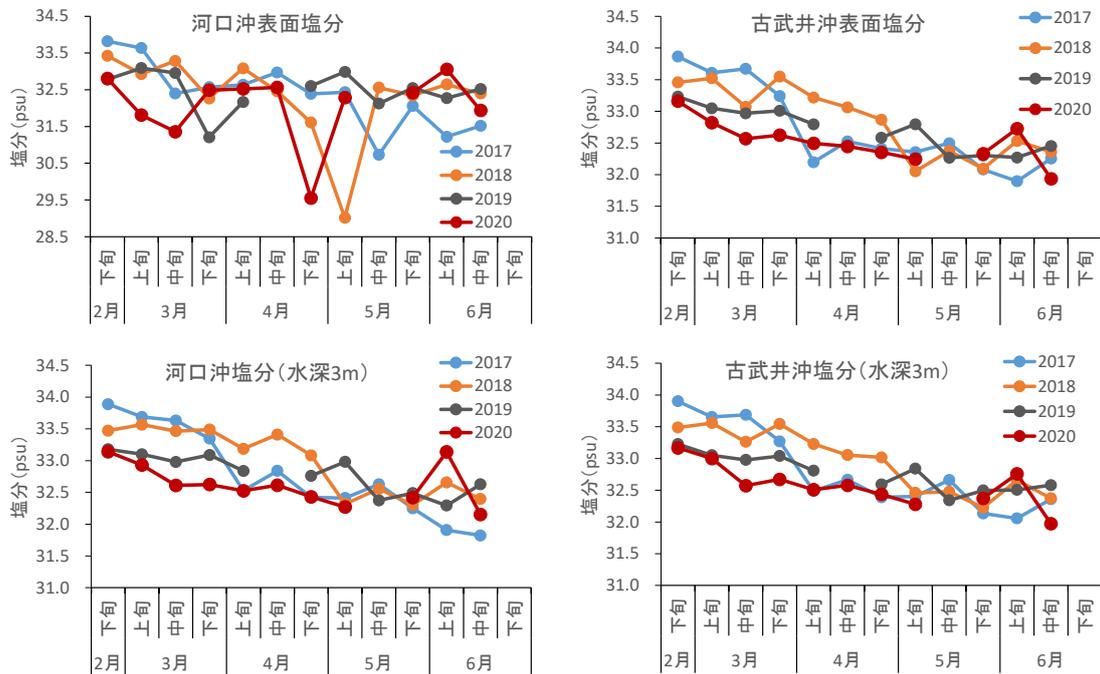


図3 恵山地区沿岸の表面塩分（上段）と3m深の塩分（下段）

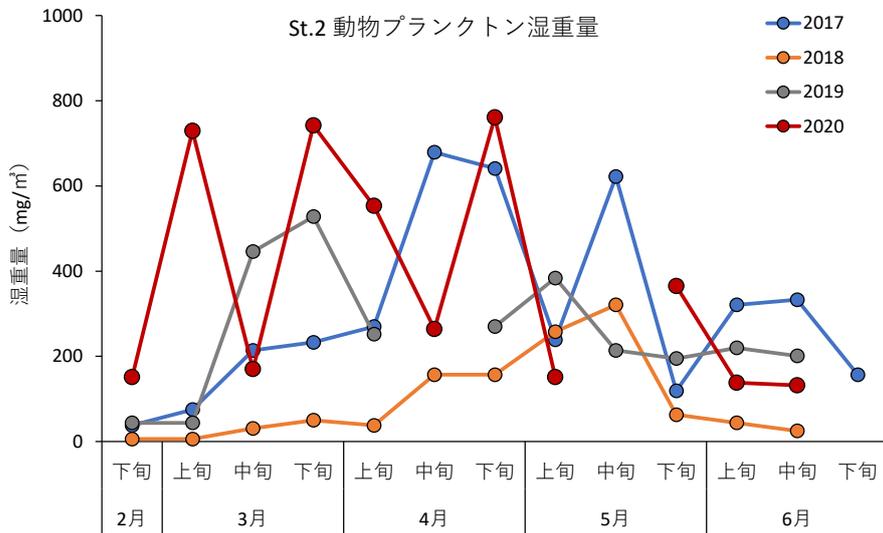


図4 沿岸（古武井沖定点）における動物プランクトンの湿重量

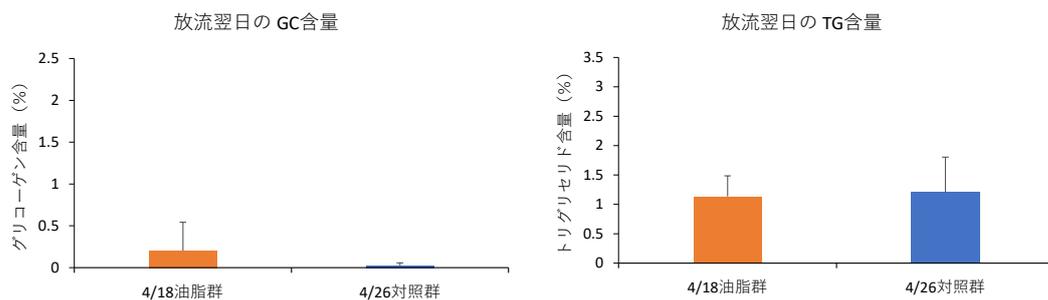


図5 漁港で採集した放流翌日の標識魚の栄養状態 (油脂群 8 尾、対照群 10 尾)
(左図：グリコーゲン含量、右図：トリグリセリド含量)

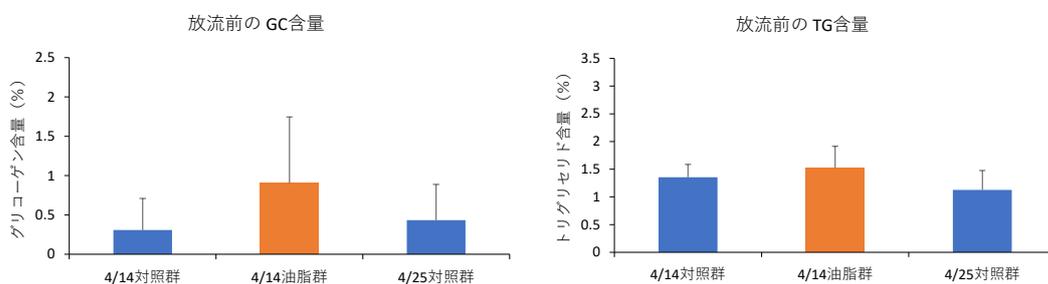


図6 放流前の各試験群の栄養状態 (各群 30 尾を測定)
(左図：グリコーゲン含量、右図：トリグリセリド含量)

b. 道東太平洋

実施機関及び担当者:

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場 道東センター：春日井潔、小山達也、
越野陽介、橋本龍治

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場 さけます資源部：實吉隼人、虎尾 充

【目的】

本事業では河川内及び沿岸での減耗回避技術開発及び増殖技術の高度化として、健苗育成技術開発を一項目とし、試験課題として油脂添加による健苗性向上試験を釧路川において行う。本地区の調査では、健苗性向上試験の試験標識魚が河川を降河し、降海した後の移動や栄養状態を追跡することを目的としている。2020年春期は釧路地区の港においてサケ稚魚の目視観察・採集や海況環境測定を行い、サケ稚魚全体や標識魚の出現状況を把握するとともに、海洋環境とサケ幼稚魚の動態との関係を検討した。

【方法】

釧路地区の釧路港の5地点、千代の浦漁港、昆布森漁港の3地点の計9地点において、2020年の3月下旬から6月中旬にかけて定期的に、日中に水温・塩分の測定、サケ幼稚魚の目視観察を行った(図1)。また、釧路港副港において、3月下旬および5月中旬以降は旬1回、4月上旬～5月上旬は旬2回、日没後、30分間のたも網による採集を行った。採集されたサケ幼稚魚から耳石を採取し、標識の確認を行った。標識確認の結果発見された油脂添加群および対照群については、栄養状態の指標として魚体中のトリグリセリド(TG)量および肝臓中のグリコーゲン(GC)量の測定を行った。

【結果および考察】

表面水温は、4月上旬には釧路川では8℃を越え、4月下旬には副港で8℃を越えるようになった(図2B)。海面水温は4月中旬～5月上旬には上昇が鈍ったが、5月中旬～6月上旬には上昇が著しく、6月上旬にはすべての地点で8℃を越えた。2020年の気温は34年間(1986～2019年)の平均気温と比較して4月中旬に低くなり、それ以降は平均気温より高く推移した(図2D)。4月中旬～5月上旬の水温上昇の鈍化は4月中旬の気温が平均気温より低下したことによるものと考えられた。

港における目視観察の結果、サケ幼稚魚は調査を始めた3月下旬には確認されたが、4月上旬～5月上旬には釧路港では確認できなかった(図3)。5月中下旬には釧路港から昆布森漁港にかけて多くの稚魚が確認されたが、6月上旬になるとほとんどの定点で確認されなくなった。サケ幼稚魚が確認された場合の海面水温は3.5～14.5℃(平均8.5℃)であった。釧路地区のサケ稚魚の放流は3月中旬から始まり5月中旬に終了しており(図4)、放流状況と港内での確認状況からサケ稚魚は1旬程度を港内で過ごすと考えられた。

釧路港副港における夜間採集では調査期間中のすべての調査でサケ幼稚魚が採集され、単位時間あたり採集数は4月中旬と5月上中旬で大きくなった(図5)。全部で1,328尾の耳石を観察した結果、3月27日に芦別ふ化場から放流された標識魚2群(油脂添加群、対照群)は、油脂添加群が3月下旬～4月下旬に計18尾、対照群が4月上旬～6月上旬に計13尾発見され(図6)、両群とも4月中旬にもっとも多く再捕された。

釧路港副港で再捕された油脂添加群は、体長および体重が対照群より下回ることが多かったが、肥満度はおおむね対照群を上回った(図 7)。栄養状態については、TG では対照群で一時的に高い値を示した個体があったが、放流以降はおおむね日数の経過とともに減少していった(図 8 左)。GC では、両群とも日数の経過とともに減少してゆき、油脂添加群は放流時の値が低かったものの、放流以降はおおむね対照群を上回っていた(図 8 右)。

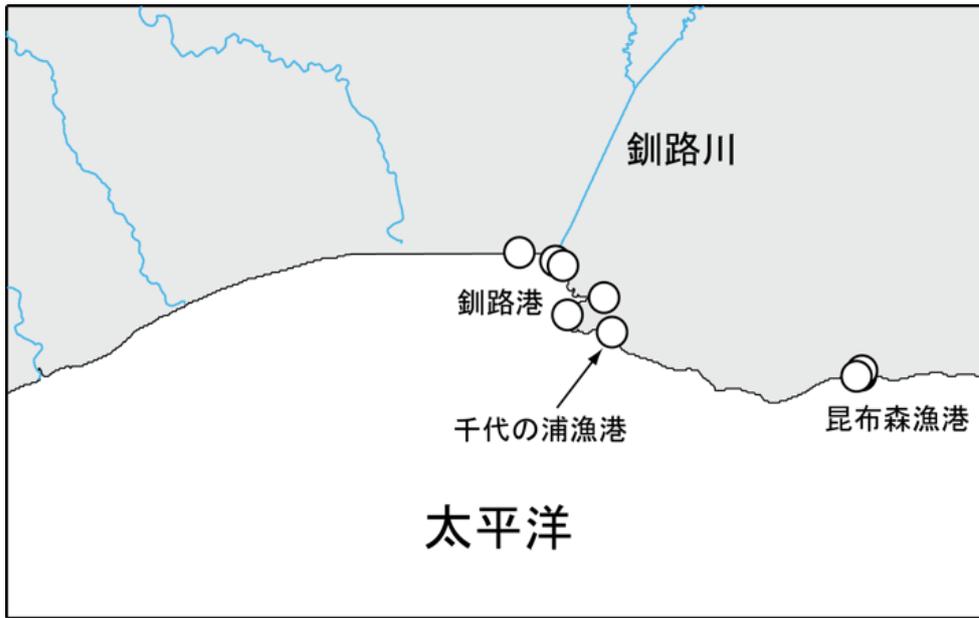


図1 釧路地区における調査場所

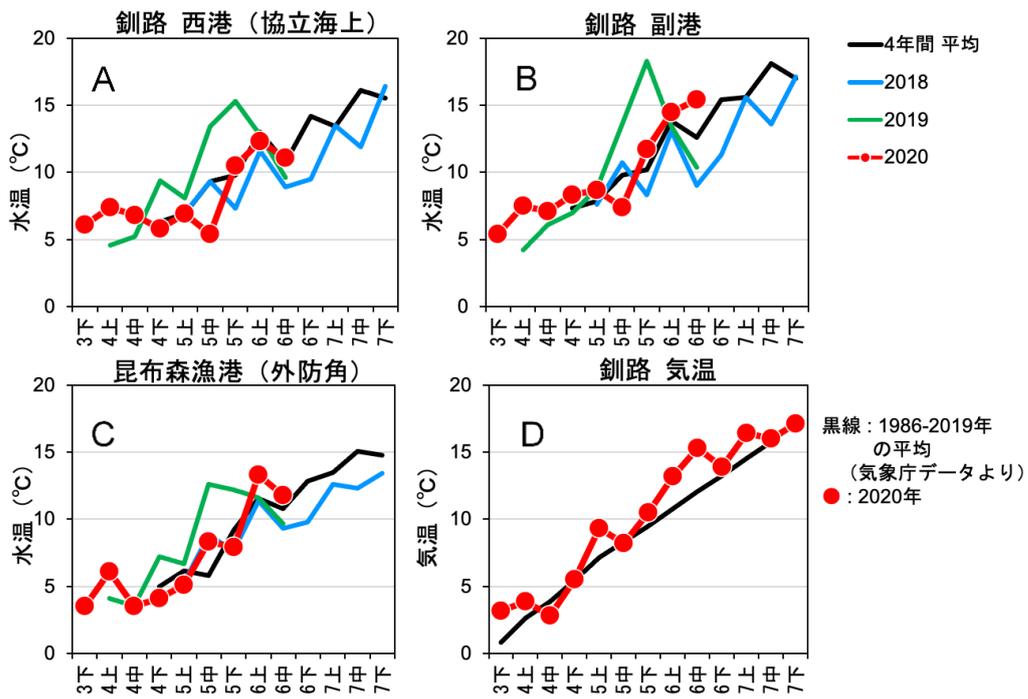


図2 おもな地点の水温変化 (A-C) と釧路市の気温変化 (D)。A: 釧路港 西港、B: 釧路港 副港、C: 昆布森漁港 外防波堤内側

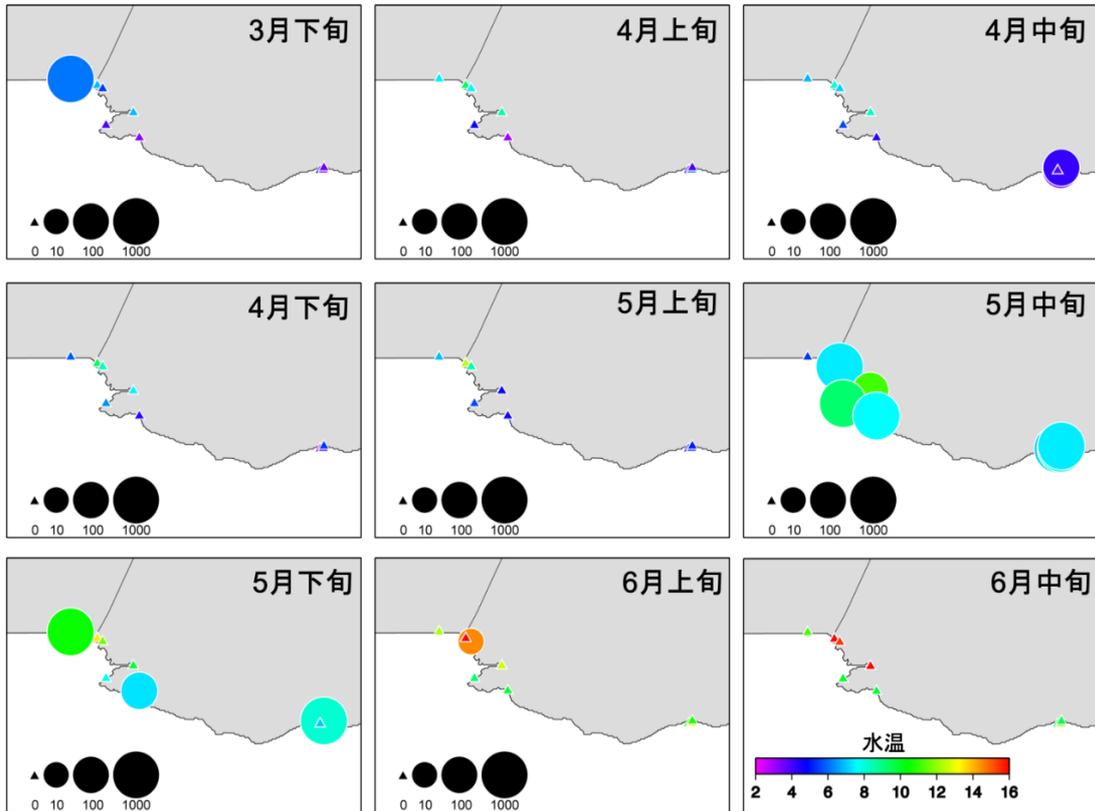


図 3 釧路地区におけるサケ幼稚魚の出現状況. ▲は観察されなかったこと、●は観察されたことを示し、●の大きさは観察された尾数を示す. ▲や●の色は水温を示す.

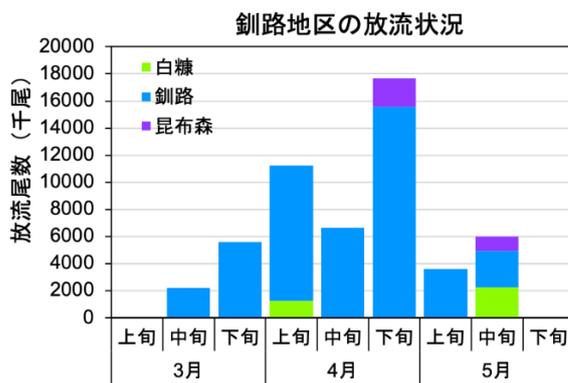


図 4 2020 年の釧路地区におけるサケ稚魚の放流状況.

表 1 耳石を観察した標本数

調査月	調査旬	観察個体数
3月	下旬	15
4月	上旬	200
	中旬	314
	下旬	251
5月	上旬	200
	中旬	109
	下旬	100
6月	上旬	100
	中旬	39
合計		1,328

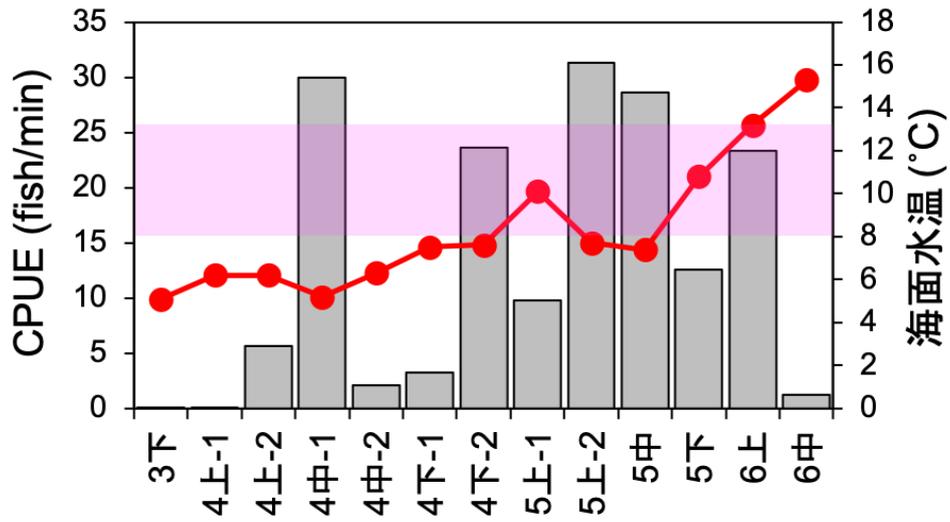


図 5 釧路副港における無灯火採集による単位時間当たりのサケ幼稚魚の採集数。折線は海面水温、ピンク色の部分は水温 8-13°Cの適水温帯を示す。

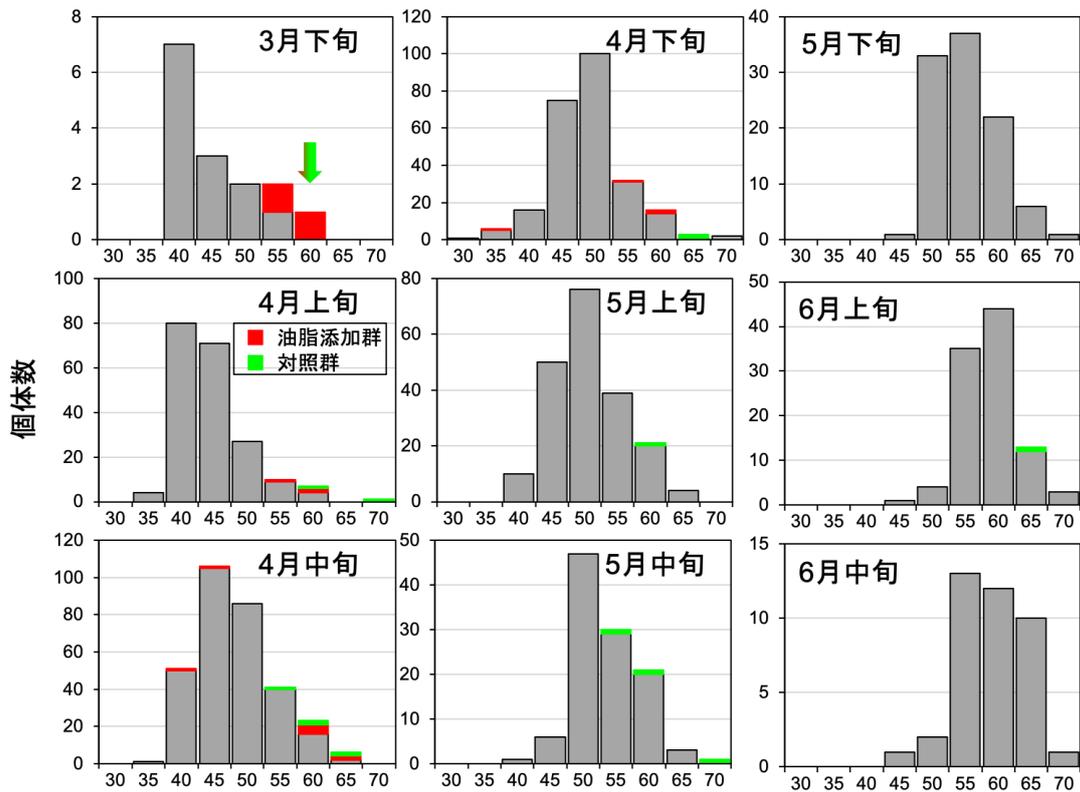


図 6 釧路港副港で採集されたサケ幼稚魚の旬別の体長頻度分布。矢印は両標識群の放流時の平均体長を示す。

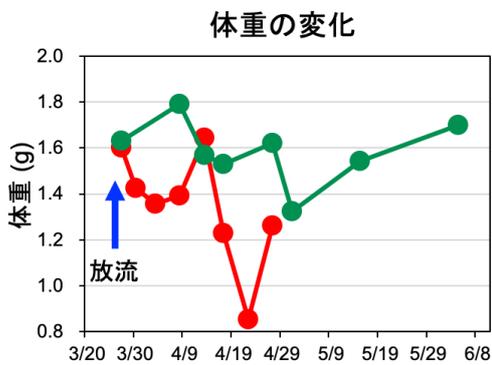
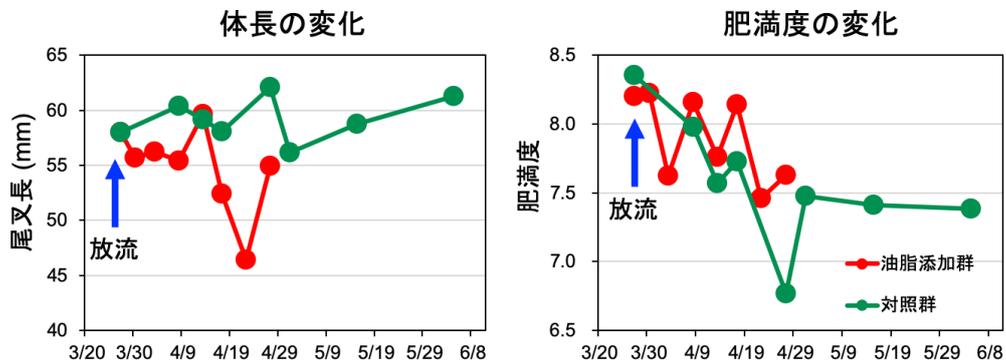


図7 釧路港副港で採集された標識魚の体長（左上）、体重（左下）、肥満度（右上）の変化。矢印は放流時のサイズを示す。

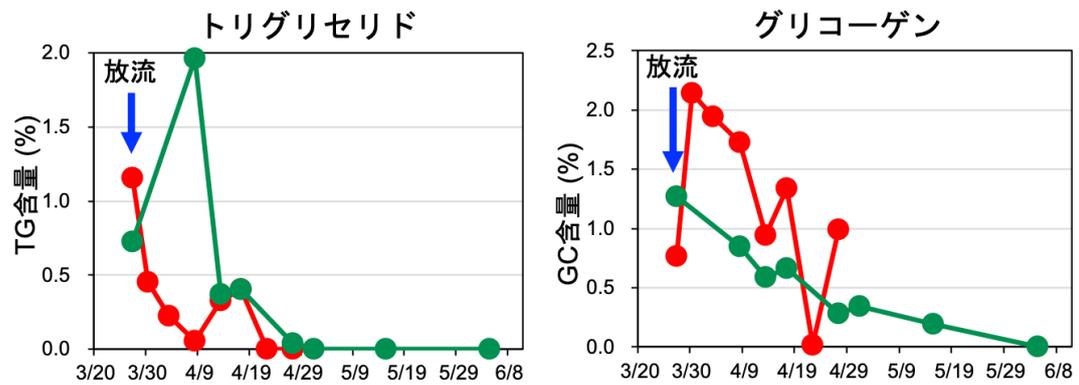


図8 釧路港副港で採集された標識魚のトリグリセリド（左）およびグリコーゲン（右）の平均値の変化。矢印は放流時の平均値。凡例は図7参照。

c. 根室

実施機関及び担当者:

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場 道東センター: 春日井 潔、越野陽介、橋本龍治
水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 根室さけます事業所、虹別さけます事業所、伊茶仁さけます事業所
根室管内さけ・ます増殖事業協会

【目的】

本事業では河川内及び沿岸での減耗回避技術開発及び増殖技術の高度化として、放流手法技術開発を一項目とし、試験課題として海中飼育放流試験を風蓮湖で行い、比較対照群を近隣の西別川から放流する。本管内の調査では、渚帯や漁港においてサケ幼稚魚を採集し、海中飼育放流と河川放流の標識幼稚魚の移動や成長を把握し、比較することを目的とする。

【方法】

河川放流群は西別川上流の本別ふ化場から、海中飼育放流群は風蓮湖内の走古丹漁港からそれぞれ2020年4月27日に放流された(図1)。根室管内の羅臼地区、標津地区、野付地区、別海地区、根室半島地区のそれぞれ4カ所の渚帯・漁港において、地曳網によるサケ幼稚魚採集調査を行った(図1)。調査は2020年の5月中旬から6月下旬にかけて、各地区4回行われ、水温および塩分を測定し、地曳網を用いて幼稚魚を採集した。また、別海地区の別海漁港と走古丹漁港、根室半島地区の温根元漁港と瑛瑤瑠漁港において、夜間にたも網によるサケ幼稚魚採集調査を行った。別海地区では4月下旬～5月下旬、根室半島地区では5月下旬～6月下旬にそれぞれ6回調査を行った。それぞれの調査で採集したサケ幼稚魚の一部を実験室に持ち帰り、魚体測定、耳石標識の確認を行った。

【結果および考察】

根室管内さけ・ます増殖事業協会が別事業予算で行った渚帯調査で得られた水温の平均値(1995～2019年)と比較すると、2020年は6月中旬が平均値より高かった(図2)。

地曳網調査では、根室管内全体においてサケ幼稚魚は調査が実施された5月中旬から6月下旬まで採捕された(図3)。南部地区では、サケ幼稚魚は5月下旬に多く採捕されたが、6月中旬になると多くの場所で採捕されなくなった。

夜間のたも網調査では、別海地区では単位時間当たりの採捕数が4月下旬からいったん急減した後、徐々に増加し5月中下旬にピークを示した(図4)。根室半島地区では少数のサケ幼稚魚しか採捕できなかった(表1)。地曳網調査やたも網調査の結果から、根室南部地区ではサケ幼稚魚は6月上中旬には渚帯を離脱していると推測された。

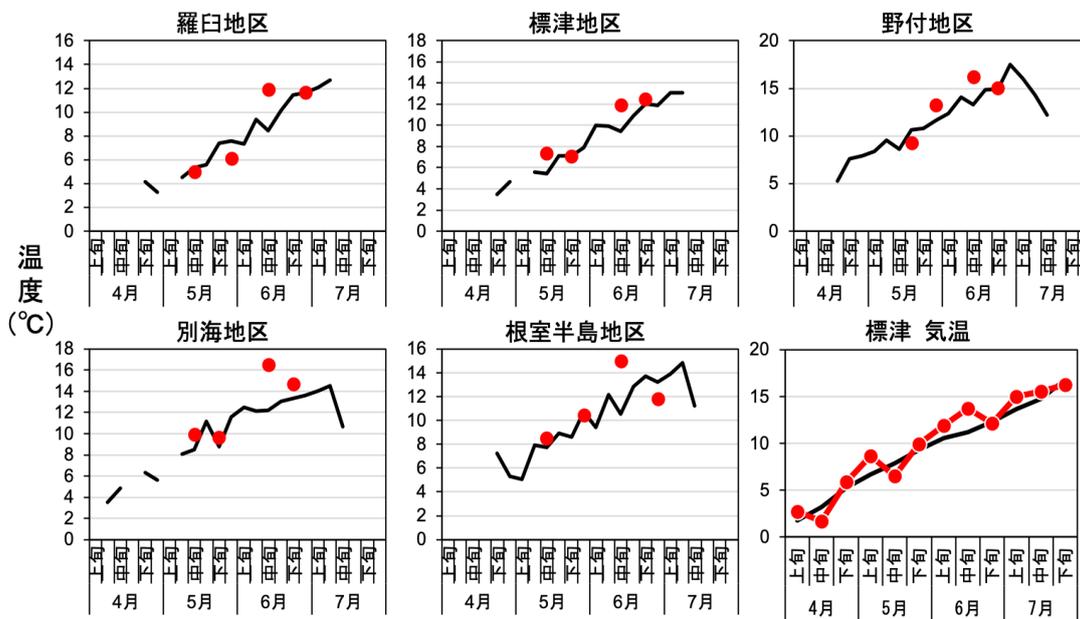
根室管内全体では1,814尾のサケ幼稚魚を標本として分析した(表1)。分析した標本からは河川放流群が11尾、海中飼育放流群が124尾発見され、両群とも別海地区と根室半島地区で発見された(図5)。再捕された海中飼育放流群は、体長や体重のばらつきが大きかったが、肥満度は放流時から減少しておらず、常に河川放流群より高く推移した(図6)。一方、河川放流群は放流後、肥満度の急激な減少が見られたが、時間の経過とともに回復した。



図1 根室管内において地曳網調査を行った個所。黒線の○は夜間のたも網調査を行った個所。青色の星印は上流放流群の放流場所（本別ふ化場）、オレンジ色の星印は海中飼育放流群の放流場所（走古丹漁港）

表 1 根室管内において分析したサケ幼稚魚の標本数。別海地区と根室半島地区のカッコ内数値はとも網調査で得られた標本。

採集旬	月日	採集地区					総計
		羅臼	標津	野付	別海	根室半島	
4月下旬	4/30				150 (150)		150
5月上旬	5/5				68 (68)		68
5月中旬	5/11-16			97	308 (308)	60 (0)	465
5月下旬	5/21-26	86	148	26	431 (366)	152 (1)	843
6月上旬	6/3-11		190	69	3 (0)		262
6月中旬	6/11					3 (3)	3
6月下旬	6/22-30		8	1		14 (14)	23
総計		86	346	193	960	229	1,814



黒線：1995-2019年の平均値（気温は1982-2019年の平均値）

●：2020年

図 2 根室管内の各地区における平均水温と標津における気温の変化。

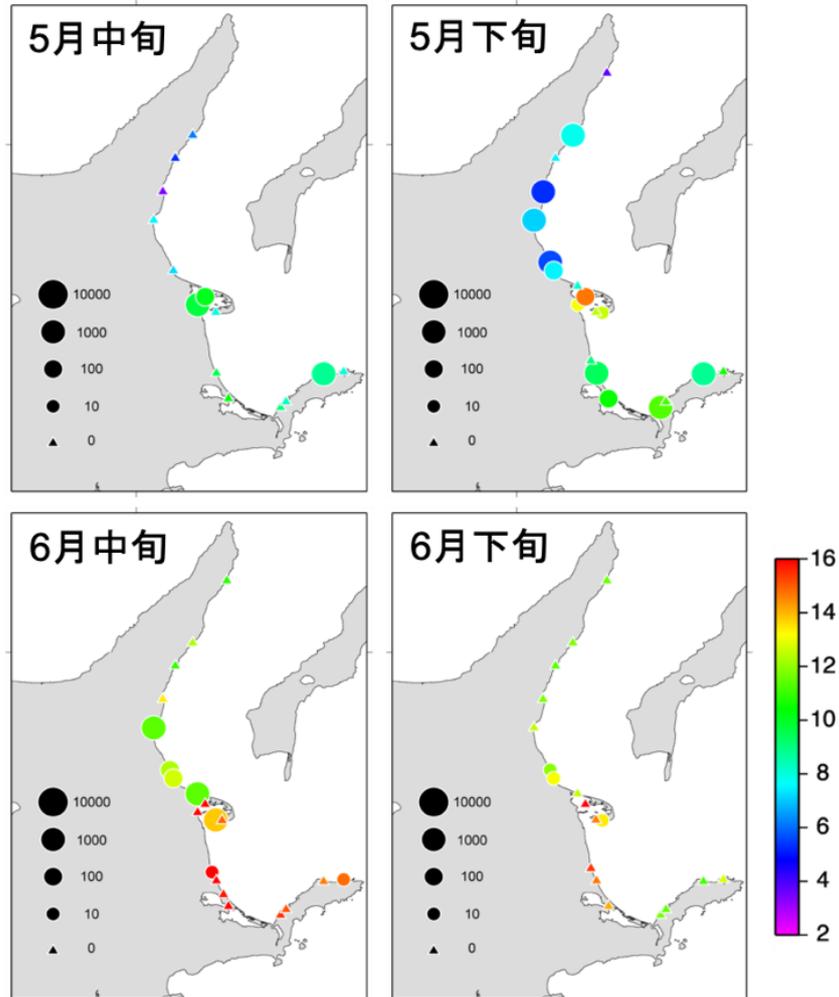


図 3 根室管内におけるサケ幼稚魚の出現状況。▲は採捕されなかったこと、●は採捕されたことを示し、●の大きさは採捕された尾数を示す。▲や●の色は水温を示す。

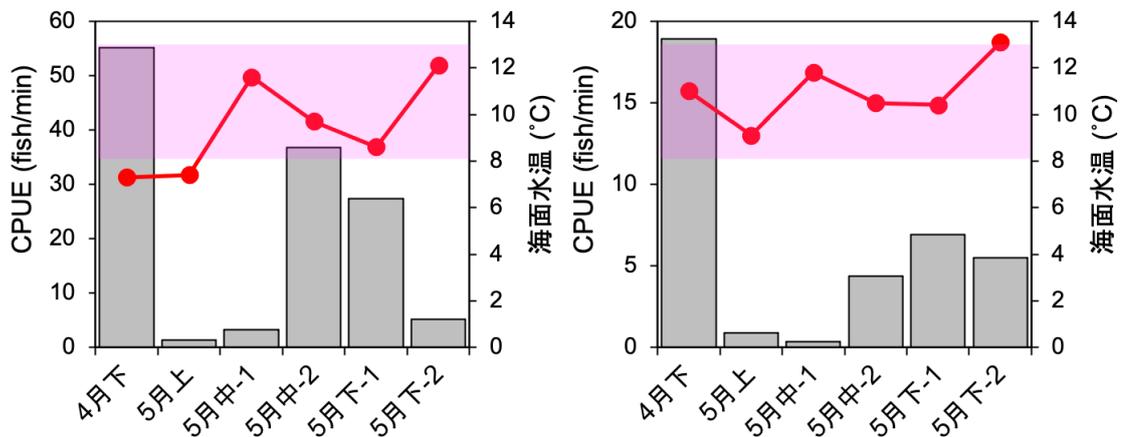


図 4 別海漁港（左）と走古丹漁港（右）における夜間のたも網調査における時間当たりの採集尾数と水温の変化。折線は海面水温、ピンク色の部分は水温 8-13°C の適水温帯を示す。

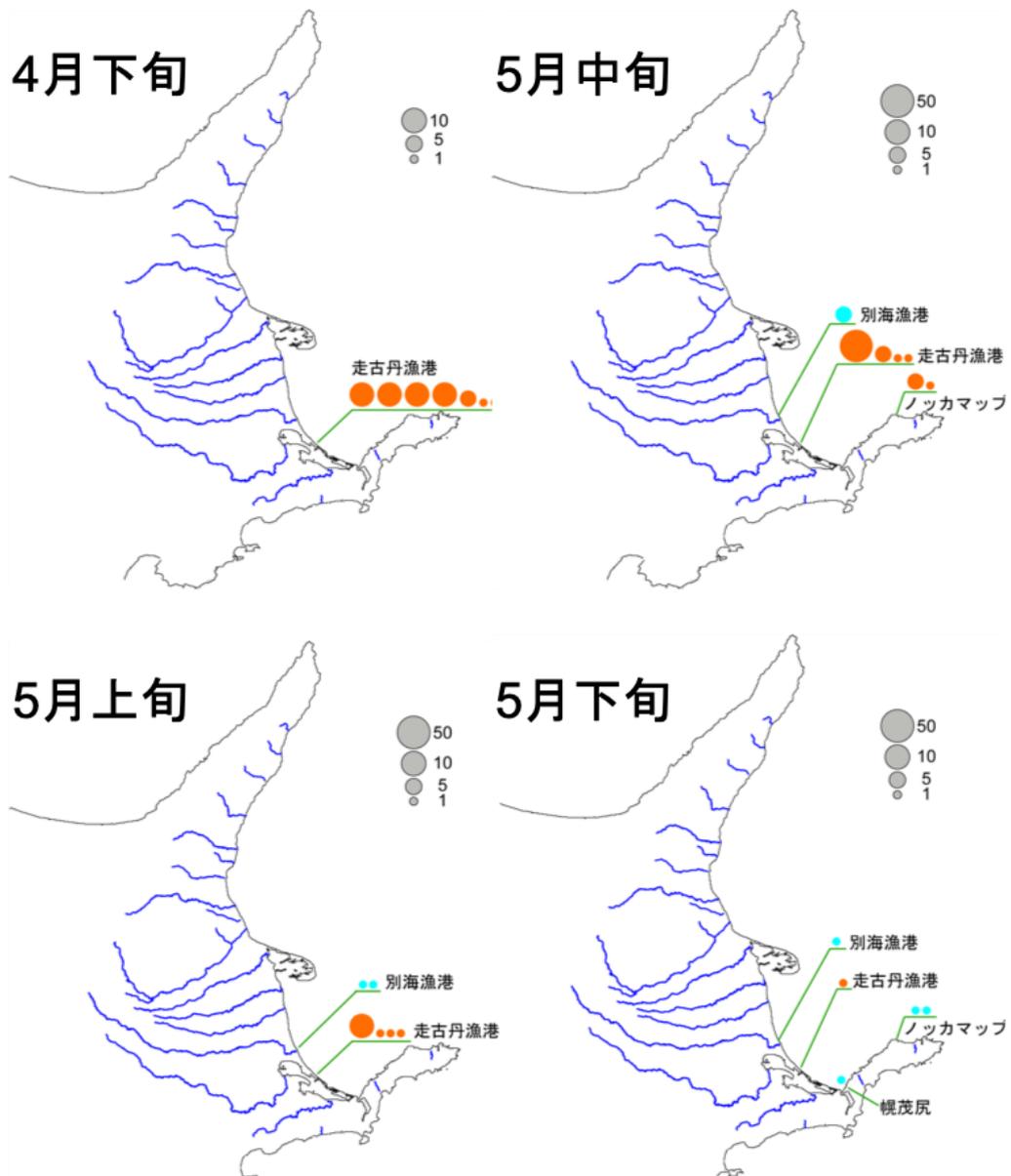


図5 根室管内における西別川放流および海中飼育放流標識魚の採捕状況.

● : 河川放流、● : 海中飼育放流

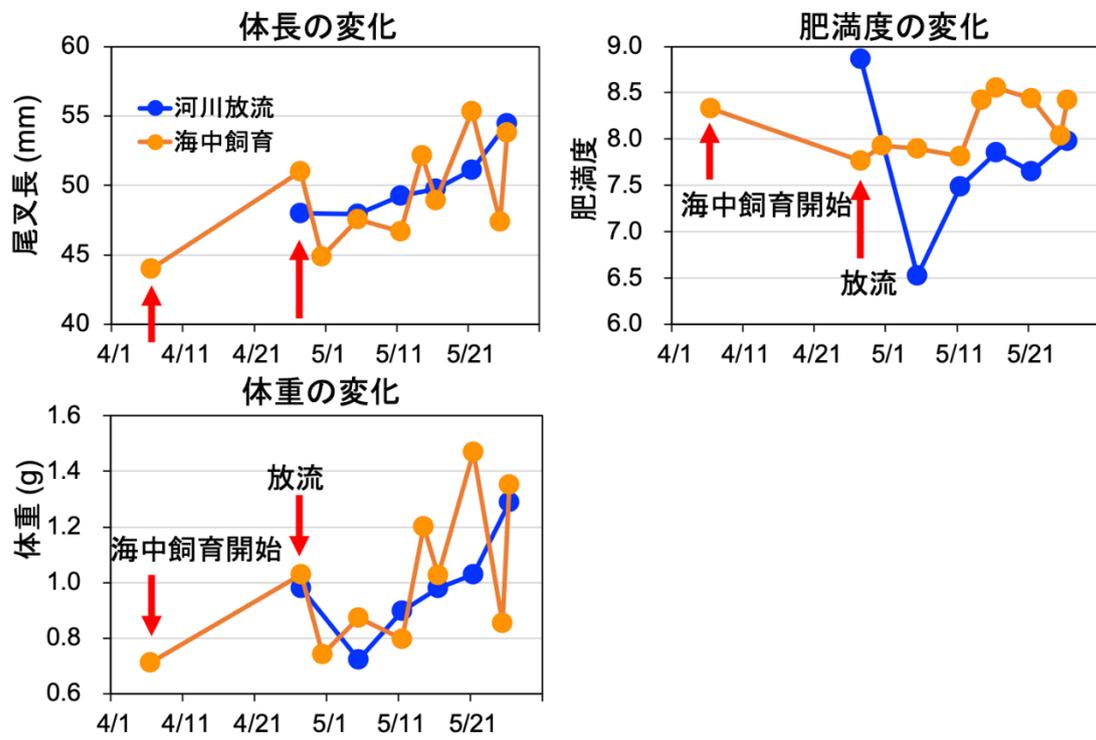


図 6 標識魚の体長（左上）、体重（左下）、肥満度の変化（右上）。矢印は海中飼育の開始時と放流時のサイズを示す。

d. 太平洋・根室海峡・オホーツク沖合

実施機関及び担当者:

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場 さけます資源部: 石田良太郎、虎尾充

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場 道東センター: 春日井 潔、越野陽介

【目的】

サケは降海直後の沿岸域でもっとも減耗が大きいと推測されており、北海道沿岸域を離れ、オホーツク海へ移動する途中の幼稚魚は沿岸域における減耗を経て生き残った魚と考えられる。それらの幼稚魚の放流場所や放流日が標識によって特定されれば、その魚の生物学的情報(降海時期、成長など)は生き残りの条件を探索する上で非常に有用である。

本調査では、太平洋から根室、オホーツクの沖合にかけて海洋観測とサケ幼稚魚の採集を行い、標識放流した幼稚魚の移動や成長等を把握し、海洋環境と幼稚魚の動態の関係を検討することを目的とする。

【方法】

2020年7月7～15日にオホーツク海沖合において北海道立総合研究機構 釧路水産試験場の調査船北辰丸により、日中は15カ所で海洋環境調査とトロール網による魚類採集、夜間は27ヶ所でサケ幼稚魚の観察およびたも網による採集を行った(図1)。採集したサケ幼稚魚は魚体測定および耳石標識の確認を行った。

【結果および考察】

調査を行った海域の海面水温は11.9～18.1℃(平均14.9℃)で、サケ幼稚魚にとっては好適水温より高い水温帯であったが、水深10mでは4.8～14.8℃(平均11.6℃)と好適な水温帯であった(図2、3)。水温・塩分の鉛直分布から見て、網走湾では距岸40～50kmより岸寄りに宗谷暖流水があり、それより沖合には表層を暖かく薄い塩分の水が覆っていた(図4)。

トロール網ではサケマス幼稚魚を3カ所で計23個体を採集した。夜間は14カ所でサケマス幼稚魚を確認し、その内3ヶ所で計5個体を採集した。サケマス幼稚魚が確認・採集できた地点は、距岸4～129km(平均81.4km)で、海面水温は11.9～17.3℃(平均14.7℃)であった(図2、3)。

採集されたサケ幼稚魚は平均尾叉長9.1cm、平均体重8.19gで(表1)、斜里川放流群1個体、徳志別川放流群2個体、頓別川放流群1個体、およびロシアからの放流群と思われる1個体の計5個体で耳石標識が確認された。採集されたカラフトマス幼稚魚は尾叉長7.2cm、体重2.85gで、耳石の標識は確認されなかった。

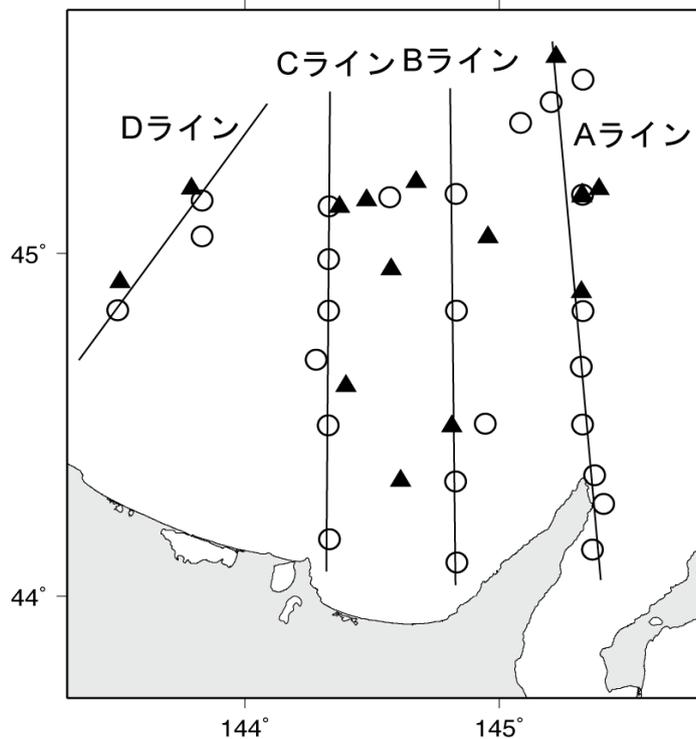


図1 オホーツク海沖合における調査箇所. ▲: トロール調査、○: 夜間調査

表1 採集されたサケマス幼稚魚の体サイズ. 各項目は平均 ± 標準偏差 (範囲).

魚種	測定 個体数	尾叉長 (cm)	体重 (g)	肥満度
サケ	21	9.13 ± 1.54 (5.79 - 11.44)	8.19 ± 4.22 (1.42 - 15.46)	9.52 ± 0.98 (7.11 - 10.98)
カラフトマス	1	7.2	2.85	7.63

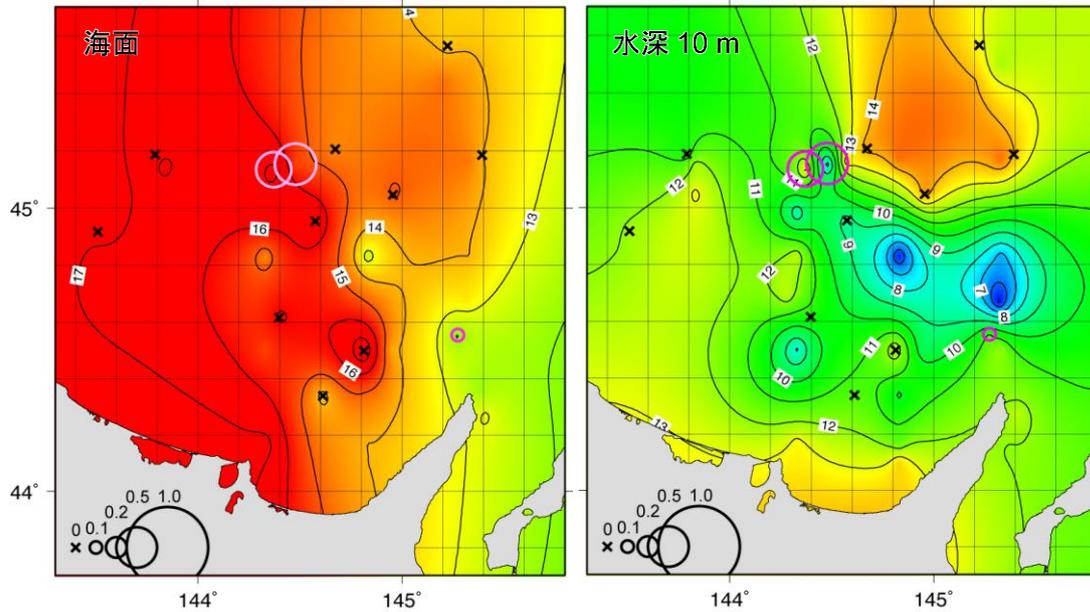


図2 海面（左）と水深 10 m（右）の水温分布とサケマス幼稚魚がトロール網で採集された場所. 1 時間あたりの採集尾数で示す.

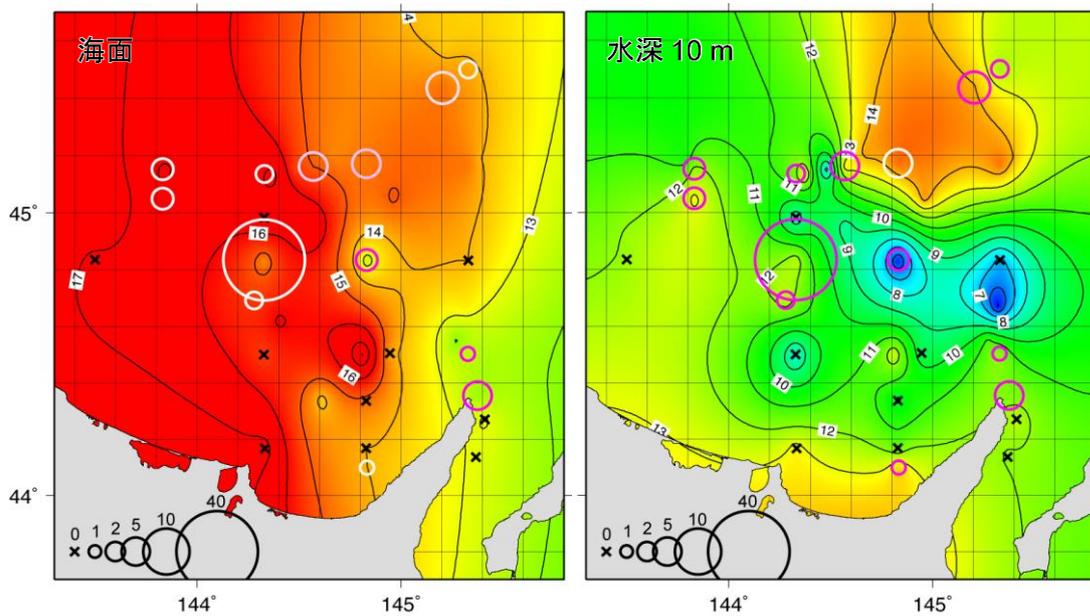


図3 海面（左）と水深 10 m（右）の水温分布とサケマス幼稚魚が夜間に観察された場所. 1 時間あたりの観察尾数で示す.

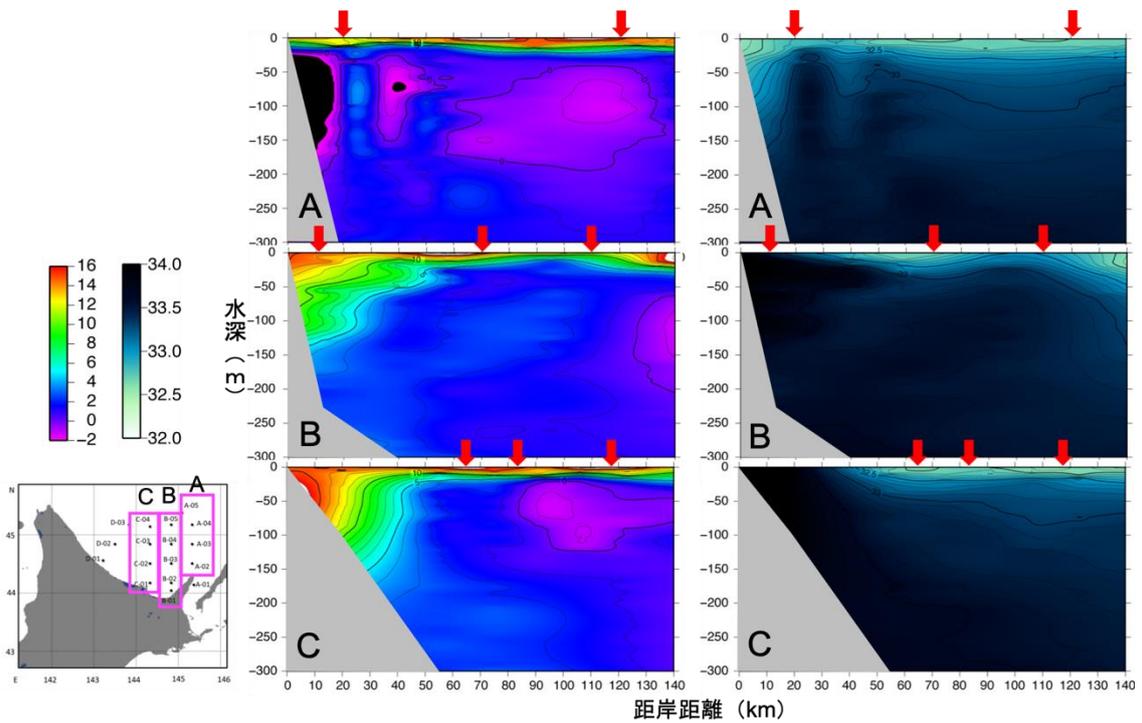


図4 A (上段)、B (中段)、C (下段) の各ラインにおける水温 (左) と塩分 (右) の鉛直分布. 図中の矢印はサケマス幼稚魚が確認・採集された場所を示す. 水温の鉛直分布で黒い部分と白い部分はそれぞれ -2°C 未満、または 16°C を越える水温を示す.

③ サケ幼稚魚回遊モデル

実施機関及び担当者:

水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部 寒流第1グループ: 東屋知範、黒田 寛

水産技術研究所 環境・応用部門 沿岸生態システム部 亜寒帯浅海域グループ: 鶴沼辰哉、横田高士

【目的】

高解像度海洋循環モデルを用いて、太平洋および日本海沿岸の双方から放流されたサケ幼稚魚の移送経路をシミュレーションし、サケ稚魚の遊泳条件および回遊経路を推定する。

【方法】

1) 2003年～2013年における3月～8月までの毎日の海面水温(SST)データ(NOAA High-resolution Blended Analysis of Daily SST and Ice)の解析を行い、北日本周辺におけるサケ幼稚魚の適水温の変動と本州太平洋の回帰量の相関関係を調べた。また、同期間の高解像度海洋循環モデルの再解析値による海洋環境(水温・塩分・流れ)と本州太平洋の回帰量の相関関係を調べた。本州太平洋サケ回帰量2002年～2012年級群の平均以上の年級群(2003年、2004年、2005年、2006年、2010年)と平均以下の年級群(2007年、2008年、2009年、2011年、2012年、2013年)の2グループを抽出し、各2グループの年級群が降海時に経験する翌年春季の海洋環境を平均した合成図を作成し比較した。

2) 2003年～2018年までの高解像度海洋循環モデル再解析値を用いたサケ幼稚魚回遊モデルの経年変動実験を行った。これまでの結果を基に、サケ幼稚魚回遊モデルには、北海道石狩湾沿岸から投入する粒子には遊泳効果を入れず、太平洋岩手県沿岸から投入する粒子には、流れの逆向きに遊泳する効果を入れて経年変動実験を行った。石狩湾沿岸と岩手県沿岸から投入した粒子は、これまでと同様に1日1回44個と96個の粒子を図1に示した海域からそれぞれ投入した。モデルで調べるサケ幼稚魚の回遊の期間は3月1日～8月31日までとした。石狩湾沿岸投入粒子についてはオホーツク海に(図1 赤ハッチの領域)、岩手県沿岸投入粒子については道東沿岸(43°N以北、146°E以东)に到達する粒子数を調べた(図1 青ハッチの領域)。更に岩手県沿岸投入粒子については遊泳速度と到達数の関係を調べるため、設定遊泳速度を30cm/s・50cm/s・80cm/sの3ケースについて経年変動実験を行った。

【結果】

1) 海洋環境

本州太平洋サケ回帰量に基づく平均海洋環境

本州太平洋海域の回帰量とSSTの適水温になる時期(図2 左)、終わる時期(中)、適水温期間(右)との相関の空間分布を示す。回帰量の増加に対するそれぞれの相関係数は適水温になる時期が遅い(早い)、終わる時期が遅い(早い)、適水温期間が長い(短い)と正(負)の相関係数になる。本州太平洋海域の回帰量と適水温になる時期の相関係数はほぼ北日本周辺域で正の相関係数を示し、特に岩手沿岸域では0.6以上($p < 0.05$)であった。また適水温時期終わる時期、適水温期間の相関関係についても、同様に正の相関係数の海域が広がって

いた。つまり、本州太平洋海域の回帰量が多い年級群が経験する海洋環境は、この海域の水温が低温で適水温時期が遅くゆっくり昇温していたことになる。

SST 解析と同様に、本州太平洋海域の回帰量と高解像度海洋循環モデル再解析値の 0m における水温、塩分、東西成分の流速(東向きが正)、南北成分の流速(北向きが正)の相関係数の空間分布を図 3 に示した。水温・塩分・南北成分の流れにおいて、相関関係-0.6 以下 ($p < 0.05$) の領域が東北沿岸海域に分布した。これらの結果から、回帰量が多い年級は、岩手県沿岸域の水温・塩分が低く、流れが南向きである海洋環境であった。

高解像度海洋循環モデルの再解析値の 0m と 100m における本州太平洋の回帰量が多い年級群が経験した年のグループと回帰量が少ない年級群が経験した年のグループの平均水温・流れベクトルを図 4 に示す。図の青色が 5°C 以下、水色 5~10°C、黄色 10~15°C、赤色 15°C 以上の水温帯を示す。回帰量が多いグループの平均から少ないグループの平均を引いた差の図における寒色(暖色)は、回帰量が多いグループの平均水温が少ないグループの平均水温より低い(高い)場合を示す。0m では東北沿岸から北海道東岸にかけて回帰量が多いグループの平均水温が、少ない年の平均水温より低かった。水深 100m では、その特徴が顕著になり、低水温域が南まで分布していた。この水温分布の違いは、水塊の配置の違いと考えられる。そこで 0m における同再解析値を用い、回帰量が多いグループと少ないグループの平均した水塊分布と流れベクトルを図 5 に示した。水塊区分は Ohtani (1971) と Hanawa and Mistudera (1982) に従った。ただし本調査では、沿岸親潮水の昇温水を SW1 とし親潮水 OW の昇温水を SW2 として色を変えて示している。回帰量が少ないグループに比べ多いグループには、親潮 (OW) や沿岸親潮・親潮の昇温水 (SW1・SW2) がより南まで分布していた。水塊分布と同時現象ではあるが、回帰量が多い年の平均的な流動場には道東から東北沿岸まで連続した流れが 6 月まで存在するが、少ない年の平均流動場にはその流れがなかった。

2) サケ幼稚魚回遊モデルの経年変動実験

石狩湾沿岸から投入しオホーツク海に達した粒子数

北海道日本海側の回帰量(降海した年に合わせ表示)の相対値(青)と石狩湾沿岸から投入しオホーツク海に達した粒子数の経年変化は、2003 年を除いては似ていた(図 6 上段)。図 6 下段には X 軸に到達粒子数、Y 軸に回帰量の散布図を示すと、統計的に優位な相関ではないが ($R=0.32$)、到達粒子数が多くなると、回帰量も多くなる傾向がみられた。石狩湾沿岸から投入された粒子がオホーツク海に入る場合の粒子投入時期、投入付近水温、そして経験水温の関係をみると(図 7)、投入付近水温が灰色の適水温時期になる前に投入された粒子がオホーツク海に達するまでの経験水温は、サケ分布水温 (2.7°C~15.6°C) 内(緑色)であった。一方、投入付近水温が灰色の適水温時期に投入された粒子がオホーツク海に達するまでの経験水温は 15.7°C 以上(赤色)になった。ほぼ全ての年で同様な傾向がみられた。このことから、石狩湾付近の沿岸水温が適水温時期になる前に離岸したサケ幼稚魚は、より生残に有利になるかもしれない。

本州太平洋岩手県沿岸から投入し道東に達した粒子数

2003年～2018年について、岩手県沿岸から投入された粒子が北海道東岸に達する間の経験水温がサケ分布水温内であった移動経路と粒子数を調べた。道東まで到達する粒子の移動経路や棒グラフから、設定遊泳速度の速い場合(青色)の粒子が遊泳速度の遅い場合(赤色)より多く道東まで達した。これまでの平均的な海洋環境場での粒子追跡実験結果と同様であり、経年変動実験でもサケ幼稚魚の遊泳速度が速いほど道東まで達することがわかった。粒子の主な移動経路には、岩手県沿岸から北海道襟裳沿岸付近に達した後、道東に達するケースと、岩手県沿岸からいったん東の沖合に出た後、北上して道東に達するケースがあった。2005、2006、2010年では、適水温期間(赤線)に投入した粒子は、遊泳速度が遅い場合(赤色)でも道東まで達した。これらの年は、本州太平洋の回帰量が多い年級群が経験した年に対応している。一方、近年の2014年～2016年では、遊泳速度が速くても道東まで達する粒子は非常に少なかった。2017、2018年では遊泳速度が速い場合に粒子は道東まで達した。サケ幼稚魚回遊モデルでは、岩手県沿岸海域から投入される粒子には流れに逆らって泳ぐ仮定を設定しているため、道東から本州太平洋沿岸にかけて連続した親潮系の流れがあると、流れに逆らって(沿って)道東まで効率よく達した。ただし遊泳速度は、南下流速より速い必要がある。モデルによる岩手県沿岸から道東までの到達粒子数が本州太平洋の回帰量を反映すると仮定すると、次の可能性が考えられる。①モデルによる到達粒子数が相対的に多く、実際の回帰量が多い場合(2005、2006、2010年)。サケ幼稚魚の離岸のタイミングと幼稚魚にとって良い海洋環境(道東まで達しやすい海洋環境)が一致している。②モデルによる到達粒子数が相対的に多いが、実際の回帰量が少ない場合(2007、2008、2009、2012、2013年)。実際のサケ幼稚魚の離岸のタイミングと良い海洋環境が一致していない。モデルの図下段の棒グラフの高い時期に、実際にはサケ幼稚魚が離岸していない可能性がある。③モデルによる到達粒子数が相対的に少ないが、実際の回帰量が多い場合(2003、2004)。実際のサケ幼稚魚の離岸のタイミングと良い海洋環境は一致している。モデルの図下段の棒グラフが低い時でも、実際にはその時に多くのサケ幼稚魚が離岸した可能性がある。④モデルによる到達粒子数が相対的に少なく、実際の回帰量も少ない場合(2014、2015、2016年)。実際のサケ幼稚魚の離岸のタイミングには関係なく海洋環境がサケ幼稚魚に適していない。①～③の場合には、道東まで粒子が到達し易い指標を見出せる可能性がある。一方、④については、粒子が岩手県沿岸から道東にまで到達できる条件を更に調べる必要がある。

現場調査では大きな体長の幼稚魚が道東に達しており、遊泳速度が速いと道東に達する粒子が多くなることと整合性がある。サケ幼稚魚の生物エネルギーモデルにおける湿重量の時間変化は式(1)で表される。

$$dW/dt=(C-(R+SDR+E+F))* \quad (1)$$

ここで、Wは湿重量、tは時間、Cは餌の消費による増加率、Rは呼吸・代謝、SDRは特異動的作用、Eは排泄、Fは排出による減少率である。摂取エネルギー量と水温が一定の条件下で

は、(1) 式の SDR 項以外は一定となる。しかし遊泳速度が速いほど SDR の項が大きくなり成長率が抑制される。これは遊泳速度が速い場合には遊泳速度が遅い場合より小さな体長になる可能性を意味する。このことから、より大きな幼稚魚の状態で道東に達するためには、どのような経路水温と遊泳速度の組み合わせを選択すればよいか更に調べる必要がある。

【引用文献】

Hanawa, K. and H. Mitsudera (1986) Variation of water system distribution in the Sanriku coastal area. J. Oceanogr. Soc. Jpn., 42, 435-446.

Ohtani, K. (1971) Studies on the change of the hydrographic conditions in the Funaka Bay II. Characteristics of the waters occupying the Funaka Bay. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 22, 58-66 (in Japanese with English abstract).

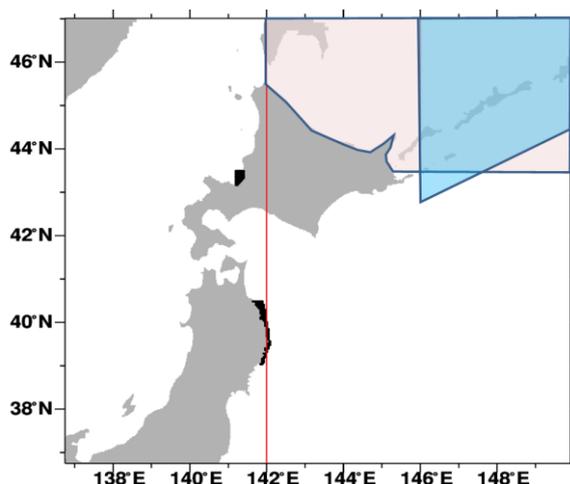


図 1. サケ幼稚魚回遊モデルの計算領域とサケ稚魚を模した粒子を投入した海域(黒色)。石狩湾沿岸から投入した粒子は 142° E 以東まで達した粒子(赤ハッチ)、岩手県沿岸海域から投入された粒子は北海道東岸(43° N 以北、146° E 以東 青ハッチ)に達した数の経年変化を調べた海域。

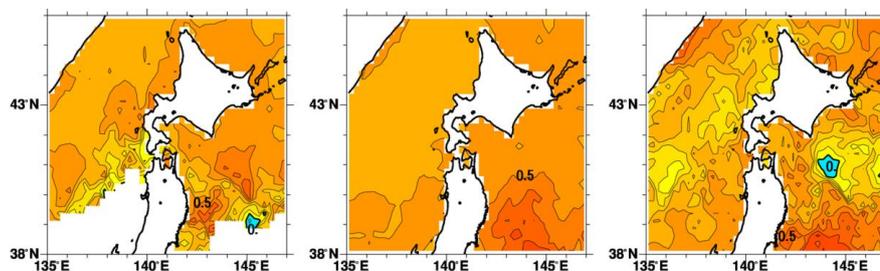


図 2. 本州太平洋海域の回遊量と SST の適水温になる時期(左)、終わる時期(中)、適水温期間(右)との相関の空間分布を示す。暖色(寒色)は正(負)の相関係数の海域を示す。細線は 0.1、太線は 0.5 の相関係数を示す。

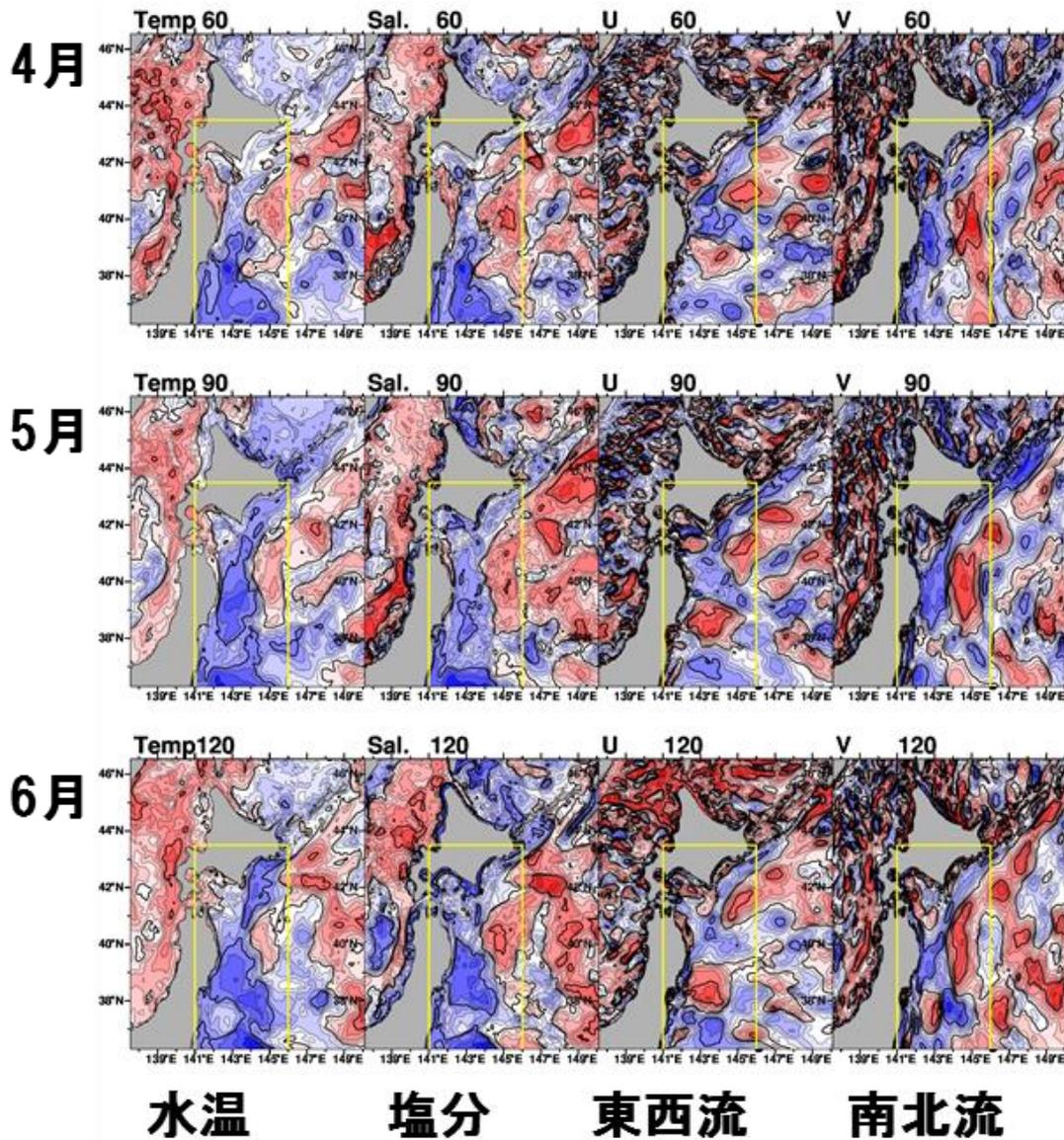


図 3.本州太平洋海域の回遊量と高解像度海洋循環モデルによる再解析値の水深 0m における水温、塩分、東西成分の流速(東向きが正)、南北成分の流速(北向きが正)の相関係数の空間分布を示す。暖色(寒色)は正(負)の相関係数の海域、細線は 0.1、太線は 0.5 の相関係数を示す。上段から 4 月、5 月、6 月を示す。

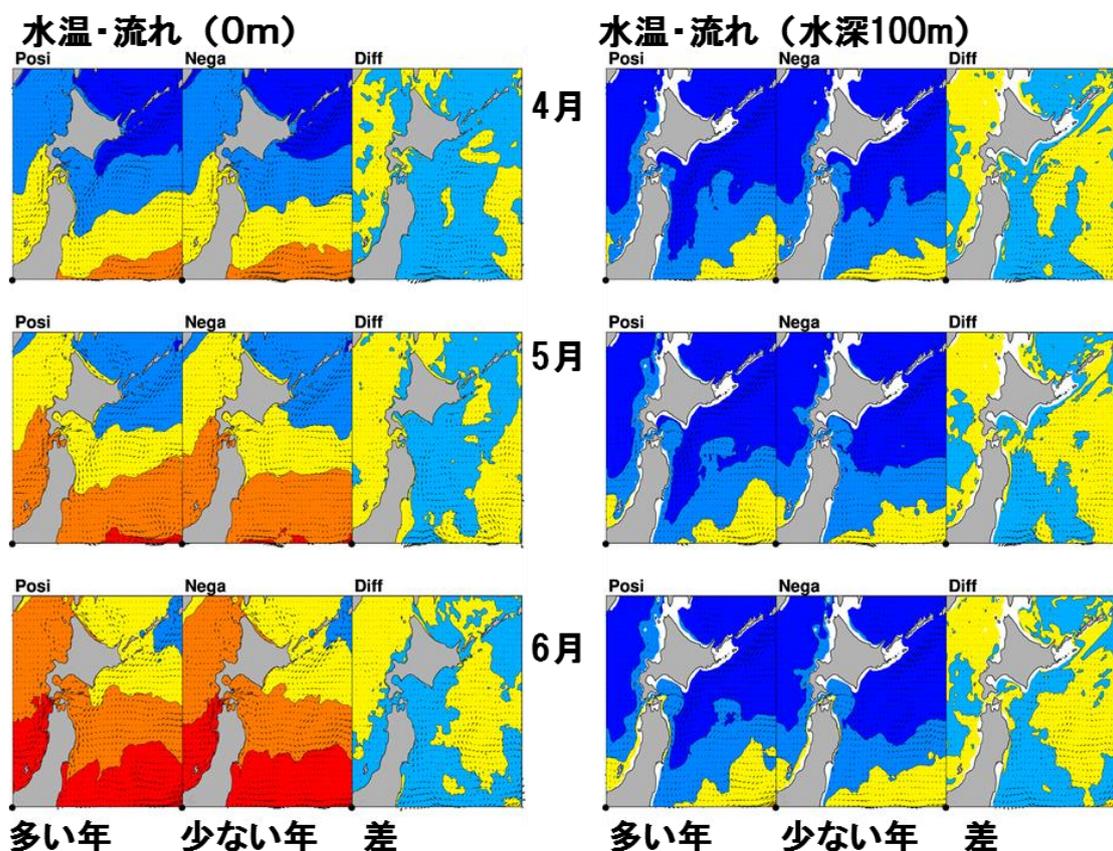


図 4.高解像度海洋循環モデルの再解析値による水深 0mと水深 100m における本州太平洋の回帰量が多い年級群が経験する年と回帰量が少ない年級群が経験する年をそれぞれ平均した水温・流れベクトルとその両グループの差を示す。上段から 4 月、5 月、6 月。青色:5°C以下、水色:5-10°C、黄色:10-15°C、赤色:15°C以上の水温帯を示す。両グループの差は回帰量が多い年級群が経験した年の平均から少ない年級群が経験した年の平均を引いた。寒色(暖色)は回帰量が多い年の平均水温が少ない年の平均水温より低い(高い)場合を示す。

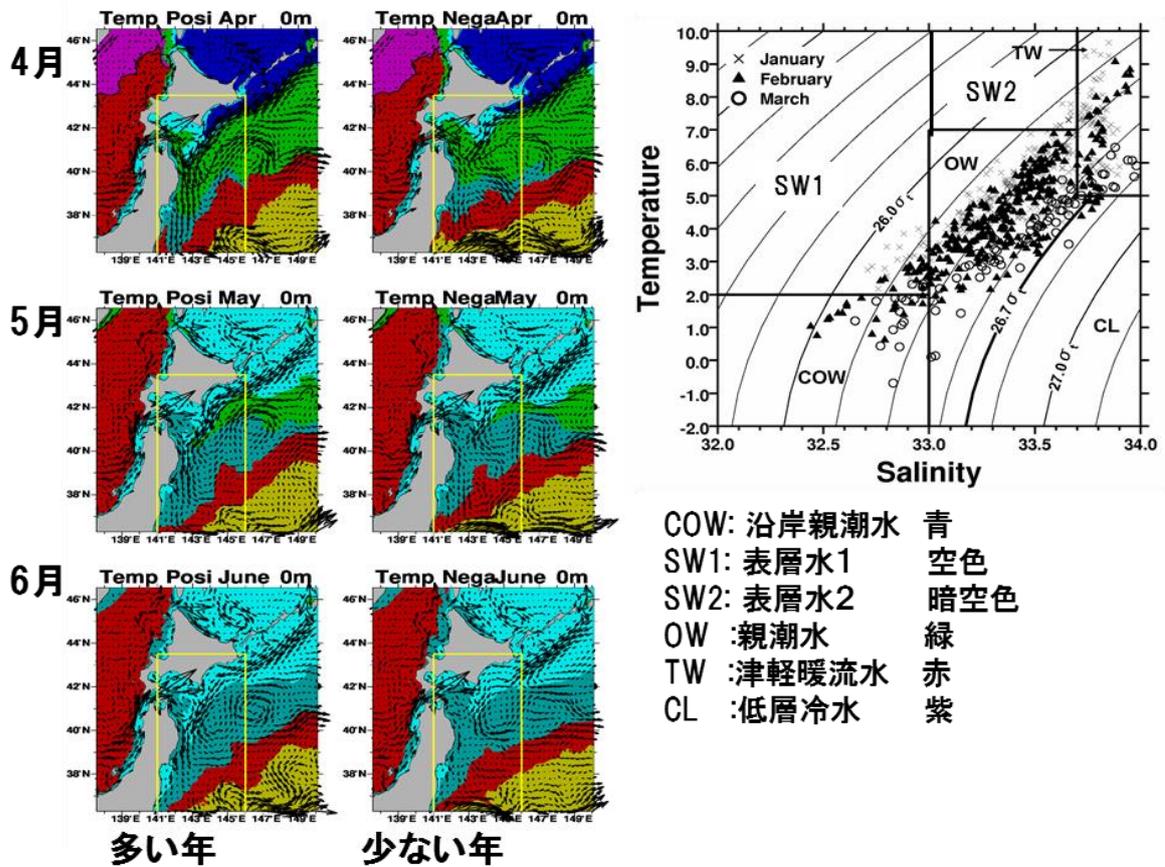


図 5. 回帰量が多い年(左)と少ない年(右)の平均した水塊分布と流れベクトル。右の TS ダイアグラムで水塊区分は Ohtani(1971)と Hanawa and Mistudera (1982)による。親潮水(OW):緑、沿岸親潮水(COW):沿岸親潮昇温水(SW1):水色、親潮水の昇温水(COW2):暗水色、津軽暖流水(TW):赤、低層冷水(CL):紫、その他:黄土色。

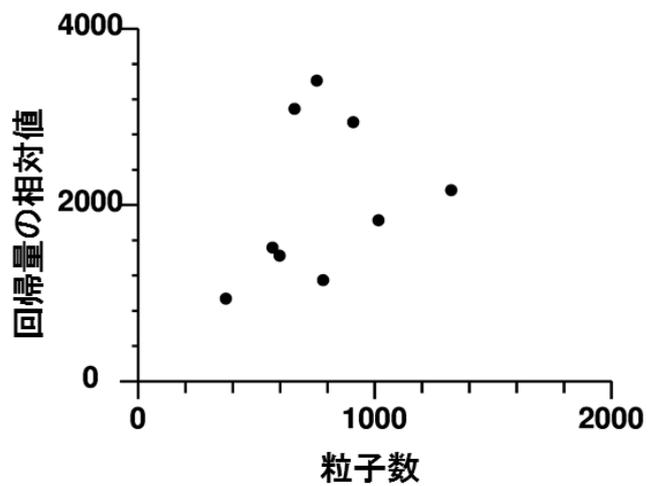
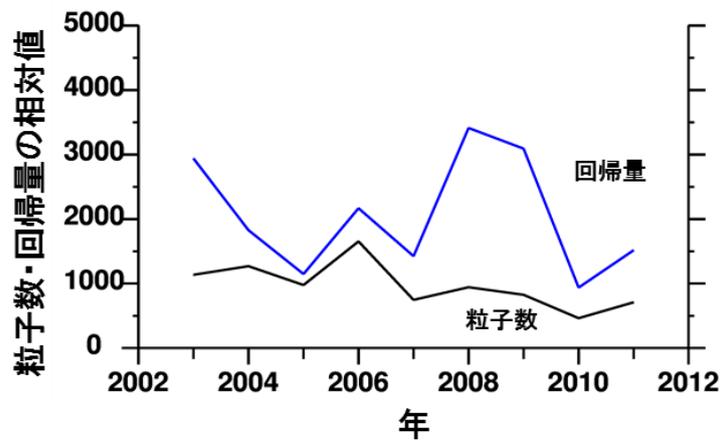


図 6. 上段は北海道日本海側の回帰量(降海した年に合わせ表示)の相対値(青線)とオホーツク海に達した粒子数の経年変化(黒線)を示す。下段は X 軸:到達粒子数、Y 軸に回帰量の散布図を示す。

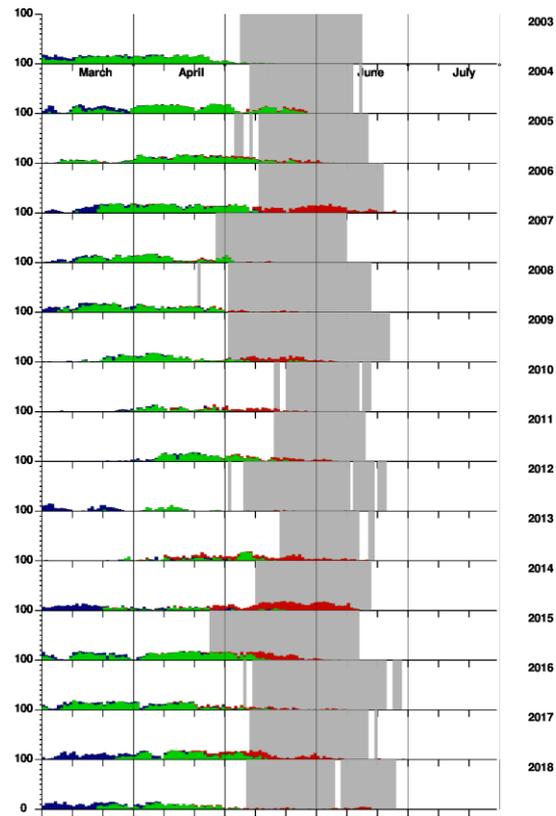


図 7. 石狩湾から投入した粒子のうちオホーツク海に達した粒子数の経年変化。横軸：投入時期、縦軸：粒子数、青：オホーツク海に達するまでにサケ分布水温(2.7℃～15.6℃)より低温を経験した粒子数、緑：オホーツク海にサケ分布水温内で到達した粒子数、赤：オホーツク海に達するまでにサケ分布水温より高温を経験した粒子数、灰：投入海域がサケ稚魚の適水温(8℃～13℃)期間。

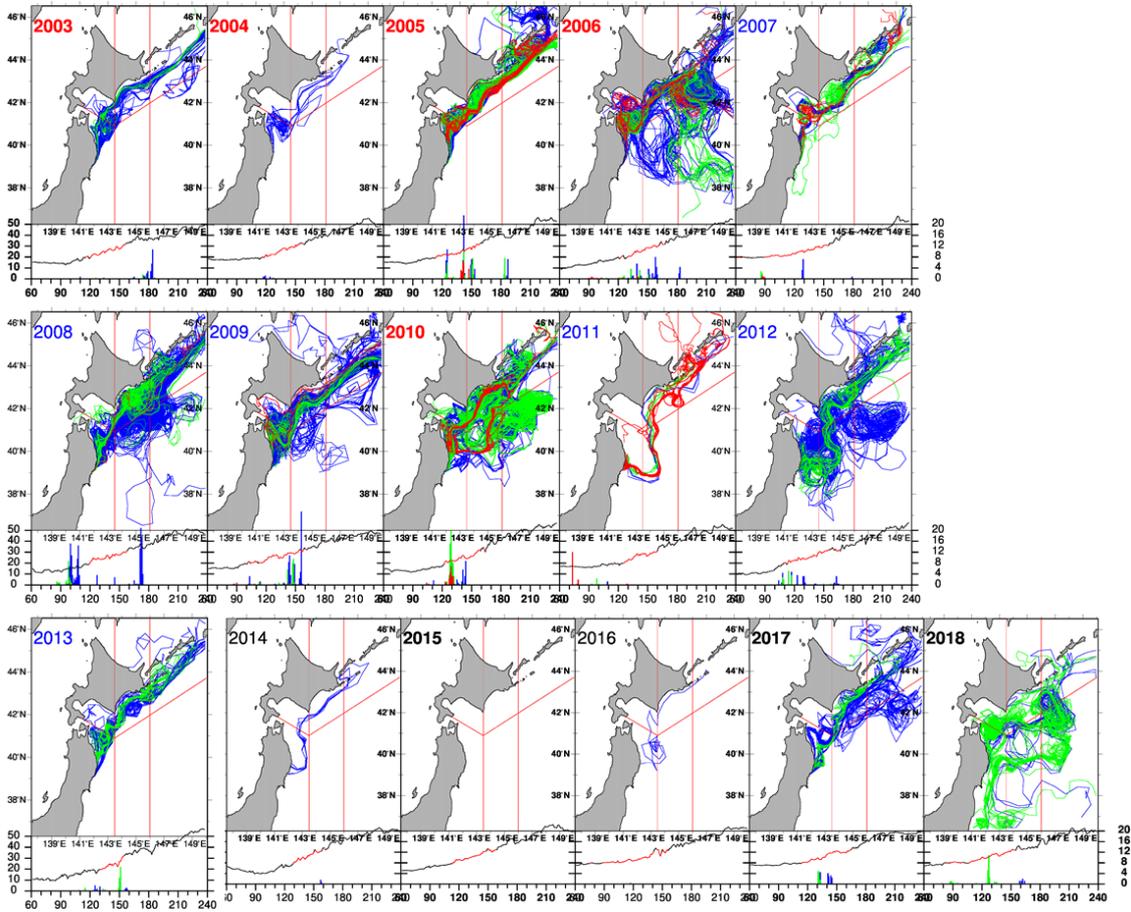


図 8. 各年の粒子の移動経路を示す。赤色: 遊泳速度 30cm/s、緑色: 遊泳速度 50cm/s、青色: 遊泳速度が 80cm/s。表示年の赤(青)色は実際のサケ回帰量が平均より多い(少ない)年級群が経験した年、黒色はサケ回帰量が確定していない年を示す。各年図下段は、粒子投入付近における 3 月 1 日 (60 日) からの水温の時間変化を示し、赤線部分は適水温期間 (8°C~13°C) を示す。棒グラフは道東まで達した粒子の投入時期と到達粒子数を示し、色は遊泳速度の違いを示す。

④ 北海道における回遊経路追跡用標識稚魚の生産

実施機関及び担当者:

根室管内さけ・ます増殖事業協会: 蠣崎宏、平澤勝秋、田中恒彦、川上仁

十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会: 成田伝彦、新出幸哉、林紀幸、前畑一茂

日高管内さけ・ます増殖事業協会: 清水勝、片山勇樹、利浪隆亮

日本海さけ・ます増殖事業協会: 安藤孝雄、安藤雅規、佐藤献二郎

渡島管内さけ・ます増殖事業協会: 柳元孝二、鈴木慎、中村昌睦、田村千尋

水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部: 福澤博明、山谷和幸、高橋悟、佐田巖、大本謙一、矢部貴大、吉野州正、渡邊勝亮、小野ゆい、富田泰生、大貫努、一家秀嘉、坂上哲也、濱谷司、松波優希、八重樫博文、渡邊伸昭、吉田梓佐

【目的】

各地域から放流されたサケ幼稚魚の移動実態や成長履歴を解析するため、耳石温度標識を施したサケ稚魚の放流及び生産を行う。根室海域においては西別川、えりも以東海域においては釧路川、えりも以西海域においては静内川及び知内川、北海道日本海域においては余市川をモデル河川に設定する。

【方法】

各地域からの放流稚魚の追跡調査のため、以下のとおり耳石温度標識を付けた稚魚の放流(2019(令和元)年級)及び生産(2020(令和2)年級)を行った。なお、健苗育成技術開発及び放流手法技術開発において生産された稚魚も追跡調査に供した。

a. 根室海域: 本別ふ化場において、令和元(2019)年度に回帰した親魚から採卵受精した卵を用いて耳石温度標識を付けた3,000千尾の稚魚を生産し、西別川及びその河口周辺(海中飼育)へ放流した。また、2020(令和2)年級についても同様に放流するための稚魚生産を行った。1-(2)-④放流手法技術開発兼用。

b. えりも以東海域: 芦別ふ化場において、令和元(2019)年度に回帰した親魚から採卵受精した卵を用いて耳石温度標識を施した4,800千尾の稚魚を生産し、釧路川へ放流した。また、2020(令和2)年級についても同様に放流するための稚魚生産を行う。1-(1)-②健苗育成技術開発及び1-(2)-④放流手法技術開発兼用。

c. えりも以西海域: 豊畑ふ化場において、令和元(2019)年度に回帰した親魚から採卵受精した卵を用いて耳石温度標識を付けた2,400千尾の稚魚を生産し、静内川へ放流した。また、2020(令和2)年級についても同様に放流するための稚魚生産を行う。

d. えりも以西海域: 知内ふ化場において、令和元(2019)年度に回帰した親魚から採卵受精した卵を用いて耳石温度標識を付けた2,700千尾の稚魚を生産し、知内川に放流した。また、2020(令和2)年級についても同様に放流するための稚魚生産を行う。1-(1)-②健苗育成技術開発兼用。

e. 北海道日本海域: 余市ふ化場において、令和元(2019)年度に回帰した親魚から採卵受精した卵を用いて耳石温度標識を付けた4,100千尾の稚魚を生産し、余市川に放流した。また、2020(令和2)年級についても同様に放流するための稚魚生産を行う。

【結果】

2019(令和元)年級の放流(表1)

a. 根室海域

風蓮川で捕獲したサケ親魚から10月11日に1,903千粒、西別で捕獲したサケ親魚から10月25日に1,718千粒を採卵、受精し、本別ふ化場に収容して卵管理、西別ふ化場にお

いて仔稚魚管理を行った。10月11日採卵群は海中飼育群として2,3,6Hの耳石標識コード(ハッチコード)を施し、4月6日から風蓮湖内の海中生簀で飼育後、4月27日に1,677千尾を海中飼育生簀から放流した。10月25日採卵群には対照群として2,3,5Hハッチコードを施し、4月27日に西別ふ化場から1,509千尾を自然放流した。

b. えりも以東海域

釧路川で捕獲したサケ親魚から9月18日に3,000千粒、9月23日に1,500千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に收容して卵・仔稚魚管理を行った。9月18日採卵群の半数は油脂添加群として2n-2n,2Hハッチコードを施し3月27日に1,344千尾を、残り半数を対照群(油脂無添加群)として2n,2n-2Hハッチコードを施して3月27日に1,344千尾を芦別ふ化場から自然放流した。9月23日採卵群は輸送放流群(油脂添加)として2n-2n,3Hハッチコードを施し、釧路川支流雪裡川の下流域へ輸送放流する予定だったが、放流前の大雨によって河川が大氾濫したため輸送放流を断念し、4月3日に1,366千尾を芦別ふ化場から自然放流した。

c. えりも以西海域 静内川

静内川で捕獲したサケ親魚から9月30日に1,100千粒、10月11～16日に1,667千粒、10月26日に2,032千粒、11月8日～11日に1,912千粒を採卵、受精し、豊畑ふ化場に收容して卵・仔稚魚管理を行った。9月30日採卵群は半数に2,3,1,2H、もう半数に2,3,1,5Hのハッチコードを施して4月20日にそれぞれ487千尾と486千尾を自然放流した。10月11～16日採卵群には2,3,1,3H、10月26日採卵群に2,3,1,4H、11月8日～11日採卵群に2-3,1,3Hハッチコードを施し、それぞれ、4月11～16日に1,474千尾、4月27日～5月11日に1,782千尾、5月21～26日に1,718千尾を自然放流した。なお、9月30日採卵の2,3,1,5H標識群以外には放流直前の14日間、フィードオイルを添加した乾燥配合飼料を与えた。

d. えりも以西海域:知内川

知内川で捕獲したサケ親魚から11月11日に1,505千粒、11月12日に1,588千粒を採卵、受精し、福島ふ化場に收容して卵管理後、知内ふ化場で仔稚魚管理を行った。このうち、11月12日採卵群に油脂添加群として2-2,3Hハッチコードを施して4月17日に1,425千尾、11月11日採卵群には油脂無添加の対照群として2,3-2Hハッチコードを施して4月25日に1,319千尾を自然放流した。

e. 北海道日本海域

余市川で捕獲されたサケ親魚から9月24日に2,397千粒、10月7日に2,663千粒、10月21日に1,748千粒を採卵、受精し、京極ふ化場に收容して卵管理後、京極および余市ふ化場において仔稚魚管理を行った。9月24日採卵群は2,2,1,5Hハッチコードを施し3月2～16日に2,033千尾、10月7日採卵群には2-3,2Hハッチコードを施し3月19～24日に2,354千尾、10月21日採卵群には2,2,1,4Hハッチコードを施し4月13～20日に1,627千尾を自然放流した。なお、9月24日採卵群は京極ふ化場で飼育した稚魚を余市ふ化場へ運搬し、一週間ほど給餌した後、放流した。

各放流群の耳石基準標本の画像は図 1 のとおりであり、放流日や放流サイズ等のデータを添えて北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) の耳石標識放流データベースに登録した。

なお、参考のため、表 2 に 2019 (令和元) 年級 本州における標識稚魚の放流結果を示した。

・2020 (令和 2) 年級の生産 (表 3)

a. 根室海域

風蓮川及び別当賀川で捕獲したサケ親魚から 10 月 10 日に 1,800 千粒、西別で捕獲したサケ親魚から 10 月 27 日に 1,800 千粒を採卵、受精し、本別ふ化場に收容して卵管理、西別ふ化場で仔稚魚管理を行い、4 月下旬の放流に向けて飼育中である。10 月 10 日採卵群は海中飼育群として 2,9H、10 月 27 日採卵群には対照群として 2,3,5H のハッチコードを施した。

b. えりも以東海域

油脂添加試験群として釧路川で捕獲したサケ親魚から 10 月 15～16 日に 1,430 千粒、その対象群 (油脂無添加群) として釧路、幌戸及び藻散布川で捕獲した親魚から 9 月 26 日～10 月 3 日に 1,430 千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に收容して卵・仔稚魚管理を行い、4 月上旬の放流に向けて飼育中である。また、輸送放流試験群として十勝川の捕獲親魚から 1,430 千粒、その対照群 (自然放流群) として釧路川及び幌戸川親魚から 1,330 千尾を採卵、受精し、芦別ふ化場において卵管理後、美留和ふ化場において仔稚魚管理を行い、4 月中下旬の放流に向けて飼育中である。油脂添加群には 2n-2n,2H、油脂無添加群には 2n,2n-2H、輸送放流群には 2n-2n,3H、自然放流群には 2n-3n,2H のハッチコードを施した。

c. えりも以西海域 静内川

静内川で捕獲したサケ親魚から 9 月 28 日に 1,174 千粒、10 月 13 日に 1,794 千粒、10 月 26 日に 1,876 千粒、11 月 9 日～11 日に 2,066 千粒を採卵、受精し、豊畑ふ化場に收容して卵、仔稚魚管理を行い、4 月中旬から 5 月下旬の放流に向けて飼育中である。9 月下旬採卵群には 2,3,1,2H 及び 2,3,1,5H、10 月中旬採卵群には 2,3,1,3H、10 月下旬採卵群に 2,3,1,4H、11 月採卵群に 2-3,1,3H のハッチコードを施した。

d. えりも以西海域: 知内川

知内川で捕獲したサケ親魚から 11 月 11 日に 1,512 千粒、11 月 12 日に 1,521 千粒を採卵、受精し、福島ふ化場に收容して卵管理後、4 月中旬の放流に向けて知内ふ化場において飼育中である。11 月 12 日採卵群は油脂添加群として 2-2,3H、11 月 11 日採卵群には対照群として 2,3-2H のハッチコードを施した。

e. 北海道日本海域

余市川で捕獲されたサケ親魚から 9 月 23 日に 2,000 千粒、10 月 7 日に 2,391 千粒、10 月 21 日に 2,133 千粒を採卵、受精し、京極ふ化場に收容して卵管理後、京極および余市ふ化場において仔稚魚管理を行い、3 月下旬から 4 月中旬の放流に向けて飼育中である。9 月 23 日採卵群には 2,2,1,4H、10 月 7 日採卵群には 2,2,1,5H、10 月 21 日採卵群には 2-3,2H のハッチコードを施した。

耳石温度標識装置を施標プログラムに従って作動させ、生産水の水温を観測したところ、水温管理は適正に行われていたことから、各放流群に割り当てられた標識パターンが計画どおり付けられたものと考えられる(図2)。各放流群からサンプリングした稚魚の耳石基準標本を作製中であり、放流が終わり次第、放流日や放流サイズ、画像データ等の必要事項を添えて北太平洋溯河性魚類委員会(NPAFC)の耳石標識放流データベースに登録する予定である。

表 1. 2019(令和元)年級 北海道における回遊経路追跡用標識サケ稚魚の放流結果

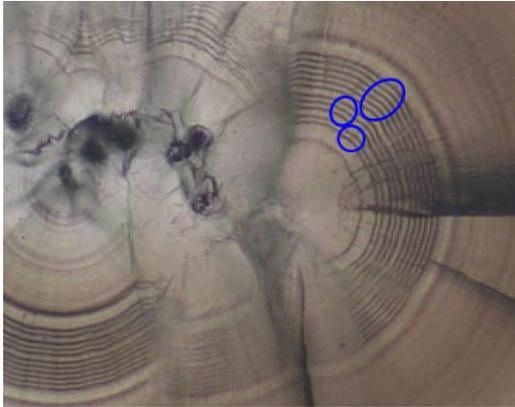
放流河川	生産ふ化場(施標場)	ハッチコード	試験区分	採卵日	捕獲水系	採卵数(千粒)	発眼卵数(千粒)	プログラムの適合	高温(通常)時の装置水温(°C)	低温時の装置水温(°C)	施標開始日	施標終了日	放流日	放流数(千尾)	尾叉長(cm)	体重(g)
西別川及び河口周辺海中	本別(本別)	2.3.6H	1 (風蓮湖海中飼育)	10/11	風蓮	1,903	1,728	適	9.4 (7.3)	5.3 (7.3)	12/9	12/20	4/27	1,677	5.10	1.03
		2.3.5H	2 (河川放流)	10/25	西別	1,718	1,559	適	9.4 (7.3)	5.3 (7.3)	12/26	1/5	4/27	1,509	4.80	0.98
							3,621	3,287							3,186	
釧路川(支流鶴居川)	芦別(芦別)	2n.2n-2H	1 (対照群-油脂添加無・自然放流)	9/18	釧路	1,500	1,368	適	7.4	4.9	11/7	11/15	3/27	1,344	5.80	1.63
		2n-2n.2H	2 (油脂添加自然放流群)	9/18	釧路	1,500	1,368	適	7.4	4.9	11/7	11/15	3/27	1,344	5.80	1.60
		2n-2n.3H	3 (油脂添加輸送放流群*)	9/23	釧路	1,500	1,393	適	7.4	4.9	11/11	11/21	4/3	1,366	5.60	1.40
							4,500	4,129							4,054	
静内川(支流豊畑川)	豊畑(豊畑)	2.3.1.2H	1 (9月下旬採卵群)	9/30	豊畑	550	506	適	10.2-10.4	5.9-6.2	11/23	12/2	4/20	487	6.50	2.32
		2.3.1.5H	2 (9月下旬採卵群)	9/30	豊畑	550	506	適	10.2-10.4	5.9-6.2	11/23	12/5	4/20	486	6.40	2.23
		2.3.1.3H	3 (10月中旬採卵群)	10/11-10/16	豊畑	1,667	1,535	適	10.3-10.4	5.9-6.1	12/12	12/22	4/11-4/16	1,474	6.40	2.13
		2.3.1.4H	4 (10月下旬採卵群)	10/25	豊畑	2,032	1,842	適	10.2-10.3	5.8-6.0	12/22	1/2	4/27-5/11	1,782	6.66	2.55
		2-3.1.3H	5 (11月採卵群)	11/8-11/11	豊畑	1,912	1,780	適	10.1-10.2	5.7-6.0	1/6	1/17	5/21-5/26	1,718	6.32	2.12
							6,711	6,169							5,947	
知内川	知内(福島)	2.3-2H	1 (対照群-油脂添加無)	11/11	知内	1,505	1,356	適	9.2-8.2 (7.0-6.0)	4.9-4.1	1/9	1/18	4/25	1,319	5.94	1.40
		2-2.3H	2 (油脂添加群)	11/12	知内	1,588	1,461	適	9.0-8.1 (7.0-6.0)	5.1-4.4	1/11	1/19	4/17	1,425	5.50	1.23
							3,093	2,817						2,744		
余市川	京極(京極)	2.2.1.5H	1 (9月下旬採卵群)	9/24	余市	2,397	2,099	適	8.9-8.8 (6.5)	4.7-4.5	11/14	11/25	3/2-3/16	2,033	5.20	1.15
		2-3.2H	2 (10月上旬採卵群)	10/7	余市	2,663	2,419	適	8.9-8.8 (6.5)	4.7-4.5	11/29	12/7	3/19-3/24	2,354	4.95	1.03
		2.2.1.4H	3 (10月下旬採卵群)	10/21	余市	1,748	1,647	適	8.9-8.7 (6.5)	4.6-4.5	12/13	12/23	4/13-4/20	1,627	4.89	1.01
							6,808	6,165						6,014		
合計					24,733	22,567							21,945			

*大雨による大増水のため輸送放流断念

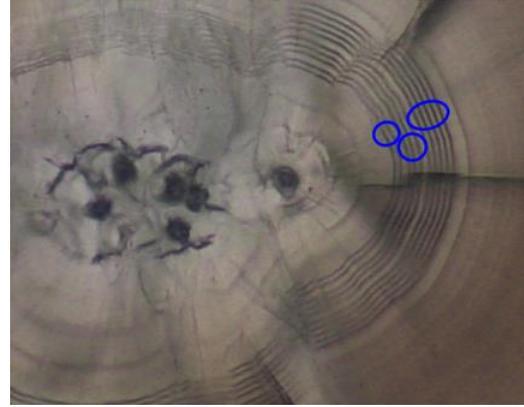
表 2. 2019(令和元)年級 本州における標識稚魚の放流結果

魚種	放流河川	生産場	施標場	ハッチコード	課題番号	試験区	捕獲水系(卵産)	放流開始日	放流終了日	放流尾数(千尾)	尾叉長(cm)	体重(g)
サケ	織笠川	織笠	熊野	2n-2H	1-(2)-②	河川放流区	織笠川、山田湾(海産)	20/04/20	20/04/20	400	6.7	2.24
サケ	◎山田湾	織笠	熊野	2.5H	1-(2)-②	大目網(海中飼育)区	織笠川、山田湾(海産)	20/03/23	20/03/23	400	5.3	1.06
サケ	◎山田湾	織笠	熊野	2-2.2H	1-(2)-②	海中飼育区	織笠川、山田湾(海産)	20/03/24	20/03/24	400	5.1	0.98
サケ	◎山田湾	織笠	熊野	2.2nH	1-(2)-②	短期海中飼育区	織笠川、山田湾(海産)	20/03/24	20/03/24	400	5.2	1.00
サケ	最上川	柳川	柳川	2-2.1.2H	1-(3)-⑤	山形県幼稚魚追跡調査	月光川	20/03/12	20/03/17	624	5.4	1.44
サケ	最上川	柳川	柳川	2.2.1-3H	1-(3)-⑤	山形県幼稚魚追跡調査	月光川	20/03/23	20/03/23	406	5.0	1.14
サケ	庄川	庄川	庄川	A1H	2-(2)-①	発眼卵埋没放流区	庄川	19/12/24	19/12/25	200		
サケ	庄川	庄川	庄川	A2H	2-(2)-①	放流水路から自然放流区	庄川	20/02/27	20/03/05	170	3.6	0.32
サクラマス	神通川	富山県水産研究所	富山県水産研究所	A1H	2-(2)-②	試験区(発眼卵埋没)	富山県水産研究所	19/11/22	19/12/20	185		
サクラマス	神通川	富山県水産研究所	富山県水産研究所	2.2nH	2-(2)-②	対照区1(無給餌放流群)	富山県水産研究所	20/03/10	20/03/10	50	3.0	0.25
サクラマス	神通川	富山県水産研究所	富山県水産研究所	3H	2-(2)-②	対照区2(稚魚放流群)	富山県水産研究所	20/03/05	20/03/05	24		0.60

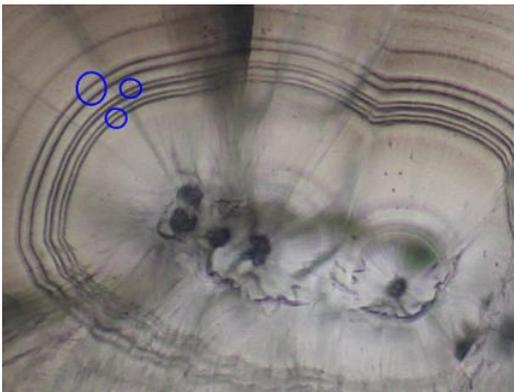
本別ふ化場 1 区 (2,3,6H)



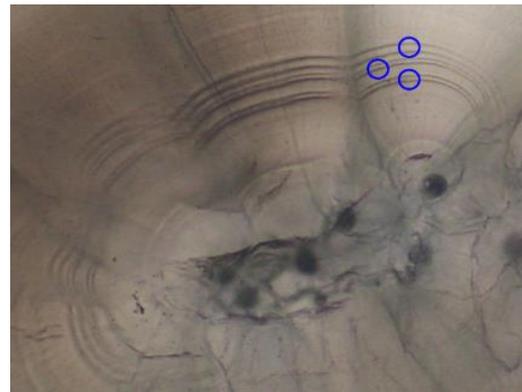
本別ふ化場 2 区 (2,3,5H)



芦別ふ化場 1 区 (2n,2n-2H)



芦別ふ化場 2 区 (2n-2n,2H)



芦別ふ化場 3 区 (2n-2n,3H)

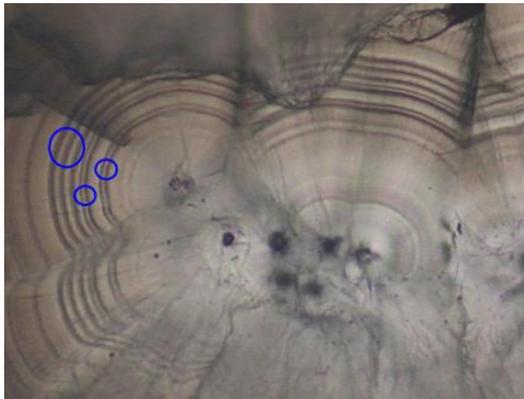
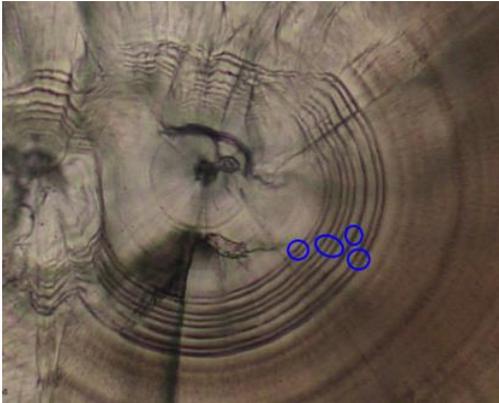
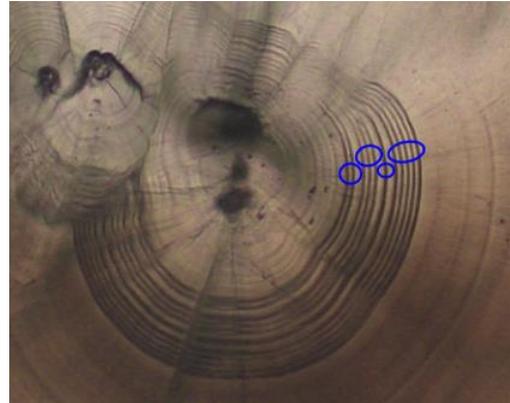


図 1. 2019(令和元)年級耳石温度標識放流魚の基準標本画像
(青丸:温度標識、赤丸:ノイズ)

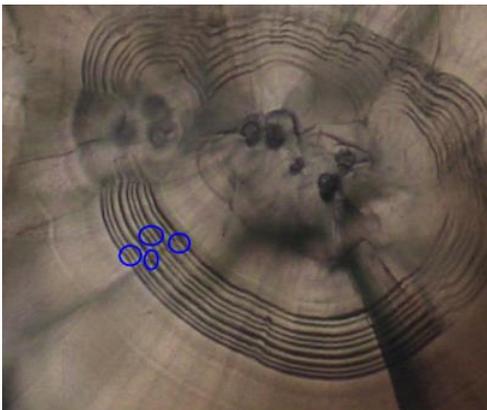
豊畑ふ化場 1 区 (2,3,1,2H)



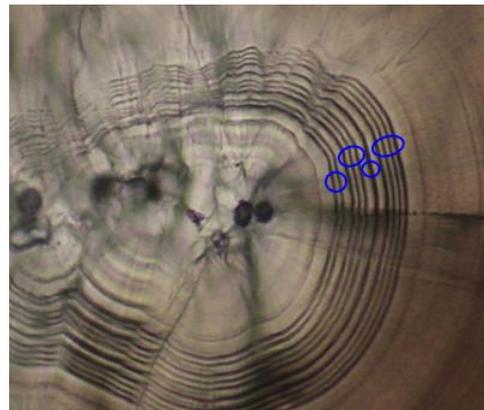
豊畑ふ化場 2 区 (2,3,1,5H)



豊畑ふ化場 3 区 (2,3,1,3H)



豊畑ふ化場 4 区 (2,3,1,4H)



豊畑ふ化場 5 区 (2-3,1,3H)

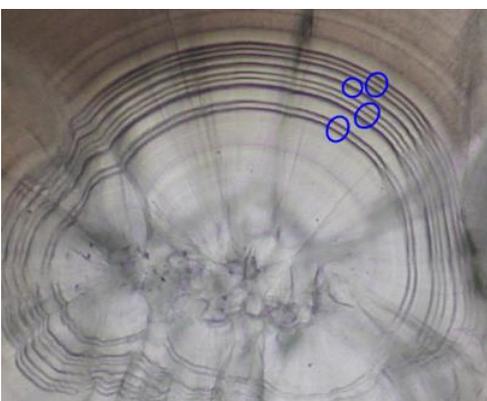
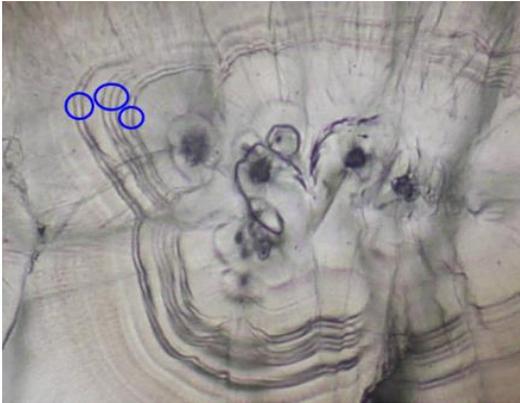
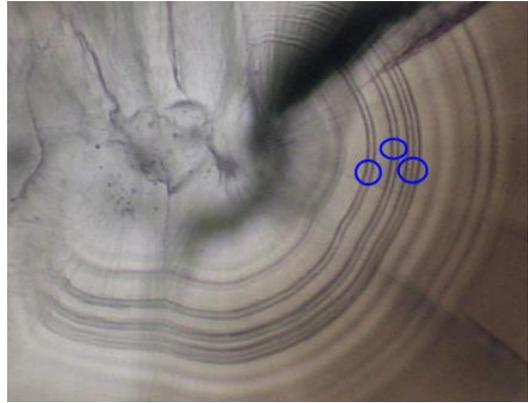


図 1(続き). 2019(令和元)年級耳石温度標識放流魚の基準標本画像
(青丸:温度標識、赤丸:ノイズ)

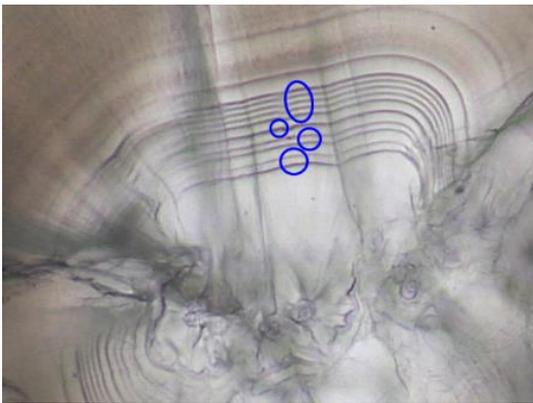
福島ふ化場 1 区 (2,3-2H)



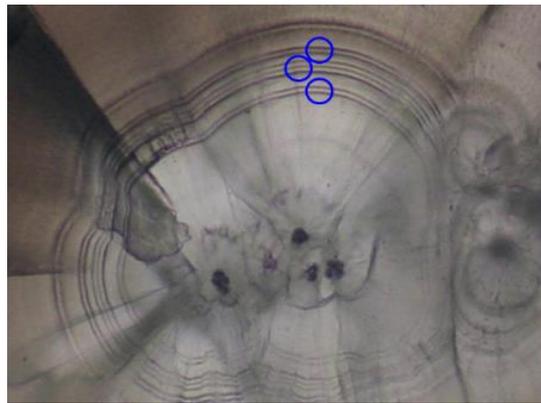
福島ふ化場 2 区 (2-2,3H)



京極ふ化場 1 区 (2,2,1,5H)



京極ふ化場 2 区 (2-3,2H)



京極ふ化場 3 区 (2,2,1,4H)

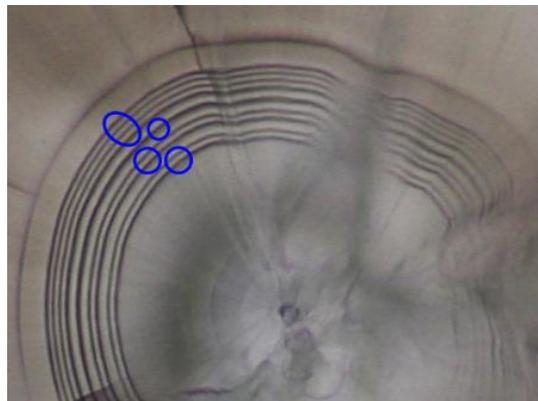


図 1(続き). 2019(令和元)年級耳石温度標識放流魚の基準標本画像
(青丸:温度標識、赤丸:ノイズ)

表 3. 2020(令和 2)年級 北海道における回遊経路追跡用標識サケ稚魚の生産状況

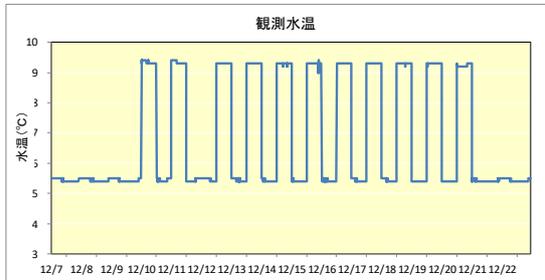
放流河川	生産ふ化場(施標場)	ハッチコード	施標区分	採卵日	捕獲水系	採卵数(千粒)	発眼卵数(千粒)	プログラムの適否	高温(通常)時の装置水温(°C)	低温時の装置水温(°C)	施標開始日	施標終了日	放流予定時期	放流予定数(千尾)
西別川及び河口周辺海中	西別(本別)	2,9H	1 (風蓮湖海中飼育)	10/10	風蓮・別当賀	1,800	1,706	適	9.4 (7.2)	5.4 (7.2)	12/11	12/21	4月下旬	1,530
		2,3,5H	2 (河川放流)	10/27	西別	1,800	1,735	適	9.4 (7.2)	5.4 (7.2)	12/28	1/7	4月下旬	1,530
							3,600	3,441						
釧路川	芦別(芦別)	2n,2n-2H	1 (油脂添加無・対照群)	9/26-10/3	釧路・幌戸・藻散布	1,430	1,301	適	7.4-7.5	4.9-5.3	11/13	11/21	4月上-中旬	1,220
		2n-2n,2H	2 (油脂添加群)	10/15-16	釧路	1,430	1,313	適	7.5-7.6	4.9-5.1	12/2	12/10	4月上-中旬	1,220
	美留和(芦別)	2n-2n,3H	3 (輸送放流群)	10/15	十勝	1,430	1,334	適	7.3-7.4	4.9	12/12	12/22	4月中-下旬	1,220
		2n-3n,2H	4 (自然放流群)	10/19-23	釧路・幌戸	1,330	1,184	適	7.4-7.5	4.7-4.8	12/11	12/20	4月中-下旬	1,130
							5,620	5,132						
静内川(支流豊畑川)	豊畑(豊畑)	2,3,1,2H	1 (9月下旬採卵群)	9/28	豊畑	587	453	適	9.9-10.0 (10.0)	5.8-6.2	11/23	12/2	4月上旬	500
		2,3,1,5H	2 (9月下旬採卵群)	9/28	豊畑	587	453	適	9.9-10.0 (10.0)	5.8-6.2	11/23	12/5	4月上旬	500
		2,3,1,3H	3 (10月中旬採卵群)	10/13	豊畑	1,794	1,560	適	10.1-10.2 (10.2)	6.0-6.4	12/9	12/19	4月上旬	1,520
		2,3,1,4H	4 (10月下旬採卵群)	10/26	豊畑	1,876	1,808	適	10.1-10.3 (10.2)	6.1-6.4	12/21	1/1	4月下旬-5月下旬	1,590
		2-3,1,3H	5 (11月採卵群)	11/9-11/11	豊畑	2,066	1,933	適	10.1-10.2 (10.2)	6.0-6.3	1/6	1/17	5月中旬	1,760
								6,910	6,207					
知内川	知内(福島)	2,3-2H	1 (対照群)	11/11	知内	1,512	1,410	適	10.4-8.9 (8.1-6.7)	5.9-5.0	12/27	1/5	4月中旬	1,350
		2-2,3H	2 (油脂添加群)	11/12	知内	1,521	1,420	適	9.6-8.7 (7.6-6.7)	5.6-5.0	12/31	1/9	4月中旬	1,350
							3,033	2,830						
余市川	京極(京極)	2,2,1,4H	1 (4月中旬放流群)	9/23	余市	2,000	1,456	適	8.9-9.1	4.7-4.9	11/12	11/22	4月中旬	1,700
		2,2,1,5H	2 (3月下旬放流群)	10/7	余市	2,391	2,090	適	8.7-8.9	4.6-4.7	11/27	12/8	3月下旬	2,032
	余市(京極)	2-3,2H	3 (4月上旬放流群)	10/21	余市	2,133	1,989	適	8.8-8.9	4.6-4.9	12/13	12/21	4月上旬	1,813
							6,524	5,535						
合計						25,687	23,145							21,965

本別ふ化場 1 区 (2,9H)

標識方法: 原水を基点に2℃昇温・降温

ハッチコート	安否を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目	16日目
2,9H	11				1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目		安否日

※ 検卵後、冷水で安否する。



本別ふ化場 2 区 (2,3,5H)

標識方法: 原水を基点に2℃昇温・降温

ハッチコート	安否を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目	16日目
2,3,5H	11				1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目		安否日

※ 検卵後、冷水で安否する。

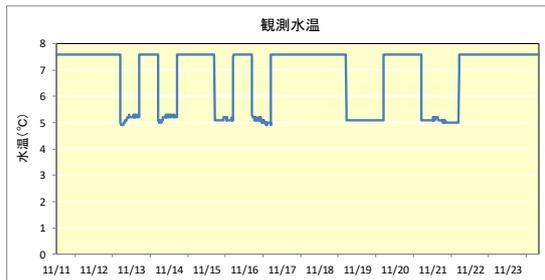


芦別ふ化場 1 区 (2n,2n-2H)

標識方法: 原水を基点に4℃降温

ハッチコート	安否を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2n,2n-2H	9			1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目		安否日

※ 検卵後、原水で安否する。

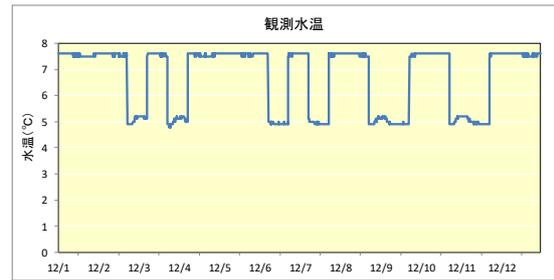


芦別ふ化場 2 区 (2n-2n,2H)

標識方法: 原水を基点に4℃降温

ハッチコート	安否を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2n-2n,2H	9			1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目		安否日

※ 検卵後、原水で安否する。

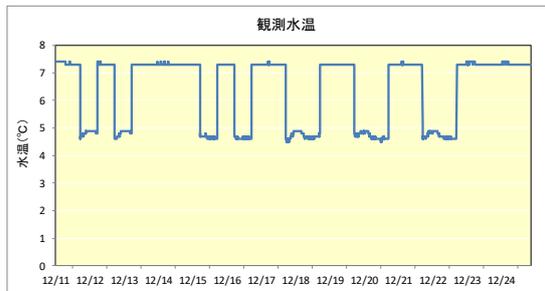


芦別ふ化場 3 区 (2n-2n,3H)

標識方法: 原水を基点に4℃降温

ハッチコート	安否を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目	
2n-2n,3H	11				1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目		安否日

※ 検卵後、原水で安否する。



芦別ふ化場 2 区 (2n-3n,2H)

標識方法: 原水を基点に4℃降温

ハッチコート	安否を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2n-3n,2H	10			1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目		安否日	安否日

※ 検卵後、原水で安否する。

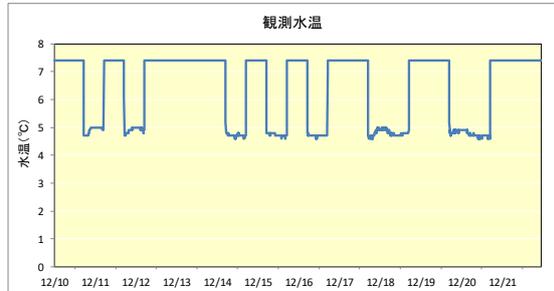


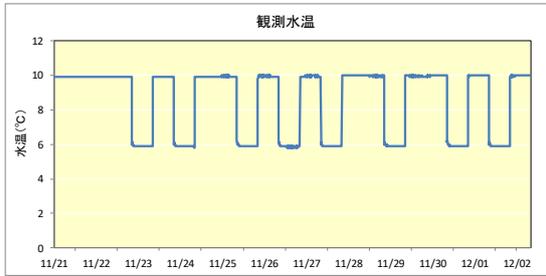
図 2. 耳石温度標識装置生産水の水温観測

豊畑ふ化場 1 区 (2,3,1,2H)

種殖方法: 原水を基点に-4℃降温

ハッチコート	安息を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目	
2,3,1,2H	10																
		安息日	安息日													安息日	安息日

※ 検卵後、原水で安息する。

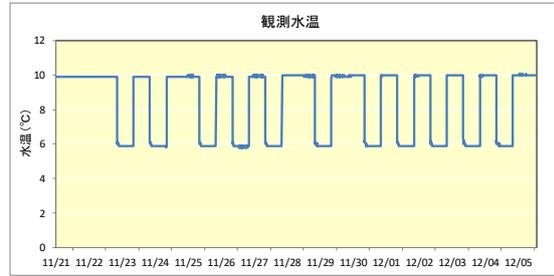


豊畑ふ化場 2 区 (2,3,1,5H)

種殖方法: 原水を基点に-4℃降温

ハッチコート	安息を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2,3,1,5H	12															
		安息日	安息日													安息日

※ 検卵後、原水で安息する。

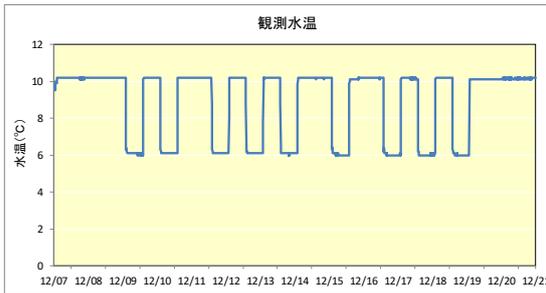


豊畑ふ化場 3 区 (2,3,1,3H)

種殖方法: 原水を基点に-4℃降温

ハッチコート	安息を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目	
2,3,1,3H	10																
		安息日	安息日													安息日	安息日

※ 検卵後、原水で安息する。

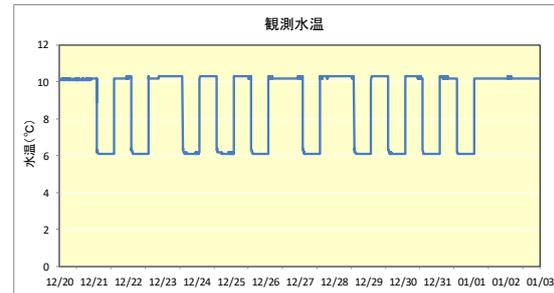


豊畑ふ化場 4 区 (2,3,1,4H)

種殖方法: 原水を基点に-4℃降温

ハッチコート	安息を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2,3,1,4H	11															
		安息日	安息日													安息日

※ 検卵後、原水で安息する。



豊畑ふ化場 5 区 (2-3,1,3H)

種殖方法: 原水を基点に-4℃降温

ハッチコート	安息を含む 施標日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2-3,1,3H	11															
		安息日	安息日													安息日

※ 検卵後、原水で安息する。

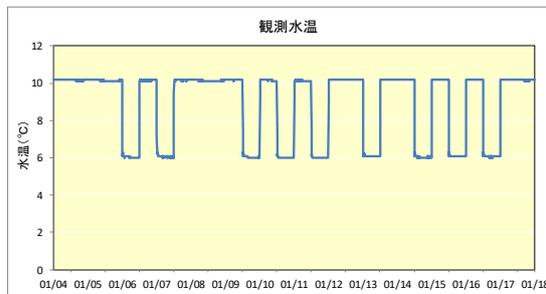


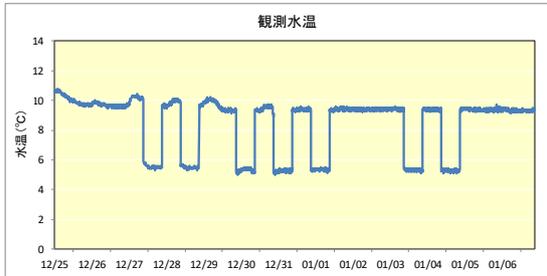
図 2(続き). 耳石温度標識装置生産水の水温観測

福島ふ化場 1 区 (2,3-2H)

標識方法: 原水を基点に 2°C 昇温・ 2°C 降温

ハッチコード	安否を常心 監視日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目
2,3-2H	9													

※ 検察後、原水で安否する。

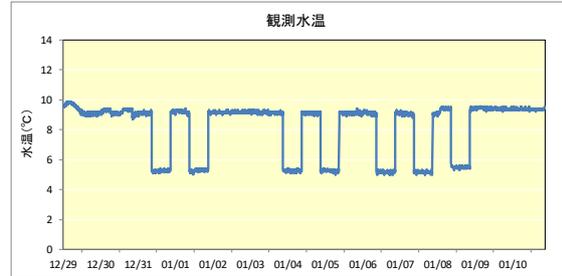


福島ふ化場 2 区 (2-2,3H)

標識方法: 原水を基点に 2°C 昇温・ 2°C 降温

ハッチコード	安否を常心 監視日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目
2-2,3H	9													

※ 検察後、原水で安否する。

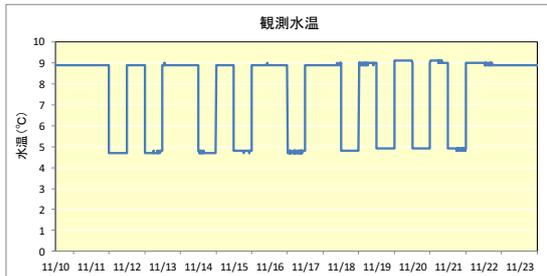


京極ふ化場 1 区 (2,2,1,4H)

標識方法: 原水を基点に 4°C 降温

ハッチコード	安否を常心 監視日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目
2,2,1,4H	10														

※ 検察後、原水で安否する。

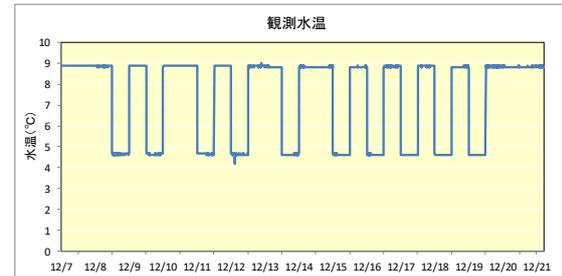


京極ふ化場 2 区 (2,2,1,5H)

標識方法: 原水を基点に 4°C 降温

ハッチコード	安否を常心 監視日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2,2,1,5H	11															

※ 検察後、原水で安否する。



京極ふ化場 3 区 (2-3,2H)

標識方法: 原水を基点に 4°C 降温

ハッチコード	安否を常心 監視日数	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目	8日目	9日目	10日目	11日目	12日目	13日目	14日目	15日目
2-3,2H	9															

※ 検察後、原水で安否する。



図 2 (続き). 耳石温度標識装置生産水の水温観測

⑤ 山形県における沿岸環境・幼稚魚追跡調査

実施機関及び担当者:

山形県内水面水産研究所 生産開発部(以下、山形内水研): 齋藤哲

山形県水産研究所 海洋資源調査部(以下、山形水研): 高澤俊秀

【目的】

山形県のサケ資源は昭和終期から平成初期にかけての低迷期の後、来遊 19 万尾、単純回帰率 0.59%(2008(平成 20)~2015(平成 27)年の平均)という比較的良好な回帰を維持してきたが、2016~2018(平成 28~30)年漁期の 3 年連続で 14 万尾と低迷した。サケの減耗は放流後から沿岸生活期にかけて最も大きいとされていることから、本調査は耳石温度標識魚(以下、標識魚)を沿岸域において追跡再捕し、本州日本海における幼稚魚の初期生態(移動、成長)の把握、水温や動物プランクトンなど環境要因との関係の解明により、放流魚の生残条件について検討する。

2019 年級

【方法】

1. 標識稚魚放流(山形内水研)

沿岸調査のため最上川へ 100 万尾の標識魚を放流した。これら標識魚の確保については、山形県月光川水系滝淵川の柊川鮭漁業生産組合(以下、柊川ふ化場)と高瀬川の高瀬川鮭漁業生産組合(以下、高瀬川ふ化場)、牛渡川の箕輪鮭漁業生産組合(以下、箕輪ふ化場)の 3 団体から、それぞれ 40 万尾(前期群)、20 万尾(前期群)、40 万尾(後期群)の標識魚を購入した。

最上川の放流場所については、前期群は最上小国川に 30 万尾と寒河江川に 30 万尾(2018 年級:鮭川 25 万尾、最上小国川 35 万尾)、後期群は鮭川に 40 万尾(同:寒河江川 40 万尾)放流することに変更した(図1)。

2. 沿岸調査(山形水研)

沿岸調査は、標識魚を再捕する「沿岸稚魚調査」と海洋環境を計測する「沿岸環境調査」の 2 つに分け、それぞれの時期、場所、手法、項目等は次のとおり計画した(図2)。

1) 沿岸稚魚調査

時期:2 月下旬~5 月中旬(旬 1 日の計 8 日間)

場所:山形県遊佐町吹浦沖の 1、2、5 km、秋田県にかほ市象潟沖の 2、5 km の計 5 定点

手法:山形県漁業試験調査船「最上丸」が海岸と平行に 2kt の船速で 2km を曳網

データ項目:幼稚魚の尾数、体サイズ、耳石温度標識の識別、耳石分析、胃内容物組成

2) 沿岸環境調査

時期:2~5 月

データ項目及び手法:

①水温・・・上記の定点等における CTD 測定、県栽培漁業センターの定時観測

②塩分・・・上記の定点等における CTD 測定

③動物プランクトン・・・上記の定点等における採集と分析

【結果と考察】

1. 標識稚魚放流

(採卵)前期群は2019年11月6日に柘川ふ化場で45.0万粒、高瀬川ふ化場で20.5万粒の計65.5万粒を採卵した。なお、高瀬川採卵群は前年、両ふ化場における用水温の違いから発眼卵施標中にふ化が始まる事故が発生したため、吸水後直ちに柘川ふ化場へ移送して管理する措置を取った。

他方、後期群は11月24日に箕輪ふ化場で41.0万粒を採卵した。(発眼卵施標)前年同様、柘川ふ化場内に設置された耳石温度標識装置(TR-H90DCHA/有限会社タカツ産業)で全ての発眼卵の施標を実施した。前期群65.5万粒は2019年12月2日に淘汰、翌3日に検卵をした後、12月4日(積算水温319.3°C・日)に施標(2-2,1,2H)作業を開始し、12月14日に完了した。他方、後期群41.0万粒は12月22日に淘汰、翌23日に検卵をし、柘川ふ化場へ移送した後、24日(積算水温327.3°C・日)に施標(2,2,1-2H)作業を開始し、2020年1月3日に完了した。

施標完了後の北海道区水産研究所による耳石標識コードの確認で、前期群は半数の個体に、後期群は全ての個体にノイズが発生していたため、北太平洋遡河性魚類委員会(NPAFC)への登録に際しては、前期群は一部に「2-2,1,3H」と「2-2,1,4H」の個体が含まれ、後期群は「2,2,1-3H」に変更し、一部に「2,2,1-3nH」の個体が含まれると報告された。(飼育管理)柘川、高瀬川の前期群は柘川ふ化場の同一の池で、箕輪ふ化場の後期採卵群は同ふ化場に戻して飼育された。

(最上川支流への移殖放流)2020年3月10日に前期群62.4万尾のうち31.2万尾を寒河江川のふ化場へ移送、飼育した後、3月17日に寒河江川本流へ放流した(平均体重1.38g/尾)。残りの31.2万尾は3月12日に最上小国川の支流の舟形川へ移送放流した(同1.51g/尾)。舟形川への放流魚は最上小国川との合流点(放流地点から100m下流)に稚魚の滞泳場所として造成した深みで3月18日まで給餌した。他方、後期群は3月16日に鮭川ふ化場へ移送し、飼育した後、3月23日に鮭川へ放流した(同1.14g/尾)。

2. 沿岸調査

1)調査実施日と総採集数

沿岸調査は2020年3月2日、3月19日、3月30日、4月14日、4月28日、5月12日の計6日間、実施した。曳網数は計33回でサケ幼稚魚は計278尾採集された。なお、2月下旬は時化のため調査を断念し、3月2日は諸事情により秋田県象潟沖での調査は実施しなかった。

2)調査日別の採集数と海水温

図3に調査日別の採集数と海水温の推移を示す。調査期間中の採集数は計278尾であり、調査日別にみると、3月2日は188尾、3月19日は85尾であったが、3月30日～5月12日は0～3尾/日とわずかであった。調査定点の水深2m海水温は3月2日が10.1～10.4°C、3月19日は10.1～10.6°C、3月30日は10.0～10.9°C、4月14日は10.7～10.8°C、4月28日は11.3～11.6°C、5月12日は13.7～14.0°Cであり、前年の調査に比べて3月は高く、4月は低かった。3～4月の県栽培漁業センターの用水温(取水水深5m)は3月上旬が10.2～11.7°C、同中旬は10.2～11.0°C、同下旬は10.5～11.2°C、4月上旬は10.6～11.3°C、同中旬は11.0～11.4°C、同下旬は11.0～11.9°Cであり、それぞれの平年差は2.0°C、1.6°C、1.5°C、1.0°C、0.4°C、-0.1°Cであり、3月はかなりの高水温であった。

3)調査定点別の採集数

表1に調査定点別の採集数を示す。全採集数は吹浦沖1kmが245尾と際立って多く、次いで吹浦沖2km(19尾)、吹浦沖5km(8尾)、象潟沖2km(6尾)であり、象潟沖5kmは皆無であった。ただし、象潟沖の2点(2km、5km)は、他の定点で採集数が多かった3月2日の調査をしていないため、多寡の判断はできない。

4) 幼稚魚の体サイズ

最も採集数の多かった3月19日の吹浦沖1kmの平均体長(尾叉長)と体重は46mmと1.05gであり、3月2日より大型化していた(図4)。また、吹浦沖の離岸距離が異なる3定点(1km、2km、5km)における3月2日の体長の平均値と階級モードは、1kmが45mmと46~50mm、2kmが41mmと41~45mm、5kmが54mmと51~60mmであり、5kmは岸寄りの2定点に比べて大きい傾向があった(図5)。

5) 標識魚の判別結果

表2に標識魚の放流情報を、表3に再捕状況を示す。本県の標識魚は月光川(遊佐町)、最上川(鮭川村、舟形町、寒河江市)の2水系、隣県は新潟県三面川(村上市)、秋田県川袋川(にかほ市)の2水系であり、それぞれ7尾、10尾、2尾、1尾の計30尾が再捕された。調査日別では3月2日が1尾(吹浦沖5km)、3月19日が29尾(象潟沖2km:1尾、吹浦沖1km:28尾)であり、3月19日に集中した。

6) 標識魚の体サイズ

図6、7に3月19日の吹浦沖1kmにおける体長・体重組成を示す。平均体長と体重は無標識魚が46mmと1.0g、月光川の標識魚が42mmと0.7g、最上川の標識魚が55mmと1.6gであった。月光川と最上川の再捕標識魚の大きさの違いは、放流時(月光川:0.8g、最上川:1.5g)の差異によるものと考えられた。また、三面川の標識魚2尾は58mmと2.0g(3月2日、吹浦沖5km)、63mmと2.1g(3月19日、象潟沖2km)であり、川袋川の標識魚1尾は57mmと1.6g(3月19日、吹浦沖1km)といずれも大きめの幼稚魚であった。

7) 動物プランクトン

図8に遊佐町吹浦沖における動物プランクトンの湿重量及び個体数の推移を示す。湿重量は17~61mg/m³(平均33mg/m³)、一方、個体数は307~1,137個/m³(平均644個/m³)であり、ともにピークは4月28日であった。また、動物プランクトン量は全体的に前年より少なかった(図9)。

(8) 今後の課題

今後、標識魚について耳石日周輪解析により成長履歴等を推定する。併せて、海水温や動物プランクトン等の環境要因との関係を探る。

2020年級

【方法】

1. 標識稚魚放流(山形内水研)

これまでと同様、月光川水系の柞川ふ化場と高瀬川ふ化場、箕輪ふ化場の3つの団体に対して、計100万尾の標識魚の生産を依頼した。

放流場所の変更はせず、前期群は3月中旬に寒河江川と最上小国川の2河川へ、後期群は3月下旬に鮭川へ移送放流する計画とした。

2. 沿岸調査(山形水研)

これまでの2か年の調査結果により調査定点を見直し、沖寄りの採集数が少なかったことから吹浦沖は前年までの3点から2kmと5kmを取りやめて1kmの1定点のみとし、象潟沖は5kmを取りやめて2kmと新設の1kmの2点とした(図10)。象潟沖の調査定点の設定にあたっては、2021年1月29日に秋田県漁業共同組合南部総括支所にて関係者への説明会を実施し、調整した。

1) 沿岸稚魚調査

時期:2月下旬~5月中旬(旬1日の計8日間)

場所:山形県遊佐町吹浦沖の1km、秋田県にかほ市象潟沖の1、2kmの計3定点

手法:山形県漁業試験調査船「最上丸」が海岸と平行に 2kt の船速で 2km を曳網
データ項目:幼稚魚の尾数、体サイズ、耳石温度標識の識別、耳石分析、胃内容物組成

2) 沿岸環境調査

時期:2~5 月

データ項目及び手法:

水温・・・上記の定点等における CTD 測定、県栽培漁業センターの定時観測

塩分・・・上記の定点等における CTD 測定

動物プランクトン・・・上記の定点等における採集と分析。

【結果と考察】

1. 標識稚魚放流

(採卵)前期群は 2020 年 11 月 2 日に柘川ふ化場で 49.3 万粒、高瀬川ふ化場で 22.2 万粒の計 71.5 万粒を採卵した。高瀬川採卵群は吸水後直ちに柘川ふ化場へ移送して管理した。後期群については 11 月 24 日に箕輪ふ化場で 41.4 万粒を採卵した。

(発眼卵施標)柘川ふ化場内に設置された耳石温度標識装置(TR-H90DCHA/有限会社タカツ産業)で全ての発眼卵の施標を実施した。前期群 71.5 万粒は 11 月 30 日に淘汰、翌 12 月 1 日に検卵をした後、同日(積算水温 332.1℃・日)に施標(2-2,1,2H)作業を開始し、12 月 14 日に完了したが、用水温が設定温度より高くなる不具合が発生し、施標完了前日の 13 日から一部の稚魚が孵化する事故が発生した。他方、後期群 41.4 万粒は 12 月 22 日に淘汰、翌 23 日に検卵をし、柘川ふ化場に移送した後、同日(積算水温 317.1℃・日)に施標(2,2,1-2H)作業を開始し、2021 年 1 月 3 日に完了した。使用前に装置のメンテナンスを行い、用水温は設定水温どおりに推移し、完了前にふ化する卵はなかった。

(飼育管理)施標後、前期群は柘川、高瀬川の両採卵群ともに柘川ふ化場の同じ飼育池で、後期群は箕輪ふ化場に戻して飼育管理されている。

(最上川支流への移殖放流)2021 年 2 月末現在、稚魚の飼育は順調である。前期群 69 万尾のうち 34.5 万尾は 3 月 9 日に寒河江川へ移送して 1 週間の馴致飼育を経て 3 月 16 日に放流、残りの 34.5 万尾は 3 月 12 日に最上小国川へ移送し直接放流、後期群 40 万尾は 3 月 15 日に鮭川へ移送して 1 週間の馴致飼育を経て 3 月 22 日に放流する予定である。なお、2019 年度は最上小国川で放流後に河川内給餌を行ったが、今年度は積雪が多いため給餌は行わない計画とした。

2. 沿岸調査

2021 年 2 月末現在、2 月下旬の調査を 2 月 26 日に実施した。現在、結果の解析中である。

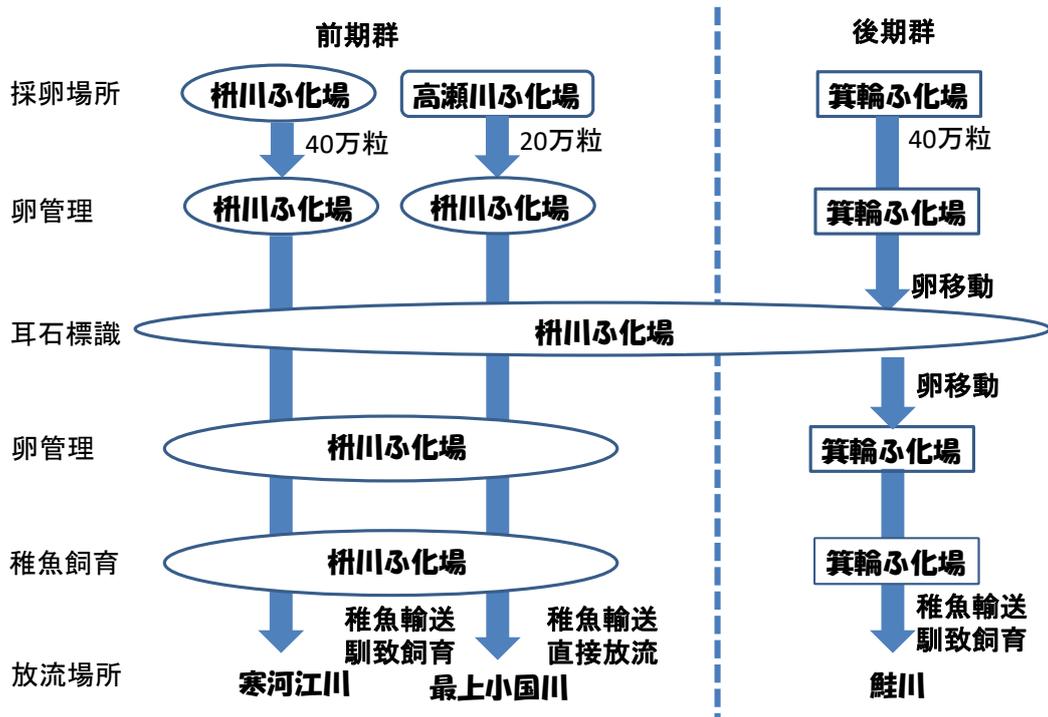


図1 最上川中流域へ放流した標識稚魚の生産管理（2019年級）

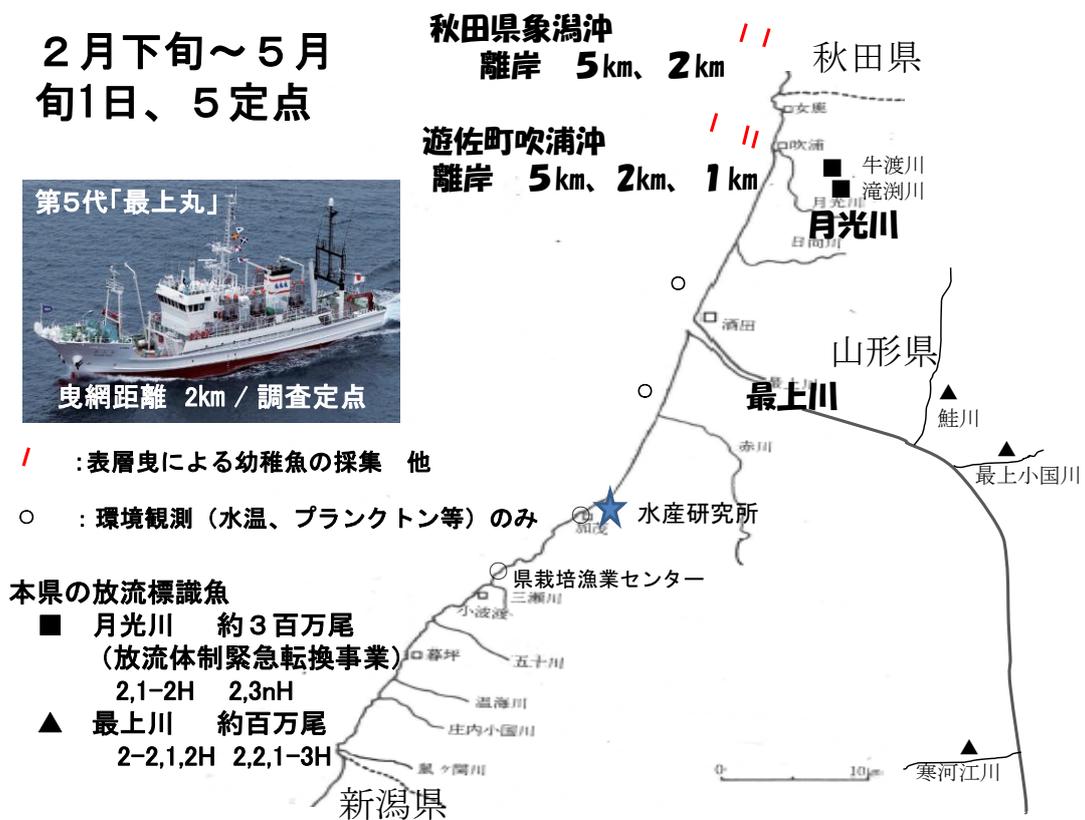


図2 山形県における標識魚の放流河川及び沿岸調査の位置（2019年級）

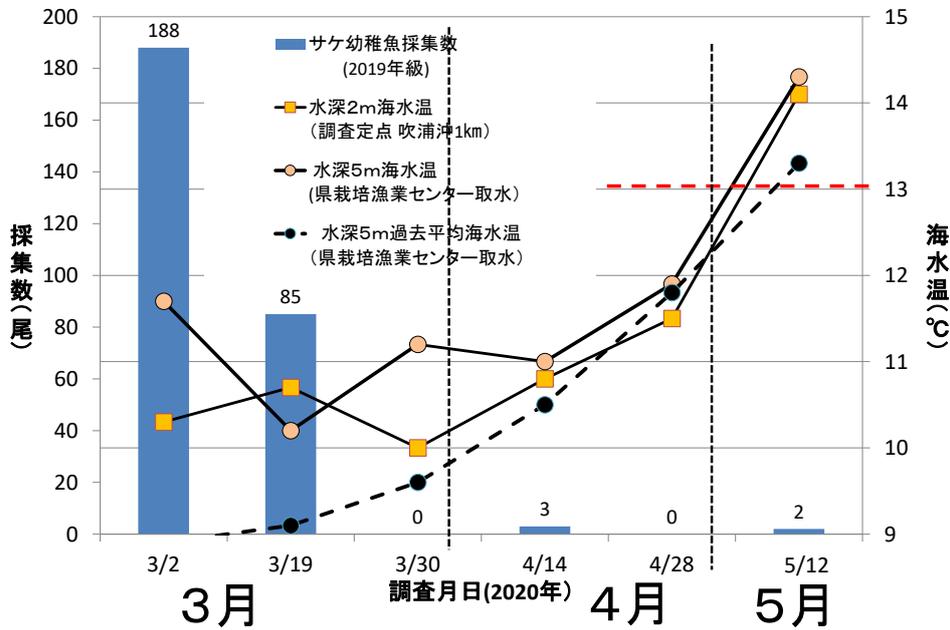


図3 調査期間中の採集数と海水温の推移 (2019年級)

表1 調査日別の採集結果 (2019年級)

調査時期	遊佐町吹浦沖			秋田県にかほ市象潟沖		計	標識魚放流日
	(1km)	(2km)	(5km)	(2km)	(5km)		
3月 上旬(3/2)	166	14	8(1)	-	-	188(1)	2/13 月光川(牛渡川)*1,*2
中旬(3/19)	79(28)	0	0	6(1)	0	85(29)	3/12 最上川(最上小国川)*3 3/16 最上川(寒河江川)*3 3/17 月光川(滝瀬川)*1
下旬(3/30)	0	0	0	0	0	0	3/23 最上川(鮭川)*4 3/24 月光川(滝瀬川)*2 3/27 月光川(牛渡川)*2 3/29 月光川(牛渡川)*1
4月 上旬							
中旬(4/14)	0	3	0	0	0	3	標識(ハッチ)コード *1: 2,1-2H *2: 2,3nH *3: 2-2,1,2H *4: 2,2,1-3H
下旬(4/28)	0	0	0	0	0	0	
5月 上旬							
中旬(5/12)	0	2	0	0	0	2	
全体	245(28)	19	8(1)	6(1)	0	278(30)	

()内は標識魚の尾数を示す。

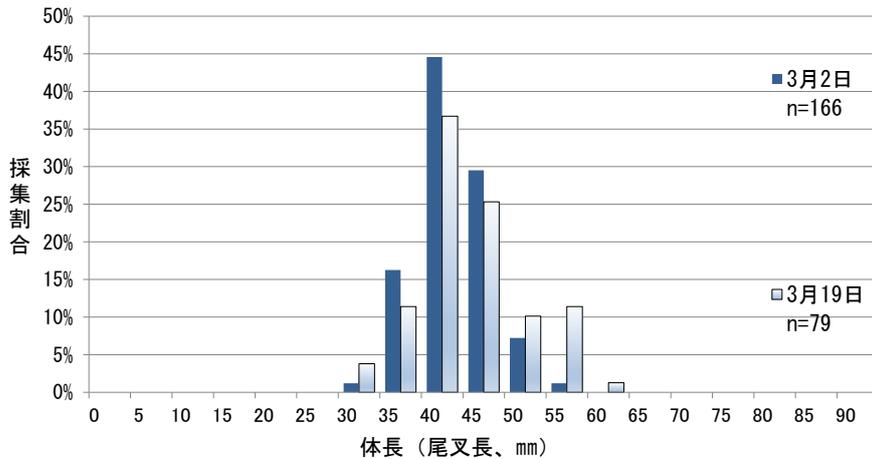


図4 吹浦沖 1km の体長組成 (2019 年級)

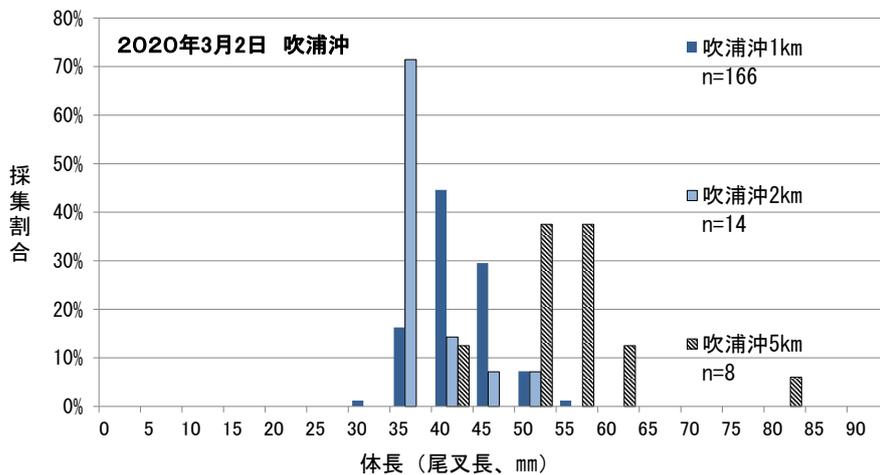


図5 3月19日における吹浦沖 1、2、5km の体長組成 (2019 年級)

表2 山形県と隣県における標識魚の放流河川及び月日 (2019 年級)

県名	河川名	耳石コード*	放流数(千尾)	平均体重(g)	放流期間		事業名
秋田県	川袋川	2-1,2H	795	0.84	20/02/04	20/02/04	転換事業
秋田県	川袋川	2-1H	1,582	0.87	20/03/07	20/03/07	転換事業
秋田県	川袋川	2,1,2,2H	1,345	0.88	20/02/20	20/03/16	転換事業
山形県	月光川(滝淵川)	2,3nH	758	0.78	20/03/24	20/03/24	転換事業
山形県	月光川(滝淵川)	2,1-2H	780	0.80	20/03/17	20/03/17	転換事業
山形県	月光川(牛渡川)	2,3nH	809	0.85	20/02/13	20/03/27	転換事業
山形県	月光川(牛渡川)	2,1-2H	813	0.85	20/02/13	20/03/29	転換事業
山形県	最上川 (寒河江川、小国川)	2-2,1,2H	624	1.44	20/03/12	20/03/16	抜本対策
山形県	最上川(鮭川)	2,2,1-3H	406	1.14	20/03/23	20/03/23	抜本対策
新潟県	三面川	2-3H	2,166	0.93	20/02/14	20/03/12	転換事業
新潟県	三面川	2,7nH	1,909	1.25	20/02/27	20/03/27	転換事業

表3 標識魚の再捕結果 (2019年級)

秋田県にかほ市象潟沖2km									
調査月日	放流河川 秋田県 川袋川	*1	月光川	*2	*3	最上川	*4	新潟県 三面川	計
3/2									
3/19								1	1
3/30									
4/14									
4/28									
5/12									
計								1	1

遊佐町吹浦沖1km									
調査月日	放流河川 秋田県 川袋川	*1	月光川	*2	*3	最上川	*4	新潟県 三面川	計
3/2									
3/19	1	11	6	10					28
3/30									
4/14									
4/28									
5/12									
計	1	11	5	10					28

遊佐町吹浦沖5km									
調査月日	放流河川 秋田県 川袋川	*1	月光川	*2	*3	最上川	*4	新潟県 三面川	計
3/2								1	1
3/19									
3/30									
4/14									
4/28									
5/12									
計								1	1

標識コード *1: 2,1-2H、*2: 2,3nH、*3: 2-2,1,2H、*4: 2,2,1-3H

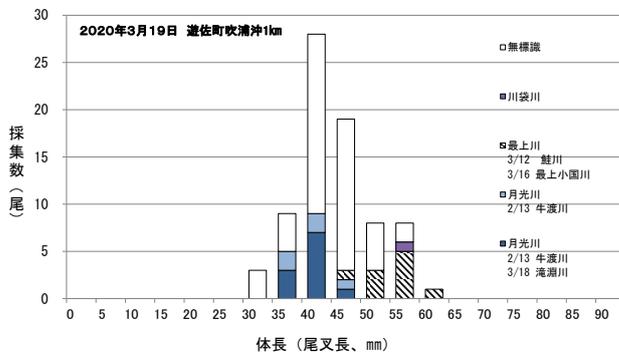


図6 再捕された標識魚の体長組成 (2019年級)

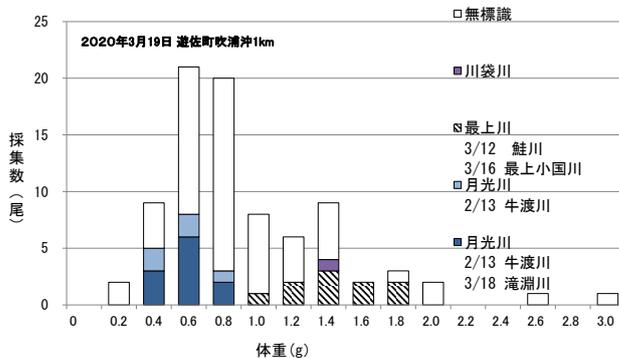


図7 再捕された標識魚の体重組成 (2019年級)

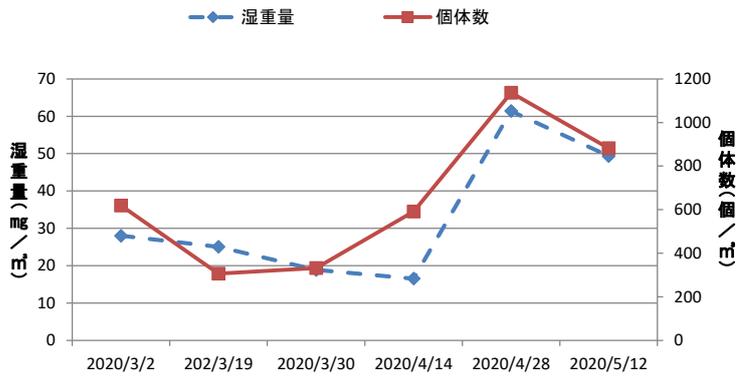


図8 吹浦沖における動物プランクトンの湿重量と個体数(2020年)

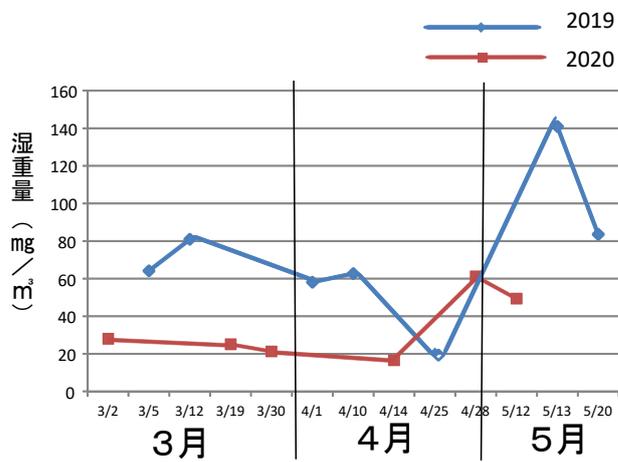


図9 吹浦沖における動物プランクトンの湿重量(2019年、2020年)

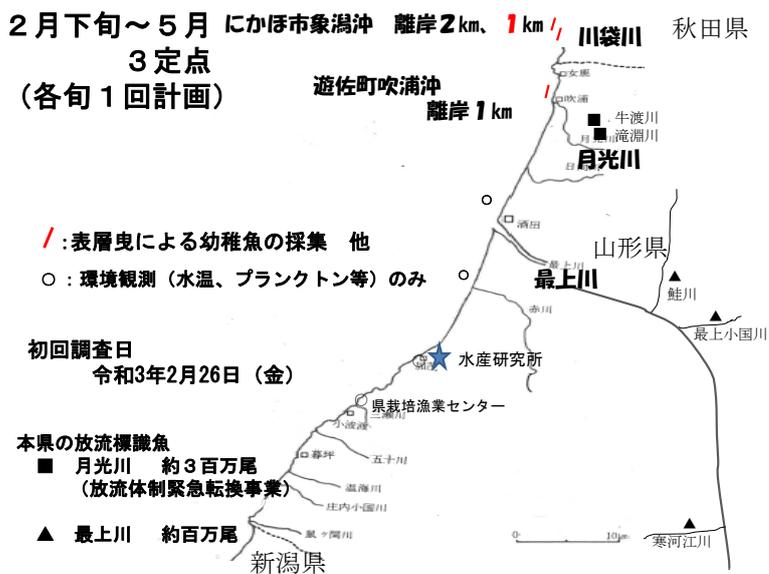


図10 山形県における標識魚の放流河川及び沿岸調査の定点の位置(2020年級)

(4) 親魚耳石標識確認調査

実施機関及び担当者:

水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部: 福澤博明、山谷和幸、桑木基靖、羽賀正人、高橋悟、吉野州正、渡邊勝亮、小野ゆい、富田泰生、大貫努、一家秀嘉、八重樫博文、渡邊伸昭、吉田梓佐、小松信治、洞内哲雄、中島歩、渡邊誠

十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会: 成田伝彦、新出幸哉、林紀幸、佐藤友春、外崎祐太、鈴木名啓介

日高管内さけ・ます増殖事業協会: 清水勝、片山勇樹、利浪隆亮

渡島管内さけ・ます増殖事業協会: 柳元孝二、鈴木慎、中村昌睦、田村千尋

日本海さけ・ます増殖事業協会: 安藤孝雄、安藤雅規、佐藤献二郎、赤城伸哉

【目的】

太平洋サケ資源回復調査事業及びサケ資源回帰率向上調査事業において平成 25～29 年度に放流した魚が標識放流河川へ回帰することから、放流パターン別回帰状況を解析し、ふ化放流手法の改良に活用する。

【方法】

釧路川(雪裡川)、静内川、知内川、余市川安家川、津軽石川へ溯上する親魚から鱗及び耳石を採取し、年齢及び耳石温度標識パターンを解析することにより、標識放流群毎の回帰率を算出する。回帰率は時期別に雌雄別年齢別の標識群毎の比率をそれぞれの河川捕獲数に乗じて標識群毎の捕獲数を推定し、それを放流数で除して算出する。

【結果】

・釧路川支流雪裡川(表 1)

9 月上旬から 11 月下旬に雪裡川へ溯上したサケ親魚から旬毎に雌雄 50 尾程度の鱗及び耳石を採取し、合計 814 尾の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。芦別ふ化場産の耳石温度標識魚は、2014 年級の 6 年魚では 3 月放流群(2n,2n-2H)が 2 尾、4 月放流群(2n-2n,2H)が 2 尾確認され、2015 年級の 5 年魚では、3 月放流群(2n,2n-2H)が 10 尾、4 月放流群(2n-2n,2H)が 15 尾確認され、2016 年級の 4 年魚では、9/23 受精群(2n,2n-2H)が 56 尾、10/12 受精群(2n-2n,2H)は 37 尾が確認され、2017 年級の 3 年魚では、9 月下旬受精群(2n,2n-2H)が 4 尾、10 月中旬受精群(2n-2n,2H)が 7 尾確認された。

・静内川

9 月中旬から 12 月上旬に静内川へ溯上したサケ親魚から旬毎に雌雄 50 尾程度の鱗及び耳石を採取し、合計 842 尾の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。豊畑ふ化場産の耳石温度標識魚は、2015 年級の 5 年魚では、9 月受精群(2,3,1,2H)が 37 尾、10 月中旬受精群(2,3,1,3H)が 12 尾、10 月下旬受精群(2,3,1,4H)が 10 尾、11 月受精群(2-3,1,3H)が 6 尾確認、2016 年級の 4 年魚では、9 月受精群(2,3,1,2H)が 25 尾、10 月中旬受精群(2,3,1,3H)が 51 尾、10 月下旬受精群(2,3,1,4H)が 106 尾、11 月受精群(2-3,1,3H)が 44 尾確認された。2017 年級の 3 年魚では、9 月受精群(2,3,1,2H)が 11 尾、10 月中旬受精群(2,3,1,3H)が 4 尾、10 月下旬受精群(2,3,1,4H)が 11 尾確認され、11 月受精群(2-3,1,3H)は 5 尾確認された。

・知内川

9 月下旬から 12 月上旬に知内川へ溯上したサケ親魚から旬毎に雌雄 50 尾程度の鱗及び耳石を採取し、合計 732 尾の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。2015 年級放流群の 5 年魚では、5 月放流群(2-3,2H)が 1 尾確認されたのみで、それ以外は確認できなかった。

・余市川

9月中旬から10月下旬に余市川へ遡上したサケ親魚から旬毎に雌雄50尾程度の鱗及び耳石を採取し、合計498尾の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。余市ふ化場産2016年級放流群の4年魚では、3月中旬放流群(2,2,1,4H)が83尾、3月下旬放流群(2-2,3H)が79尾、4月上旬放流群(2,2,1,5H)が54尾確認され、2017年級放流群の3年魚では、3月中旬放流群(2,2,1,5H)が17尾、3月下旬放流群(2,2,1,4H)が10尾、4月上旬放流群(2-3,2H)が36尾確認された。

・安家川

9月上旬から11月下旬に安家川へ遡上したサケ親魚から旬毎に雌雄50尾程度の鱗及び耳石を採取し、合計824尾の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。下安家ふ化場産の耳石温度標識魚は、2014年級の6年魚では1尾(2-3H)、2015年級の5年魚では、8尾(2-3H)が確認された。

・津軽石川

10月から12月に津軽石川へ遡上した300尾のサケ親魚から鱗及び耳石を採取し、年齢及び耳石温度標識パターンを解析中。

平成25～27年度の太平洋サケ資源回復調査事業による耳石温度標識放流群(2013～2015年級)について、各河川の雌雄別旬捕獲数に各標識放流群の混入率を乗じて標識放流群毎の回帰親魚数を推定し、過年度調査分とともに表2に示した。また、5年魚までの累積推定数を放流数で除して河川回帰率を算出し、放流時の体サイズと沿岸の水温も併せて示した。

5年魚までの耳石分析が終了した北海道太平洋岸3河川、22標識群について、沿岸水温、放流体重、河川回帰率の関係を図2に示した。沿岸水温が4～8℃の頃に2g前後で放流したもので回帰率が高い傾向が見られたが、これを河川別に、さらには水研機構による耳石標識放流(鶴居事業所から釧路川、静内事業所から静内川)の河川回帰率データも加えて、放流体重及び沿岸水温と河川回帰率の関係を示した(図3)。

釧路川では、放流体重が1.5gを上回るような放流群の回帰率が高い傾向や沿岸水温が1℃前後の時期の放流群の回帰率はかなり低い傾向がみられたが、2013年級は大型化した群も回帰率は高くなかった。これは降海した2014年春の沿岸水温が5℃以下の低水温が長く続いたことが影響した可能性がある(図4)。なお、令和2年度は雪裡川の捕獲体制が変更となり、捕獲場が本流合流点付近から約25km上流の芦別ふ化場へと移設されたことから、捕獲数は実際の河川回帰数よりも少なくなったと考えられた。

静内川では、全体的にかなり大型の稚魚が放流されており、各年級とも大型群ほど回帰率が高い傾向が見られた。また、放流の序盤は沿岸水温が上がるにつれて回帰率が高くなるが、後半はやや低くなる傾向がみられた。

知内川では、2013～2015年級にわたって、同時期に採卵した2群を3月中旬と4月中旬に同サイズで放流したところ、いずれも4月中旬放流群の方が大きく上回る回帰率となった。知内川沿岸の水温は冬期も5℃を下回ることがほとんどなく、2015年級が放流された2016年の3月上旬には8℃を越えていたが、2015年級の回帰率は3月中旬放流群、4月中旬放流群ともに低かった。2013～2015年級放流群のうち、釧路川、静内川では2013年級の回帰率が最も低かったが、知内川では2015年級が最も低かった。

平成28～29年度のサケ資源回帰率向上調査事業による耳石温度標識放流群(2016～2017年級)について、各河川の雌雄別旬捕獲数に各標識放流群の混入率を乗じて標識放流群毎の回帰親魚数を推定し、過年度調査分とともに表3に示した。また、本年度に回帰した年齢までの累積数を放流数で除して河川回帰率を算出した。



図 1. 調査河川と放流ふ化場

表 1. 耳石温度標識放流群毎の標識魚発見数(2020 年漁期回帰親魚)

河川	耳石温度標識 コード	2年魚 (2018年級)	3年魚 (2017年級)	4年魚 (2016年級)	5年魚 (2015年級)	6年魚 (2014級)	7年魚 (2013年級)
釧路 (雪裡)	2-6-2H	—	—	—	—	—	0
釧路 (雪裡)	2-6-3H	—	—	—	—	—	0
釧路 (雪裡)	2n,2n-2H	0	4	56	10	2	—
釧路 (雪裡)	2n-2n,2H	0	7	37	15	2	—
釧路 (雪裡)	(標本数)	1	41	500	216	56	0
静内	2,3,1,2H	0	11	25	37	0	—
静内	2,3,1,3H	0	4	51	12	0	—
静内	2,3,1,4H	1	11	106	10	0	—
静内	2,3,1,5H	0	—	—	—	—	—
静内	2-3,1,3H	0	5	44	6	—	—
静内	(標本数)	3	131	570	135	3	0
知内	2,3-2H	0	—	—	0	0	0
知内	2-2,1,2H	—	—	—	—	0	—
知内	2-2,3H	0	—	—	0	0	0
知内	2-3,2H	—	—	—	1	0	—
知内	(標本数)	1	163	548	14	6	0
余市	2,2,1,4H	0	10	83	—	—	—
余市	2,2,1,5H	0	17	54	—	—	—
余市	2-3,2H	2	36	79	—	—	—
余市	(標本数)	3	94	380	21	0	0
安家	2-3H	—	—	—	8	1	0
安家	(標本数)	8	464	202	87	63	0
津軽石	2-4H	—	—	—	(分析中)	(分析中)	(分析中)
津軽石	2,7H	—	—	—	(分析中)	(分析中)	(分析中)
津軽石	(標本数)						

表 2. 太平洋サケ資源回復調査事業による耳石温度標識放流群毎の河川回帰率 (2016~2020 年漁期回帰親魚)

放流 河川 (ふ化場)	年級	耳石コード	放流数 (千尾)	放流 尾叉長 (cm)	放流 体重 (g)	放流 年月日	放流 日数	放流日 沿岸水温 (°C)	5年魚まで の河川回 帰率	標識魚推定数(尾)				
										2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	6年魚
釧路 (芦別)	2013	2-6-2H	1,625	5.21	1.30	2014/4/19	27	1.1	0.005%	0	0	76	6	56
	2013	2-6-3H	2,138	5.04	1.17	2014/5/4	14	2.4	0.000%	0	0	1	0	0
	2014	2n,2n-2H	1,745	5.00	1.00	2015/3/24	1	1.2	0.058%	0	0	691	315	4
	2014	2n-2n,2H	1,757	4.80	0.85	2015/4/14	1	2.6	0.067%	0	12	699	471	8
	2015	2n,2n-2H	1,760	5.10	1.17	2016/3/25	1	1.4	0.013%	0	15	169	38	
	2015	2n-2n,2H	1,960	5.10	1.22	2016/4/11	1	2.3	0.020%	0	0	316	85	
静内 (豊畑)	2014	2,3,1,2H	930	6.30	2.06	2015/4/11	1	3.4	0.833%	0	703	5,584	1,456	0
	2014	2,3,1,3H	928	6.20	1.77	2015/4/11	1	3.4	0.169%	0	335	767	466	0
	2014	2,3,1,4H	1,020	5.60	1.39	2015/5/3	1	5.6	0.353%	0	569	2,123	904	0
	2015	2,3,1,2H	1,007	6.80	2.54	2016/4/11	1	4.7	0.607%	0	414	4,686	1,013	
	2015	2,3,1,3H	1,544	6.50	2.07	2016/4/12	5	4.8	0.310%	0	418	3,422	939	
	2015	2,3,1,4H	2,003	5.63	1.45	2016/4/26	14	5.8	0.409%	0	921	6,251	1,014	
知内 (知内)	2013	2,3-2H	1,342	5.40	1.33	2014/3/11	1	5.8	0.010%	0	20	72	41	0
	2013	2-2,3H	1,828	5.30	1.21	2014/4/11	1	7.0	0.219%	0	278	2,852	877	0
	2014	2,3-2H	1,005	5.41	1.16	2015/3/11	1	7.6	0.126%	0	264	949	51	0
	2014	2-2,1,2H	426	5.68	1.26	2015/5/1	1	10.1	0.105%	0	16	285	145	0
	2014	2-2,3H	957	5.37	1.17	2015/4/11	1	8.6	0.314%	0	291	2,299	416	0
	2014	2-3,2H	489	5.68	1.26	2015/5/1	1	10.1	0.030%	0	10	136	3	0
	2015	2,3-2H	987	5.30	1.16	2016/3/11	1	8.6	0.003%	0	15	17	0	0
	2015	2-2,3H	982	5.70	1.42	2016/4/11	1	9.5	0.026%	0	24	230	0	0
安家 (下安家)	2013	2-3H	1,500	5.60	1.65	2014/3/11	1	3.8	0.015%	0	※	232	0	0
	2014	2-3H	760	5.70	1.80	2015/3/18	1	4.4	0.661%	※	368	4,033	624	1
	2015	2-3H	2,150	6.10	2.20	2016/3/4	1	8.2	0.012%	0	110	128	15	0
津軽石 (津軽石)	2013	2-4H	4,159	6.40	2.14	2014/4/15	36	4.0	0.126%	0	0	4,351	875	0
	2014	2-4H	3,089	6.10	1.89	2015/3/31	1	5.3	0.114%	0	246	2,981	291	(分析中)
	2014	2,7H	1,139	6.30	2.10	2015/2/27	9	4.4	0.004%	0	0	47	0	(分析中)
	2015	2-4H	3,139	6.95	2.74	2016/4/26	21	9.8	0.002%	0	0	59	0	(分析中)
	2015	2,7H	1,030	5.60	1.60	2016/2/19	1	8.5	0.000%	0	0	0	0	(分析中)

・推定数の※は2016年台風被害のため未調査、網掛けは台風被害等の事情により捕獲数が大幅減
 ・放流日が数日に亘る場合の放流尾叉長、体重、放流日は放流数による加重平均値とした。
 ・沿岸水温は気象庁の海面水温情報を利用した。

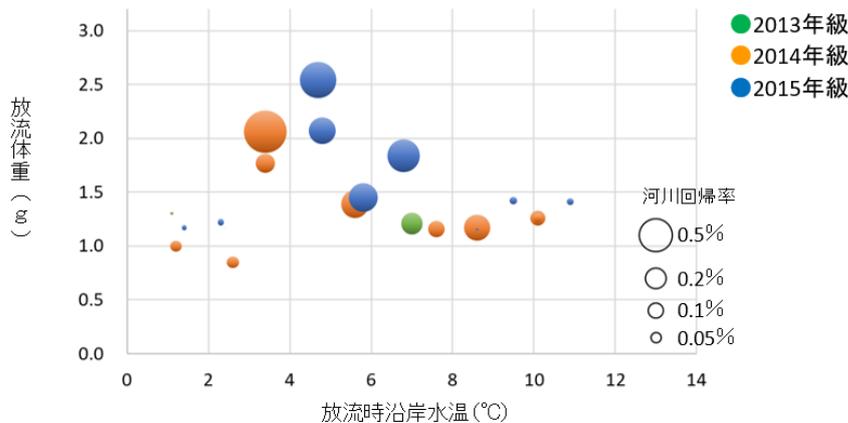
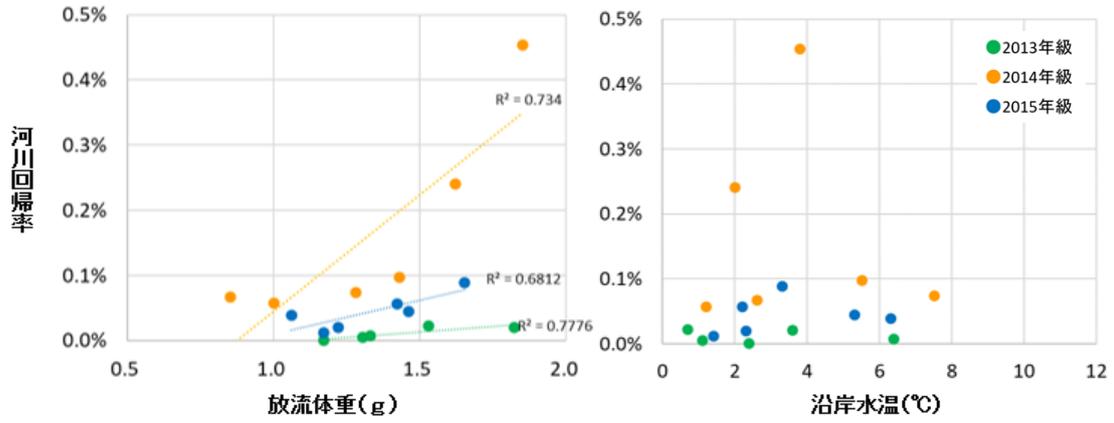
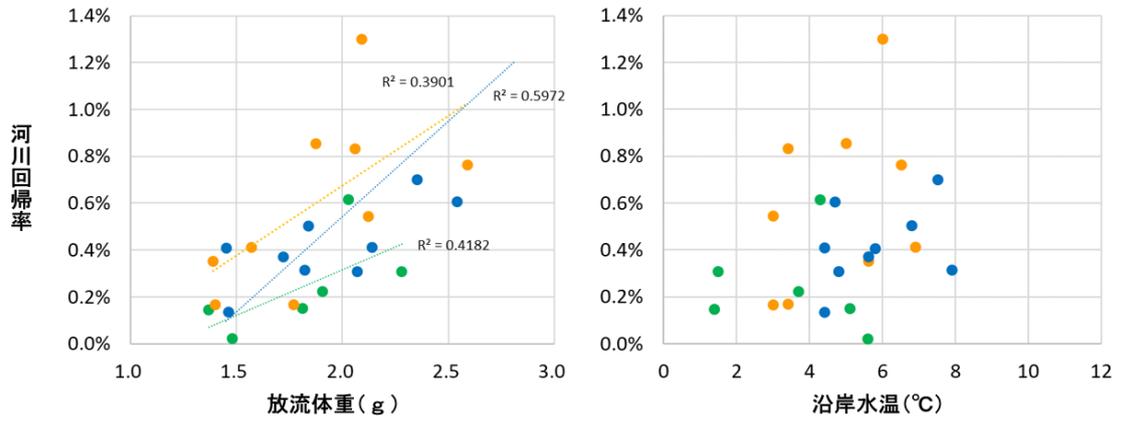


図 2. 太平洋サケ資源回復調査事業による標識放流魚の放流状況と河川回帰率. 釧路川(芦別)・静内川(豊畑)・知内川(知内), 22 群.

釧路川(芦別 6 群+鶴居 11 群)



静内川(豊畑 7 群+鶴居 18 群)



知内川(知内 9 群)

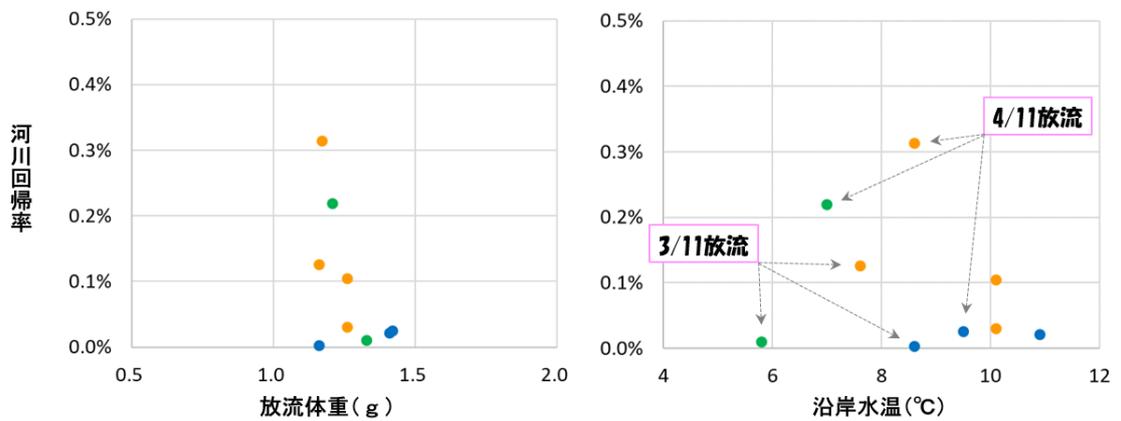


図 3. 放流時の体重・沿岸水温と河川回帰率の関係

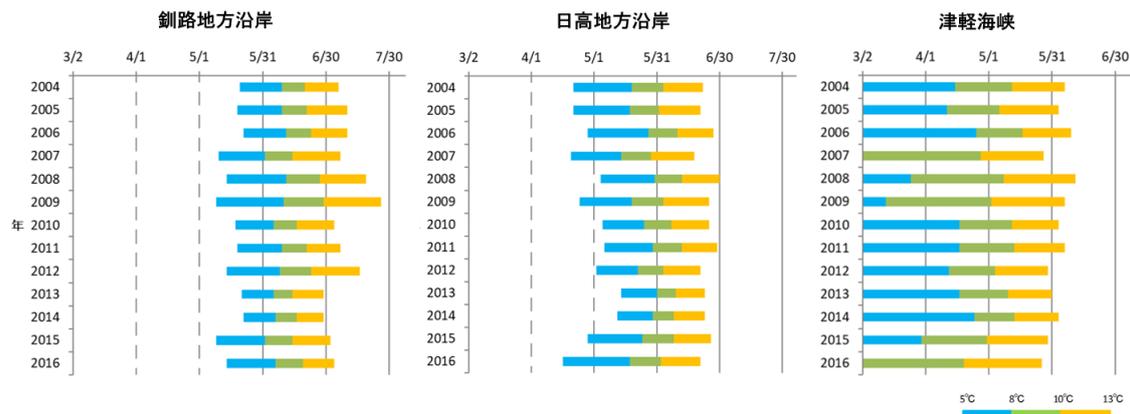


図 4. 放流河川周辺の海面水温 5~13°Cの期間

表 2. サケ資源回帰率向上調査事業による耳石温度標識放流群毎の河川回帰率 (2018~2020 年漁期回帰親魚)

河川	年級	耳石温度 標識コード	標識魚推定数(尾)					放流数 (千尾)	河川回帰率 (%)	放流時期	放流尾叉長 (cm)	放流体重 (g)
			2年魚	3年魚	4年魚	5年魚	累計					
釧路 (雪裡)	2016	2n,2n-2H	0	10	249		259	1,895	0.014	3月下旬	5.50	1.34
	2016	2n-2n,2H	0	29	203		232	1,865	0.012	4月中旬	4.80	0.86
	2017	2n,2n-2H	0	16			16	1,861	0.001	3月下旬	4.90	1.01
	2017	2n-2n,2H	0	37			37	1,842	0.002	4月下旬	5.70	1.46
静内	2016	2,3,1,2H	43	794	520		1,357	995	0.136	4月中旬	6.70	2.38
	2016	2,3,1,3H	101	2,536	4,739		7,376	1,528	0.483	4月中-下旬	6.53	2.17
	2016	2,3,1,4H	101	5,076	10,462		15,639	2,044	0.765	4月下旬-5月上旬	6.03	1.60
	2016	2-3,1,3H	0	1,996	1,729		3,725	1,555	0.240	5月上-中旬	6.01	1.66
	2017	2,3,1,2H	103	230			333	930	0.036	4月上-中旬	6.18	1.98
	2017	2,3,1,3H	231	298			529	1,417	0.037	4月中-下旬	5.69	1.50
	2017	2,3,1,4H	10	1,111			1,121	2,038	0.055	4月下旬-5月下旬	6.20	1.92
余市	2017	2-3,1,3H	0	298			298	1,521	0.020	5月上-下旬	6.00	1.73
	2016	2,2,1,4H	0	957	9,222		10,179	1,191	0.855	3月中旬	4.46	0.99
	2016	2,2,1,5H	0	3,036	7,702		10,738	1,819	0.590	4月上旬	4.45	0.99
	2016	2-3,2H	0	1,776	9,503		11,279	1,306	0.864	3月下旬	4.30	0.88
	2017	2,2,1,4H	58	1,293			1,351	1,295	0.104	4月上-中旬	4.27	0.67
	2017	2,2,1,5H	96	1,929			2,025	1,275	0.159	3月中旬	5.00	0.94
	2017	2-3,2H	190	4,937			5,127	1,793	0.286	3月下旬-4月上旬	5.45	1.31

釧路川の2020年度は雪裡捕獲場の体制変更の影響で捕獲数減

2. 効率的で持続的なふ化放流事業の構築に向けた検討及び技術開発

(1) ふ化放流コスト実態・統計調査

実施機関及び担当者:

全国さけ・ます増殖振興会： 内海邦夫、伊集院兼丸、成田伊沙哉(東海大学大学院)、中村勇佑(東海大学大学院)

【目的】

本州域のふ化放流コストの実態を明らかにするための統計調査を行い、今後の改良方法の検討に資することを目的とする。

【方法】

本年度は新型コロナウイルス感染症対策として従来の面談を行わず、本州域 9 県から 5 県 11 ヶ所を対象として選定の上、調査票を配布し、各ふ化場の放流経費及び地域の社会活動等について調査を実施した(図 1)。調査項目に加除はないが、記入例を示すなど様式を変更し、対象漁協の選定は、漁協の属性(沿海、内水面、生産組合)等を考慮し、県増殖協会と調整の上決定した。

【結果】

収入

収入規模は、347～55,253 千円であった(図 2-1)。

本州太平洋域の 3 ふ化場以外は、ふ化事業者と漁業者が異なり、県稚魚買上げや増殖協会による助成等が主である。(助成費にはさけ定置網漁業等の水揚金からの増殖協力金が含まれる)

収入に占める県稚魚買上げ等の割合は 13～100%であり、50%以上のふ化場は 11 ふ化場のうち半数を超える 6 ヶ所である。

その他の収入として、余剰親魚や卵の売却益、災害復旧補助金、海産親魚・海中飼育、民間企業からの助成費等が含まれる。

海域別の収入規模は、日本海側 5 百万円以下 6 ヶ所、太平洋側 5 百万円以下 1 ヶ所、5 百万～1 千万円以下 2 ヶ所、1 千万円以上 2 ヶ所であった(図 2-2)。

収入に占める県稚魚買上げ代等の割合は、太平洋側 5 か所のうち 3 か所、日本海側 6 か所中のうち 5 か所が 50%以上を占めており、海域別の偏重はみられない。

支出

支出規模は、1,835 千円～67,535 千円であった(図 3-1)。

支出に占める親魚捕獲費の割合は最大で 40%、ふ化場管理費は 60～100%であった。なお、100%を占める N-5 は捕獲経費の内訳が不明なためふ化場管理費に計上した。

支出に占める人件費の割合をみると 5～61%である。また、親魚捕獲費を計上していない、あるいは漁協役員がボランティアで実施している漁協があった。(P-6、N-2、N-3) 動力費は最大で 31%、施設関係費(減価償却費、修理費等)で最大 34%となっている。その他については、海産親魚購入費、親魚・稚魚の輸送車リース代等となっている(図 3-2)。

収入・支出バランス

黒字のふ化場は 11 ヶ所中 3 ヶ所、赤字のふ化場は 6 ヶ所であった(図 4)。

赤字ふ化場が事業存続できる背景は、ヤマメ、イワナの放流・遊漁料収入による補填(P-6、

N-5)、漁協の購買事業収入による補填(P-2、P-3、P-4)である。

ふ化場従事者年齢層構成

ふ化場における従事者のうち最も人員が多い年齢層を「主力層」と定義付けし、11 ふ化場の年齢層構成をみると、40代2ヶ所、50代3ヶ所、60代4ヶ所、70代2ヶ所であった(図5)。

収入規模が小さいふ化場においては、年齢層が高年齢化している。後継者の有無については、「いる」1ヶ所、「いるが不足している」4ヶ所、「未定」6ヶ所と後継者の確保に苦慮している状況であった。

漁協から、後継者確保のために周年雇用できる就業形態が必要であること、季節雇用ではなく正職員として雇用すること後継者対策につながる、との意見が寄せられた。

環境教育・地域イベント等(図6)

・11ヶ所のうち8ヶ所のふ化場において幼児・小学生等参加の採卵・受精・放流等の「さけ学習教室等」を実施している。

→地域文化の体験や後継者育成を目的として実施

→地域の環境教育・地域資源の理解を促進

(例:30年前から、サケ教室を開催。小学校3年生が採捕採卵見学をした後、

小学校に持ち帰り、稚魚の飼育を行っている。育てた稚魚は翌年4月頃に小学

3、4年生が放流する。)

・4ヶ所のふ化場において「地域の季節的イベント」を実施している。

→地域活性化やサケ感謝祭(鮭汁など鮭料理の提供、サケのつかみ採り)

→サケ資源の有効利用、自然環境の保全の推進(調査委員会による釣り調査)

・2ヶ所のふ化場において「神事・祭事」を実施している。

→大漁祈願祭(50年以上前から、毎年旧暦10月20日(11月16日)に大漁祈願として神前に鮭を奉納)

→供養祭(30年ほど前から、毎年11月11日に、サケに感謝し供養を行うことを目的として読経、礼拝等の供養)

今後の展開方向

・全体の取りまとめを視野に、地域別、事業規模別、漁協の属性等毎に収支を定量化し、問題点等をより明確化する必要がある。

・一方、ふ化事業の歴史の継承、地域の社会的資源として貢献していることを踏まえ、将来にわたる地域社会・文化の保存・承継の重要性等について関係機関の意見を聴取する必要がある。



1.3 調査票

* 調査票記入例を示すなど様式を改良

項目・金額	記入欄
調査費1	000000
調査費2	000000
調査費3	000000
調査費4	000000
調査費5	000000
調査費6	000000
調査費7	000000
調査費8	000000
調査費9	000000
調査費10	000000
調査費11	000000
調査費12	000000
調査費13	000000
調査費14	000000
調査費15	000000
調査費16	000000
調査費17	000000
調査費18	000000
調査費19	000000
調査費20	000000
調査費21	000000
調査費22	000000
調査費23	000000
調査費24	000000
調査費25	000000
調査費26	000000
調査費27	000000
調査費28	000000
調査費29	000000
調査費30	000000
調査費31	000000
調査費32	000000
調査費33	000000
調査費34	000000
調査費35	000000
調査費36	000000
調査費37	000000
調査費38	000000
調査費39	000000
調査費40	000000
調査費41	000000
調査費42	000000
調査費43	000000
調査費44	000000
調査費45	000000
調査費46	000000
調査費47	000000
調査費48	000000
調査費49	000000
調査費50	000000
調査費51	000000
調査費52	000000
調査費53	000000
調査費54	000000
調査費55	000000
調査費56	000000
調査費57	000000
調査費58	000000
調査費59	000000
調査費60	000000
調査費61	000000
調査費62	000000
調査費63	000000
調査費64	000000
調査費65	000000
調査費66	000000
調査費67	000000
調査費68	000000
調査費69	000000
調査費70	000000
調査費71	000000
調査費72	000000
調査費73	000000
調査費74	000000
調査費75	000000
調査費76	000000
調査費77	000000
調査費78	000000
調査費79	000000
調査費80	000000
調査費81	000000
調査費82	000000
調査費83	000000
調査費84	000000
調査費85	000000
調査費86	000000
調査費87	000000
調査費88	000000
調査費89	000000
調査費90	000000
調査費91	000000
調査費92	000000
調査費93	000000
調査費94	000000
調査費95	000000
調査費96	000000
調査費97	000000
調査費98	000000
調査費99	000000
調査費100	000000

項目・金額	記入欄
1	000000
2	000000
3	000000
4	000000
5	000000
6	000000
7	000000
8	000000
9	000000
計	000000

項目・金額	記入欄
1	000000
2	000000
3	000000
4	000000
5	000000
6	000000
7	000000
8	000000
9	000000
10	000000
11	000000
12	000000
13	000000
14	000000
15	000000
16	000000
17	000000
18	000000
19	000000
20	000000
21	000000
22	000000
23	000000
24	000000
25	000000
26	000000
27	000000
28	000000
29	000000
30	000000
31	000000
32	000000
33	000000
34	000000
35	000000
36	000000
37	000000
38	000000
39	000000
40	000000
41	000000
42	000000
43	000000
44	000000
45	000000
46	000000
47	000000
48	000000
49	000000
50	000000
51	000000
52	000000
53	000000
54	000000
55	000000
56	000000
57	000000
58	000000
59	000000
60	000000
61	000000
62	000000
63	000000
64	000000
65	000000
66	000000
67	000000
68	000000
69	000000
70	000000
71	000000
72	000000
73	000000
74	000000
75	000000
76	000000
77	000000
78	000000
79	000000
80	000000
81	000000
82	000000
83	000000
84	000000
85	000000
86	000000
87	000000
88	000000
89	000000
90	000000
91	000000
92	000000
93	000000
94	000000
95	000000
96	000000
97	000000
98	000000
99	000000
100	000000

図1. 調査ふ化場（上）と調査票様式（下）.

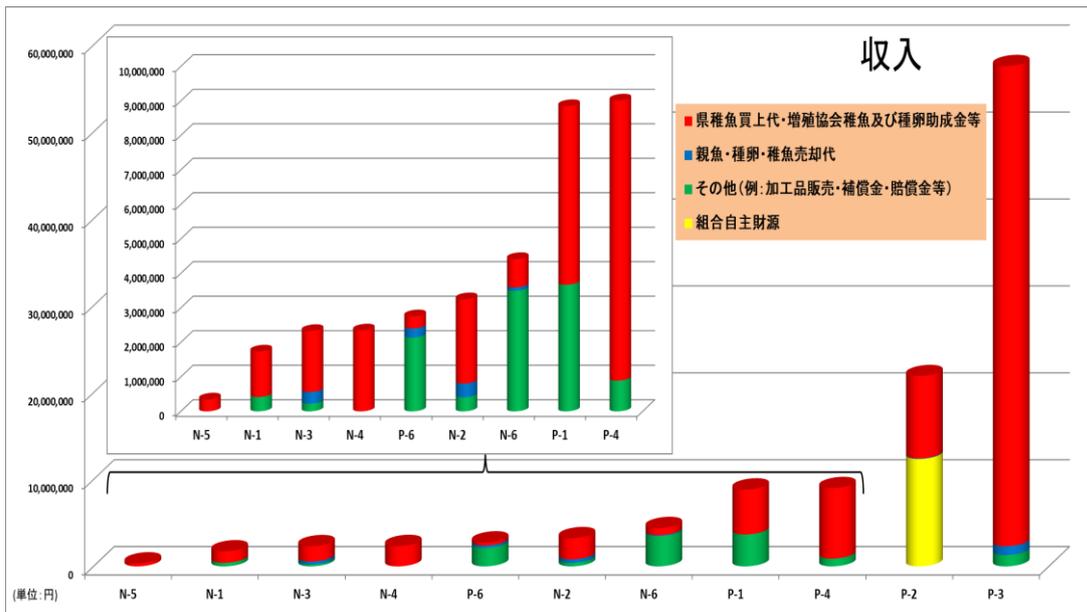


図 2-1. 収入

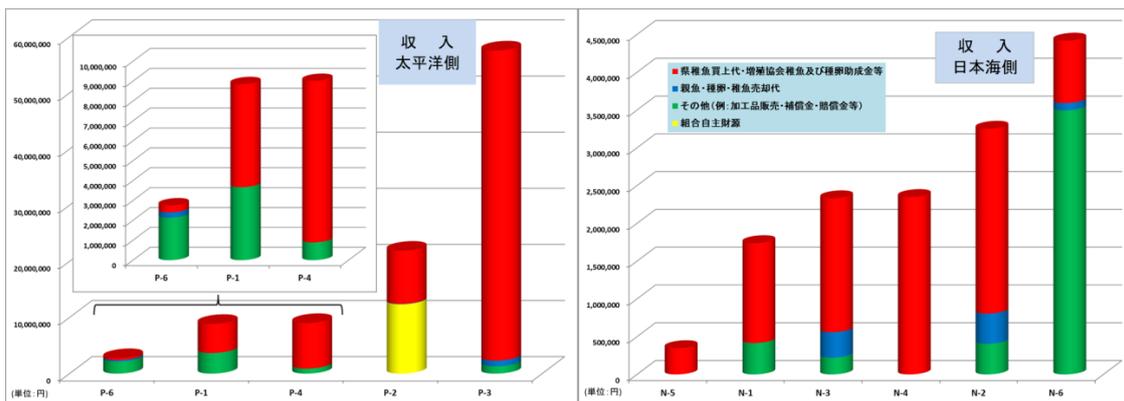


図 2-2. 収入(太平洋、日本海側別)

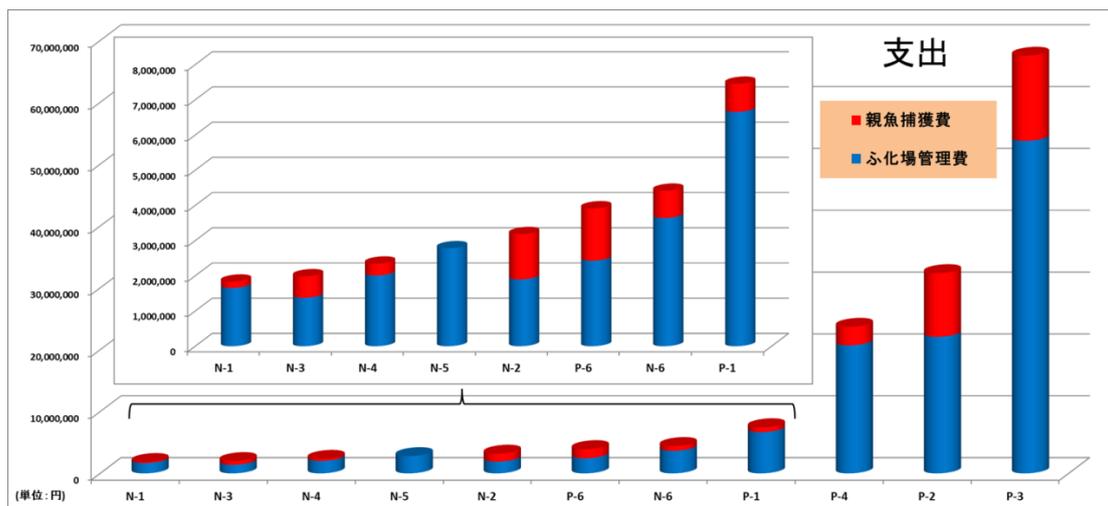


図 3-1. 支出 (親魚捕獲費、ふ化場管理費)

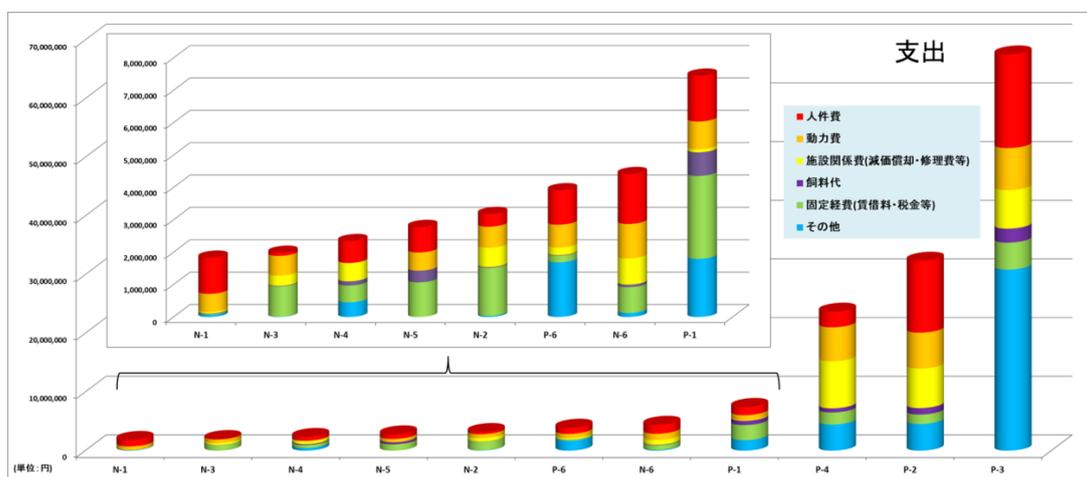


図 3-2. 支出 (項目別)

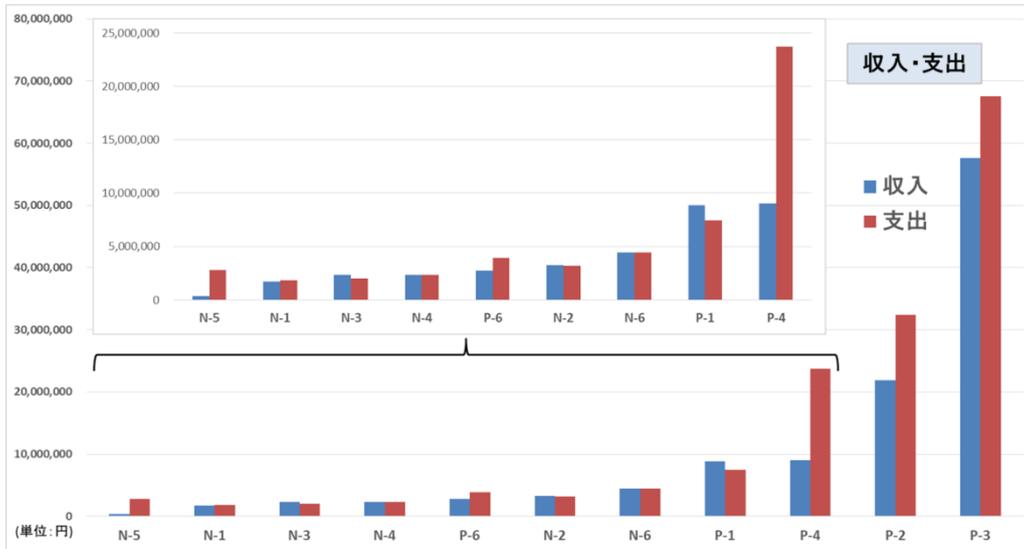


図 4. 収入・支出バランス

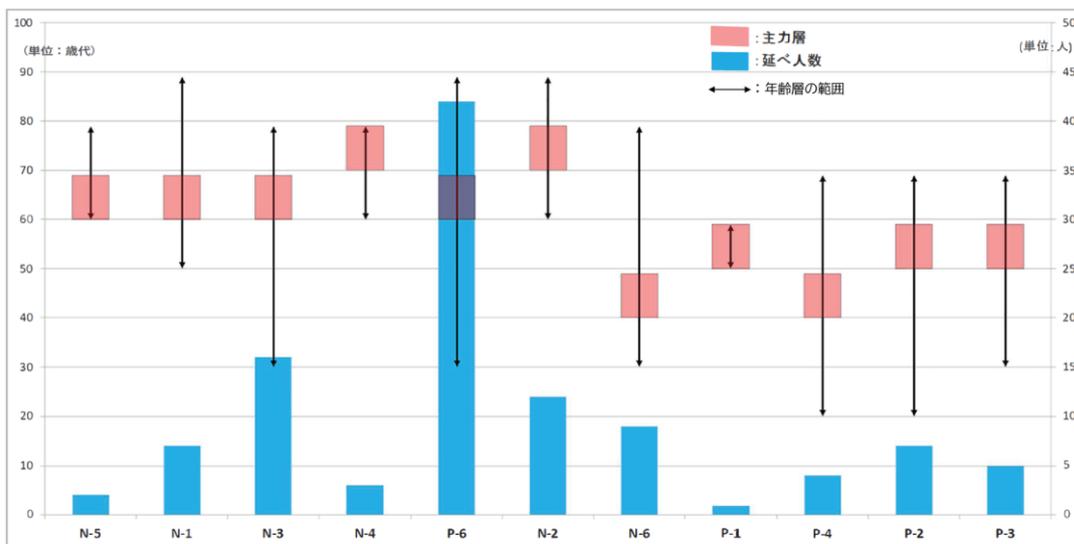


図 5. ふ化場従事者年齢層構成

漁協	イベント内容※					特記事項(対象・参加者数・イベント名等)
	稚魚放流体験	採卵受精体験 採捕見学	ふ化場見学・その他 学習教室	地域イベント	神事・祭事	
1	1	1				水産事務所の依頼で稚魚放流・採捕体験
2	1	1			1	採捕見学・小学3年生(8名)、稚魚放流・小学3、4年生(16名)
3			1	1		小学校(50名)新巻サケ造り体験学習、サケ祭り(サケつかみ取り、いくら丼提供)
4						実施していない
5				1		お祭りを他の地域団体と共催
6	3					子ども園・保育園が稚魚放流体験
7		3				小学校3校が採捕見学・採卵体験
8				1		うまいもの祭り(サケのつかみ取り)
9			1			小学校(24名)塩引きサケ作り体験教室、サケの一生についての講話
10	3					小学校3校が稚魚放流体験
11	1			1	1	小学校稚魚放流(令和2年3月6日はコロナ過のため中止)、鮭供養祭、お祭り(つかみ取り等)

図 6. 環境教育・地域イベント等

(2) 省コストふ化放流技術開発

① 本州日本海沿岸におけるサケ省コストふ化放流技術開発試験

実施機関及び担当者:

水産資源研究所 水産資源研究センター 底魚資源部: 飯田真也, 藤原邦浩, 八木佑太,
白川北斗

富山県農林水産総合技術センター 水産研究所: 野村幸司、南條暢聡

【目的】

日本では、ふ化放流事業によるサケの資源管理が行われてきたが、サケの漁獲量がそれほど多くない本州では、増殖事業経費の縮減や電気・餌代の高騰などを理由にその継続が困難な地域が増えてきた。今後、サケ資源を持続的に利用していくためには、従来のふ化放流事業の継続を図りつつ、より省コストな増殖手法も導入する必要がある(飯田 2018)。

省コストな増殖手法の1つとして発眼卵放流がある。発眼卵放流とは、発眼卵を河床に埋設する増殖手法であり、卵期までは飼育するが仔魚期以降を自然界に委ねることで増殖コストを削減出来る(飯田 2018)。本課題では数十～数百万粒の大規模な発眼卵放流を行うための手法を開発し、また、発眼卵放流を導入することによるコスト削減率を確かめ、発眼卵放流の有効性を検討する。

【方法】

I. 大規模な発眼卵放流手法の開発

① 放流適地の探索と人工水路の造成

富山県庄川水系(図1)で調査を実施した。庄川は伏流水が豊富で、河原を掘削すると水が湧いてくる場所が多く存在する。掘削場所によって水温(範囲 11.8～14.4℃)および溶存酸素(同 5.9～10.1 ppm)が異なったため、水温が12℃以下、かつ、溶存酸素量が10 ppm以上の場所を選択した。そこで、重機を使って河原を掘削し(図2A)、幅約2 m、長さ約200 mの人工水路を造成した。河床に細かな砂が多く含まれると通水性が低下して発眼卵の生残率が著しく低下する(lida et al. 2017)。河床内の通水性を確保するため、河床材として直径5～20 cmの小石を敷き詰め、細かな砂を可能な限り排除した。また、発眼卵を埋設する小石を人工水路の川岸に集積し、作業効率の向上を図った(図2B)。人工水路を庄川本流に合流させ、浮上した稚魚がスムーズに降河出来るようにした(図2C)。

② 試験に供した発眼卵

庄川で捕獲したサケ親魚から採卵・受精し、庄川沿岸漁業協同組合連合会(以下、庄川ふ化場)が飼育する発眼卵のうち、2020年11月20～22日採卵群および同年11月23日採卵群を試験の対象とした。前者は標識を付けずに78.4万粒(単重0.206 g/粒、総重量161.5 kg)、後者は200 ppmのアリザリン・コンプレキソン(ALC)溶液に24時間浸漬してALC標識を施した54万粒(単重0.206 g/粒、総重量111.24 kg)、両者を合わせた132.4万粒を試験に供した。

③ 大量発眼卵放流手法の検討

人工水路において以下1～4の作業を行った(図3)。

1. トロ箱(横80 cm×縦50 cm×高さ20 cm)の底をくり抜いて作成したフレームを人工水路に設置。フレーム縁辺部の隙間を小石で埋めて、フレーム内を出来るだけ止水にした(図3A)。
2. フレーム内の河床を掘って窪みを作り、そこへ発眼卵を散布。フレーム内を止水にすること

で、発眼卵がフレーム外へ流出することを抑制した。散布密度は養魚池の収容密度(本州鮭鱒増殖振興会 1983)に合わせて、12.5 千粒/m²とした(図 3B)。

3. 産卵床の構造と同様に、小石で発眼卵を埋設。この時、細かな砂が混入して通水性が低下しないように注意した(図 3C)。

4. フレームを撤去。次の放流地点である下流にフレームを移動(図 3D)。

手順1から4を繰り返し、合計 132.4 万粒を放流した。

II. 発眼卵が稚魚に育つまでの成長予測および生残率の推定

放流した発眼卵が稚魚に育つまでの生残率を把握するため、250 粒の卵を収容したパイパートボックスを 12 個用意し、それらを人工水路(図 2)に分散して埋設した。人工水路の表層水温を 1 時間ごとに観測し(Onset Tidbit v2, Bourne MA, USA)、各日の平均値を求め、その積算水温から発眼卵放流群の成長を予測した。なお、その計算にあたって 2021 年 2 月 16 日までは観測値、2 月 17 日以降では昨年度の庄川本流平均水温に 1℃加えた値を用いた。積算水温が 900℃・日に達し、発眼卵が稚魚に育つと見込まれる時期に埋設したパイパートボックスを回収し、残存した斃死個体を計数して生残率『(250-斃死個体数)/250』を求める(2021 年 2 月 22 日現在の見込み)。

なお、2018・2019 年級に関しては、パイプを用いて河床に埋設する「直まき放流」による発眼卵放流を行い、それら発眼卵が稚魚に育つまでの生残率を上述の方法で推定した。昨年度の報告書を作成する時点でデータを得られていなかったため、本報にて結果を報告する。

III. 発眼卵放流によるコスト削減の試算

庄川ふ化場におけるサケふ化放流事業の収入として、富山県水産漁港課や富山県鮭鱒部会によるサケ稚魚の買上費(以下、稚魚買上費)が全体の約 8 割を占める。また、放流総数(約 630 万尾)のうち約 8 割が稚魚買上費の対象となり、残りの約 2 割(約 140 万尾)が買上対象外の自主放流となる(庄川ふ化場 私信)。仮に稚魚買上費の対象群を発眼卵放流した場合、それらは買上対象から外れ、その結果、収入額は減少すると考えられる。そこで、収入額を維持した上で発眼卵放流を導入することを念頭に、自主放流分を全て発眼卵放流した場合の電気・餌代の削減率を試算した。試算にあたっては、庄川ふ化場の 2020 年度採卵実績(2020 年 10 月 15 日採卵開始、同年 12 月 8 日採卵終了、うち 26 日間実施)および飼育計画を入手し、全ての採卵群の発眼・ふ化・浮上時期を調べた。発眼卵放流は物理的な衝撃に弱くなるふ化の 3 日前までに行う必要がある。以上を踏まえて、まず各採卵群に対して発眼卵放流を実施することが可能な期間を求めた。次に、1 日あたり 54 万粒の発眼卵放流を実施可能(詳細は結果および考察を参照)であると仮定し、どの採卵群を発眼卵放流した場合に自主放流分の放流数を賄えるかを求めた。この時、飼育期間を出来るだけ短縮させるよう、後半の採卵群を優先的に選択した。そして、この時の飼育期間および要する電気・餌代を求め、従来の費用と比較した。なお、発眼卵放流に関する全ての作業は庄川ふ化場の職員もしくは組合員によって行われると仮定し、新たな雇用・コストの必要性を考慮しなかった。

【結果および考察】

大規模な発眼卵放流手法の開発

人工水路の掘削工事には重機一台で約 4 日を要した。今回開発した発眼卵放流手法(図 3)の放流効率は 1 チーム(4 名)1 時間あたり 24 万粒だった(図 4)。この効率は一般的な直まき放流(パイプを用いて河床に発眼卵を埋設、図 4 の挿絵、2018・2019 年級実施)に比べて 17 倍以上高く、作業効率を大幅に向上させることが出来た。本手法を用いることにより、数十～数百万規模の発眼卵放流は十分実現可能と考えられた。

発眼卵が稚魚に育つまでの成長予測および生残率

2020年級群の放流時の積算水温は400°C・日であり、浮上期の目安となる積算水温900°C・日には2021年3月2日頃に到達すると予測された(図5)。2021年3月3日以降にバイバートボックスを回収し、今回開発した手法による発眼卵群が稚魚に育つまでの生残率を推定する方針である。

直まき放流した2018年級および2019年級について、前者は2019年3月8日、後者は2020年3月1日に埋設した11~12個のバイバートボックスを回収して生残率を求めた。生残率の平均(95%信頼区間)は2018年級:97.8%(97.0%~98.5%)、2019年級:93.7%(90.7%~96.5%)と推定された(図6)。両年級とも20万粒を放流しており、これら発眼卵放流によって2018年級では19.6万尾(19.4~19.7万尾)、2019年級では18.7万尾(18.1~19.3万尾)の稚魚を生産したと考えられた。直まき放流による発眼卵放流群の生残率は庄川ふ化場における同期間(発眼卵⇒浮上稚魚)の生残率と概ね等しく、その生産効率は極めて高いと考えられた。

将来的には庄川に回帰したサケ親魚に含まれるALC標識魚の混入率を確かめ、発眼卵放流群の回帰率を推定する方針である。なお、岸・徳原(2017)はヤマメの稚魚放流群と発眼卵放流群の増殖効果(漁獲可能サイズの魚を1尾生産する費用)を比較し、発眼卵放流群の方が優れていたことを報告している。これを踏まえるとサケ発眼卵放流の増殖効果も低くないことが期待される。

発眼卵放流によるコスト削減の試算

全て稚魚放流とした場合の予定飼育期間は10月13日~3月19日だった。放流総数(約630万尾)の2割を発眼卵放流とする場合、26日間の採卵群のうち7日分(計213万粒)を対象とすると実現可能であった。この時の飼育期間は10月13日~2月18日となり、従来と比べて29日間短縮されることが見込まれた。また、電気・餌代は従来(約232.2万円、2009~2019年の平均金額、庄川ふ化場 私信)と比べて約8割(188万円)に削減出来ると考えられた(図7)。ただし、この場合、1日あたり最大54万粒(24万粒/時間/4名を2時間)の発眼卵放流をのべ9日間行う必要がある。

今回の試算では、重機を操作出来るふ化場職員もしくは組合員がいることを想定し、掘削工事に伴う費用を含めなかった。業者による掘削工事が必要な場合、上述のコスト削減額から工事費用を差し引かなくてはならず、発眼卵放流を導入することのコスト削減効果は大きくないかもしれない。ただし、発眼卵放流を導入することで、飼育する稚魚の数が全体的に減少し、飼育密度は緩和され、しいては放流する稚魚の健苗性が向上する波及効果も期待出来る。従来の稚魚放流をどれだけ発眼卵放流に代替えていくか、今後確かめる発眼卵放流群の回帰率なども踏まえた上で慎重に検討する必要があるだろう。

【引用文献】

- Iida, M., Imai, S. & Katayama, S. (2017) Effect of riverbed conditions on survival of planted eyed eggs in chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Fisheries Science*, 83, 291-300.
- 飯田真也 (2018) 省コストなサケ増殖手法「発眼卵放流」の導入を目指した研究の紹介. *日本海リサーチ&トピックス*, 23, 3-5.
- 岸 大弼・徳原哲也 (2017) ヤマメ稚魚放流個体および発眼卵放流個体の残存状況と費用対効果の比較. *岐阜県水産研究所研究報告*, 1-7.
- 本州鮭鱒増殖振興会 (1983) さけ増殖事業の手引き. 社団法人本州鮭鱒増殖振興協会, 東京.

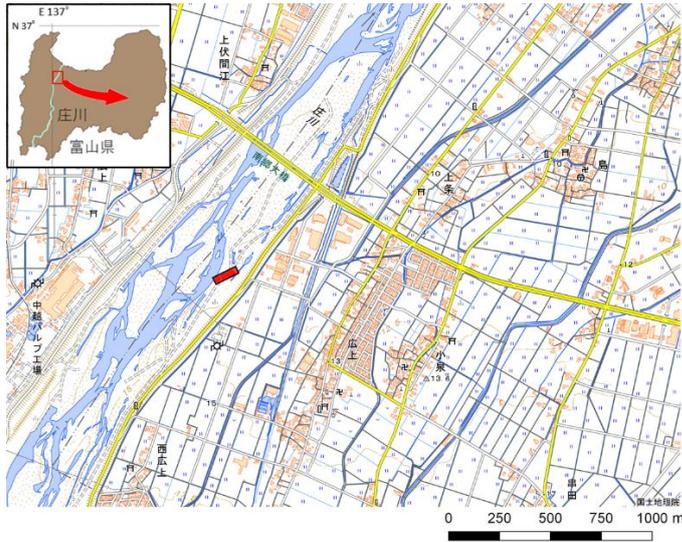


図1 富山県庄川と発眼卵放流用の人工水路の位置（赤四角）

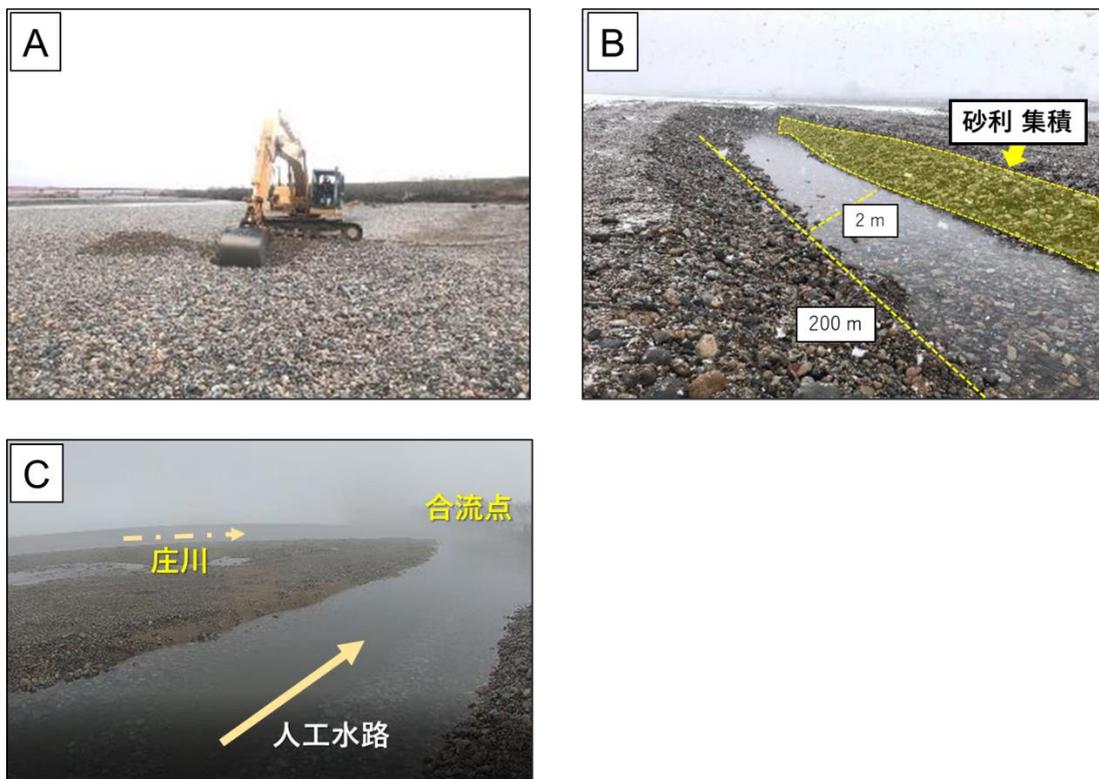


図2 発眼卵放流用の人工水路の造成風景

A：重機による掘削。B：造成した人工水路の概観。河岸に砂利を集積し、発眼卵を埋設する作業の効率化を図った。C：人工水路と庄川本流の合流点。

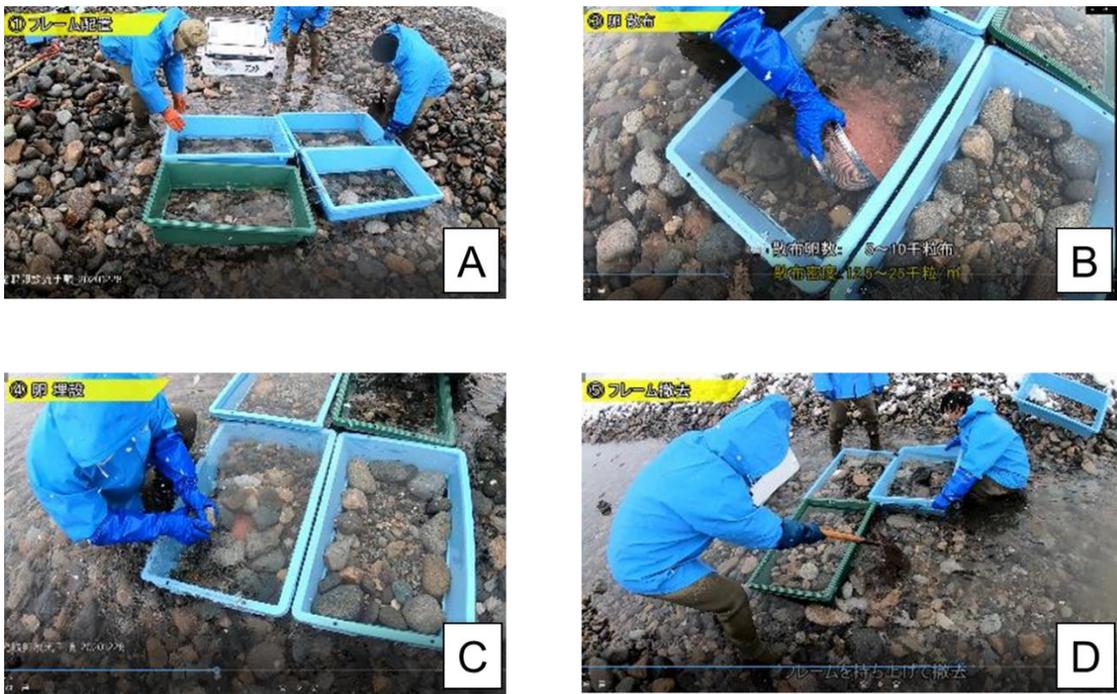


図3 大規模な発眼卵放流手法の手順

A：止水を作るためのフレーム設置。B：フレーム内の河床を掘って窪みを作り、その窪みに卵を散布。C：小石で卵を埋設。D：フレーム撤去。

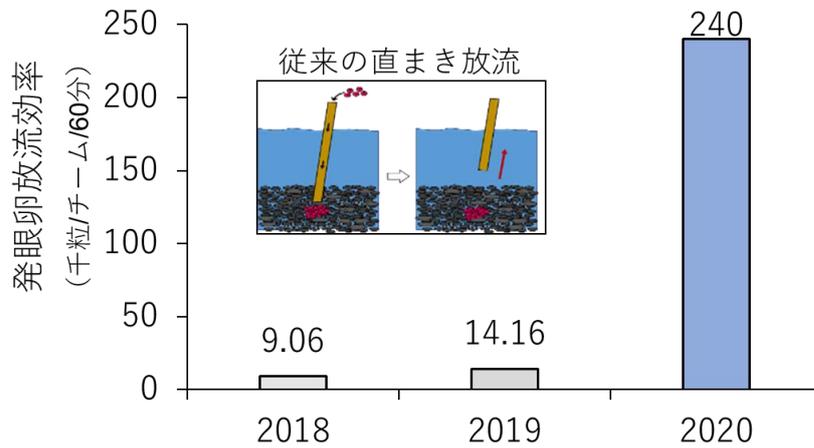


図4 2018・2019年級直まき放流（挿絵）と大規模な発眼卵放流手法（図3）の作業効率

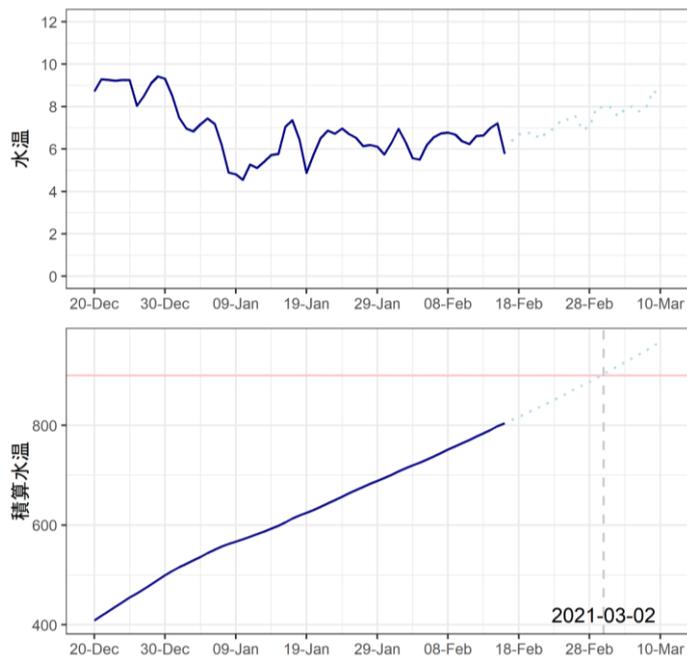


図 5 人工水路の平均水温（上段）および発眼卵放流時（400°C）を起点とした積算水温（下段）

2021年2月17日以降の積算水温（下段の青点線）は、人工水路の水温が昨年度（2020年度）庄川本流の水温に1°C加えた値（上段の青点線）で推移すると仮定して計算。浮上期の目安となる積算水温900°Cを赤線で示した。

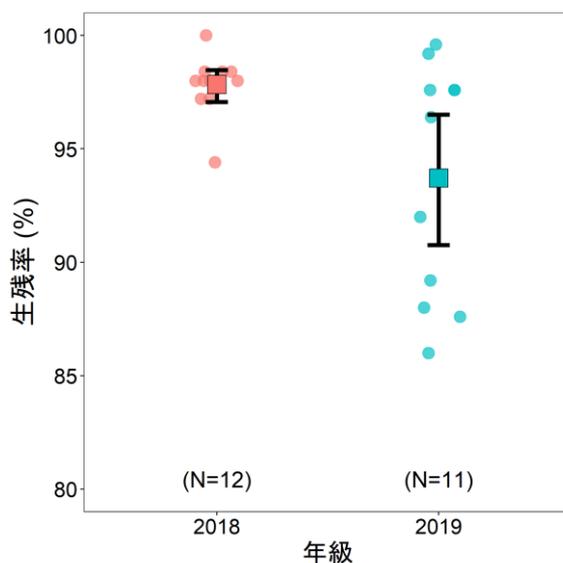


図 6 2018・2019年級発眼卵放流群が稚魚に育つまでの生残率丸が観測値、四角とひげはブートストラップ法で求めた平均および95%信頼区間。

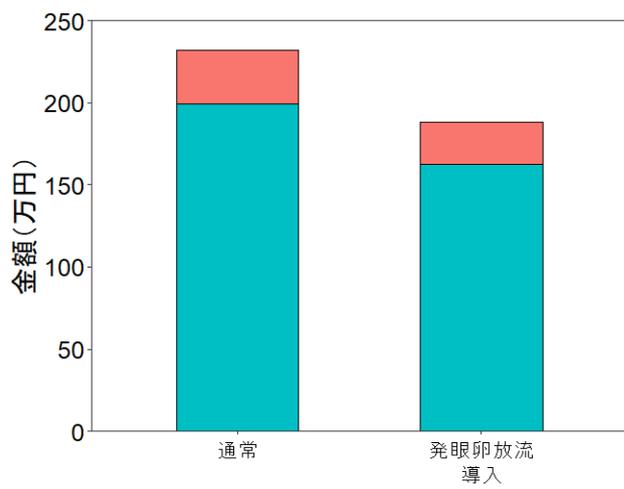


図 7 富山県庄川ふ化場 2020 年級群に関して、全て稚魚放流とした場合と総放流数の 3 割を発眼卵放流に替えた場合に要する電気 (青)・餌代 (赤) の比較

② 本州日本海沿岸におけるサクラマス省コストふ化放流技術開発試験

実施機関及び担当者:

富山県農林水産総合技術センター水産研究所内水面課: 野村幸司、村木誠一、浦邊清治
水産資源研究所 水産資源研究センター 底魚資源部: 飯田真也

【目的】

富山県ではサクラマス資源維持のため、稚魚放流やスマルト放流を継続しているが、河川、海面ともに漁獲量の低迷が続いている。サクラマスは河川生活期間が長く、スマルト放流を行う場合は1年半もの期間飼育する必要があり、多大な労力とコストを要していることから、増殖手法の抜本的な見直しが必要である。このことから、ヤマメでは一定の増殖効果が確かめられた発眼卵放流(岸・徳原 2017)をサクラマスに応用することを検討する。

【方法】

試験には富山県農林水産総合技術センター水産研究所が養成するサクラマス親魚から得たサクラマス発眼卵を用いた。

2019 年埋設群

2019 年 11～12 月に神通川水系に埋設放流したサクラマス発眼卵(試験区:井田川および黒川(いずれも ALC 標識 A1H))および 3 月に放流したサクラマス稚魚(対照区:井田川(耳石温度標識 2,2nH)、黒川(耳石温度標識 3H))について、エレクトロフィッシャーを用いたサクラマスの採捕により追跡調査を実施した。調査は 2020 年 3 月、5 月、6 月および 9 月に実施した。2021 年 3 月にも実施予定である。採捕は河川の 1m 幅を下流側から上流側へ移動しながら水中に通電し、浮き上がった魚類をタモ網で採捕した。採捕後に採捕を行った流程を測定し、1 m²当たりの採捕尾数を算出した。採捕したサクラマスは尾叉長および体重を測定し、耳石の標識の有無を確認した。また、両試験区の放流コストの経時変化を比較した。

2020 年埋設群

神通川水系黒川の 2 地点にサクラマス発眼卵を河床に直まき放流(パイプを通じて発眼卵を河床に埋設)または容器放流(発眼卵を容器に収容し、容器ごと埋設)した。試験区は 2 種とし、小サイズ卵(ALC 標識 A1H)、大サイズ卵(ALC 標識 A2H)とした。今後、容器放流群の死卵数から浮上率を求める予定である。

対照区は稚魚放流群(耳石温度標識 3H)とし、試験区と同一採卵群の発眼卵を稚魚まで育成し、埋設場所付近において放流する予定である。両群とも回帰年には、親魚の回帰率を調査する予定である。

【結果】

2019 年埋設群

3～9 月に実施した追跡調査において、黒川では 0.25～1.37 尾/m²のサクラマスが採捕された。そのうち発眼卵放流由来は 0.01～0.44 尾/m²、稚魚放流由来は 0.02～0.18 尾/m²であった(表1)。体サイズは、6 月までは稚魚放流由来が発眼卵放流由来および野生魚と思われる無標識個体よりも大きい傾向であった。一方、井田川においてサクラマスが採捕されたのは 5 月、6 月のみであり、標識魚は採捕されなかった。河川水温は、黒川、井田川とも 8 月は 30℃に迫る状況であり、サクラマスの生息には厳しい条件であった。黒川では、上流側の調査地点と下流側の調査地点間で水温差があり、田畑の排水が流れ込む下流側の水温が 2～6℃程度高い傾向が見られたことから、排水の影響が少ない上流側で埋設放流することが適切であ

ると考えられた。井田川は単調な大河川であり、水温の高さや流量の多さにより生息場所が少ないと思われることから、埋設放流には適していないと考えられる。

試験区に用いた発眼卵 1 粒あたりの単価を 2.5 円(富山漁協の親魚受け入れ金額から試算)、対照区に用いた稚魚 1 尾あたりの単価を 10.0 円(富山漁協の稚魚出荷価格から試算。人件費含む)として、黒川における両区の放流コストを比較した。放流に要したコストは、試験区は人件費(埋設作業員賃金 8,800 円/4 人)を含めて 138,800 円であり、対照区(520,000 円:全額稚魚購入費)の方が 3.7 倍高かった(表 2)。

2020 年度試験

2020 年度の発眼卵埋設地点を図 1 に示した。2020 年 11 月 25 日(図 2)に神通川水系黒川において 34 千粒、同年 12 月 2 日(図 3)に 25 千粒のサクラマス発眼卵を埋設した。小サイズ卵(試験区①)は 29 千粒、大サイズ卵(試験区②)は 30 千粒であった。発眼卵の平均重量は試験区①が 0.15g、試験区②が 0.18g であり、試験区②が試験区①よりも有意に高い値であった。(p<0.01)

埋設卵数は 1 地点あたり約 500 粒とし、作業時間は 11 月 25 日が 5 人で 2.5 時間、12 月 2 日は 9 人で 1.5 時間であった。

2020 年度の埋設卵数は合計 59 千粒であり、2019 年度の約 30%であった。発眼卵埋設の作業効率は、3 人 1 チームとして 1 チームの 1 時間当たりの埋設卵数を比較すると前年の約 85%であった。これらの理由としては、前年実施した大河川(井田川)での埋設放流を止めたことや、埋設後の生残を重視した場所選定としたため、埋設適地が少なく適地探索に時間を要したことが挙げられる。

今後、対照区として稚魚放流(耳石温度標識 3H)を実施予定である。

【引用文献】

岸 大弼・徳原哲也(2017) ヤマメ稚魚放流個体および発眼卵放流個体の残存状況と費用対効果の比較. 岐阜県水産研究所研究報告 62, 1-7.

表1 サクラマス0+の1㎡当たりの採捕尾数と耳石解析結果

2020 年度	黒川			井田川		
	試験区	対照区	無標識	試験区	対照区	無標識
	合計			合計		
4月期	0.44	0.15	0.53	-	-	-
5月期	0.06	0.07	0.16	0.00	0.01	0.11
6月期	0.13	0.18	1.06	0.00	0.00	0.01
9月期	0.01	0.02	0.23	-	-	-

表 2 2019 年放流群の放流コスト

	放流数 ①	単価(円) ②	種苗費用③ (①×②)	作業人件費 (円)④	コスト合計⑤ (③+④)
試験区	52,000	2.5	130,000	8,800	138,800
対照区	52,000*	10.0	520,000	単価に含む	520,000

*実際の放流数は 24,000 尾であるが、試験区と同数と仮定して試算した。

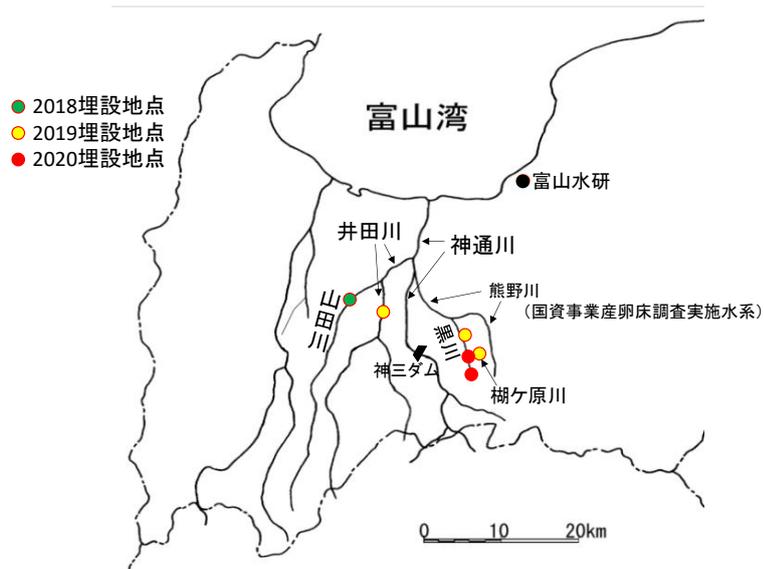


図 1 2020 年埋設放流地点



図 2 11/25 黒川埋設地点



図 3 12/2 黒川埋設地点

3. 事業検討協議会

(1) 事業検討協議会

【目的】

外部専門家を含む検討会を開催し、本調査の実施計画および調査結果について検討する。

【結果】

令和2年度は2020年7月15～28日に第1回検討会を、2021年2月15～26日に第2回検討会を、新型コロナウイルス感染防止のためEメールでの通信により開催した(下記)。第1回目は調査計画の説明と検討を、第2回目は調査結果の暫定的報告と検討を実施した。外部専門家は、本事業は先行事業開始から8年が経過したことから回帰魚のデータも蓄積され分析できるようになってきたこと、調査結果の解析により成長率の高いサケ稚魚の生残率が高い傾向が認められることなど重要な成果が報告され始めていることを指摘した。

記

I 令和2年度第1回検討会

- ① 日時:2020年7月15日(木)～7月28日(火)
- ② 形式:メール会議
- ③ 外部専門家:上田 宏 名誉教授(北海道大学)
- ④ 出席者:外部専門家1名、水産庁増殖推進部裁培養殖課3名、共同研究機関14機関83名、支援組織4機関7名およびオブザーバー1機関1名の計94名
- ⑤ 議事内容:下記に従って、実施計画の説明および質疑応答を行った。

議事次第

1 調査計画説明

全体計画 (北海道区水産研究所さけます資源研究部)

(1) 河川内及び沿岸での減耗回避技術開発及び増殖技術の高度化

1) 健苗育成技術開発

(北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場)

(北海道区水産研究所さけます資源研究部ふ化放流技術開発グループ)

(岩手県水産技術センター、北里大学)

(全国さけ・ます増殖振興会)

2) 放流手法技術開発

(北海道区水産研究所さけます資源研究部ふ化放流技術開発グループ)

(岩手県水産技術センター、北里大学、北海道大学、水産工学研究所、東北区水産研究所)

3) 沿岸環境・幼稚魚追跡調査

(北海道区水産研究所さけます資源研究部資源評価グループ)

(北海道総合研究機構さけます・内水面試験場)

(北海道区水産研究所生産環境部)

(北海道区水産研究所さけます資源研究部ふ化放流技術開発グループ)

(山形県水産研究所、内水面水産研究所)

4) 親魚耳石標識確認調査

(北海道区水産研究所さけます資源研究部ふ化放流技術開発グループ)

(2)効率的で持続的なふ化放流事業の構築に向けた検討及び技術開発

- 1)ふ化放流コスト実態・統計調査
(全国さけ・ます増殖振興会)
- 2)省コストふ化放流技術開発
(日本海区水産研究所資源管理部)
(富山県農林水産総合技術センター水産研究所)
- 2 総合討論
- 3 外部専門家講評
- 4 その他

II 令和2年度第2回検討会

- ① 日時:2021年2月15日(火)～2月26日(金)
- ② 形式:メール会議
- ③ 外部専門家:上田 宏 名誉教授(北海道大学)
- ④ 出席者:外部専門家1名、水産庁増殖推進部裁培養殖課3名、共同研究機関14機関
82名、支援組織4機関5名およびオブザーバー1機関1名の計92名
- ⑤ 議事内容:下記に従って、調査結果の報告および質疑応答を行った。

議事次第

- 1 結果報告
 - (1)河川内及び沿岸での減耗回避技術開発及び増殖技術の高度化
 - 1)健苗育成技術開発
 - ①油脂添加による健苗性向上試験
(北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場)
 - ②健苗育成技術開発試験1
(水産資源研究所さけます部門資源生態部増殖グループ、資源増殖部)
 - ③健苗育成技術開発試験2
(岩手県水産技術センター、北里大学)
 - ④海水適応能試験
(全国さけ・ます増殖振興会)
 - 2)放流手法技術開発
 - ①北海道における輸送放流、海中飼育放流試験
(水産資源研究所さけます部門資源生態部増殖グループ、資源増殖部技術課)
 - ②岩手県山田湾海中飼育放流試験、沿岸環境・幼稚魚追跡調査
(岩手県水産技術センター、北里大学、北海道大学、水産技術研究所環境・応用部門水産工学部、水産資源研究所さけます部門)
 - 3)沿岸環境・幼稚魚追跡調査
 - ①北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査(厚田、昆布森、えりも以西・以東定置網、宗谷海峡)
(水産資源研究所さけます部門資源生態部)
 - ②北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査(道南太平洋、道東太平洋、根室、日本海、太平洋・根室海峡・オホーツク沖合)
(北海道総合研究機構さけます・内水面試験場)
 - ③サケ幼稚魚回遊モデル
(水産資源研究所水産資源研究センター海洋環境部)
 - ④北海道における回遊経路追跡用標識稚魚の生産
(水産資源研究所さけます部門資源増殖部技術課)

- ⑤山形県における沿岸環境・幼稚魚追跡調査
(山形県水産研究所、内水面水産研究所)
- 4) 親魚耳石標識確認調査
(水産資源研究所さけます部門資源増殖部技術課)
- (2) 効率的で持続的なふ化放流事業の構築に向けた検討及び技術開発
- 1) ふ化放流コスト実態・統計調査
(全国さけ・ます増殖振興会)
- 2) 省コストふ化放流技術開発
- ①本州日本海沿岸におけるサケ省コストふ化放流技術開発試験
(水産資源研究所水産資源研究センター底魚資源部)
- ②本州日本海沿岸におけるサクラマス省コストふ化放流技術開発試験
(富山県農林水産総合技術センター水産研究所)
- (3) 事業検討協議会 普及部会
(水産資源研究所さけます部門資源生態部)
(全国さけ・ます増殖振興会)
- 2 総合討論
- 3 外部専門家講評
- 4 その他

(2) 普及部会

実施機関及び担当者:

全国さけ・ます増殖振興会: 内海邦夫、伊集院兼丸

【目的】

先行事業及び本事業で得られた成果について、研究者等からの講演や実習等を通じ、速やかにふ化放流現場に普及する。

【方法】

年度内に1回普及部会を開催する。

【結果】

2020年9月新潟市内で普及部会を開催する予定であったが、新型コロナウイルス感染症対策として、感染者数の増大を受け、普及部会はやむなく中止とした。

その代替措置として、講演を予定していた演者からの資料や動画に加え、機構宮古庁舎において耳石採取動画撮影を行い、技術普及部会資料として編纂し、2021年2月1日関係機関に送付した。

これまでの技術普及部会及び本会技術研修会アンケートで要望の多かったふ化放流技術の事例紹介と昨年度実習を行った耳石採取法、委託事業のうちから遊泳力強化方法検討を演目とした。

各演目と要旨は以下のとおりである。

1. 北海道日高地方の親魚捕獲について「ウライ方式からの転換」

一般社団法人 日高管内さけ・ます増殖事業協会 専務理事 清水 勝氏

日高管内増協では平成20年からウライを設置せず、本川から支流を通じふ化場飼育池(蓄養池)に親魚を誘導する方式を採用。

本方式導入により、密漁を誘発するなどの懸念がある一方で、上流への遡上が多くなり、安定した種卵確保が期待できる。そこで、本方式の有効性を確認するために試験運用を行った結果、親魚捕獲、種卵の計画的確保が可能となり、親魚や種卵の品質向上に寄与することが判明した。

具体的には、i)捕獲から採卵までの時間短縮、ii)親魚のストレス軽減、iii)捕獲から採卵までの一連の作業性が向上し、iv)結果として良質卵の確保等、が実現した。

加えて、v)近年多発する豪雨被害(ウライの流失)を回避することによる経済的効果が発現した。

2. サケとサクラマス親魚から放流まで

黒部川内水面漁業協同組合 主任 新田 生氏

黒部川におけるサケの採捕から放流までの作業工程のうち、特に留意すべき点、例えば採卵・媒精時の雄雌比、イソジン消毒、淘汰・検卵や飼育池への移動時の積算水温、給餌回数と飼育池清掃、放流時期等の事例を紹介。

富山県の代表種であるサクラマス親魚の採捕や蓄養、蓄養槽の紹介、稚魚観察のポイントについて解説。

3. サケ稚魚の遊泳力強化方法の検討

岩手県水産技術センター 専門研究員 長坂 剛志氏

岩手県水産技術センターが本委託事業の健苗育成技術開発試験2で実施している「高い遊泳力を持つ稚魚が生残に有効というモデルを証明することを目的とした試験について経過解説。(別様既報のとおりであり詳細は省略)

将来、現場での具現性が高い試験法と考え、講演を依頼。

4. 岩手県の捕獲採卵方法の紹介【動画編】

一般社団法人 岩手県さけ・ます増殖協会 技師 瀬川 格氏

県内の沿海19か所の施設うち4か所(気仙川、久慈川、北上川及び明戸川)のふ化場における捕獲・採卵の実例、中でも冷水病対策として等張液による受精前洗卵を検討しているふ化場の参考となるよう動画により紹介。

また、令和元年度技術普及部会で講演した飼育池内の原虫寄生による稚魚の特徴的な動き(体表擦り)を動画で改めて紹介。

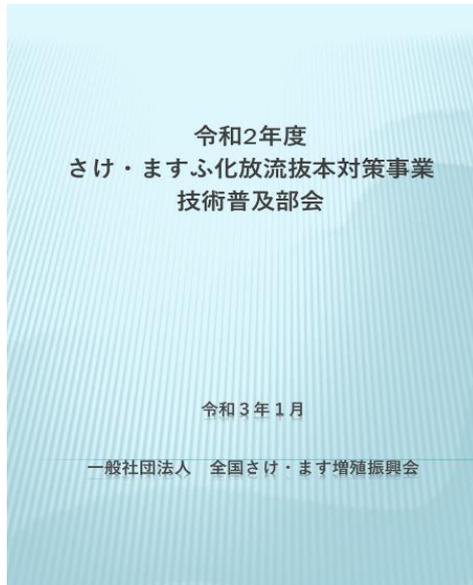
5. 親魚耳石採取作業の手順【動画編】

水産資源研究所 さけ・ます部門 本州技術普及課 監修

令和元年度技術普及部会で実施した同作業手順の実習が困難になったため、機構宮古庁舎において、同作業手順の動画を撮影。

平成27年度からの補助事業において施標(耳石)した稚魚が親魚として回帰していることから、改めて耳石採取法のテキストを作成するとともに作業工程を動画撮影。

【資料集 表紙・目次】



目次

1. 北海道日高地方の親魚捕獲について
「ウライ方式からの転換」
一般社団法人 日高管内さけます増殖事業協会
専務理事 清水 勝
2. サケとサクラマス親魚採捕から放流まで
黒部川内水面漁業協同組合 新田 生
3. サケ稚魚の遊泳力強化方法の検討
岩手県水産技術センター 長坂 剛志
4. 岩手県の捕獲採卵方法の紹介 【動画】
一般社団法人 岩手県さけます増殖協会 瀬川 格
5. 親魚耳石採取作業の手順 【動画】
監修 水産資源研究所 さけます部門 本州技術普及課

【講演資料】

1. 北海道日高地方の親魚捕獲について「ウライ方式からの転換」



主な内容

1. 日高管内ふ化放流事業の概要
管内増殖河川とふ化施設
サケ来遊状況
2. ウライ方式からの転換
水路方式導入の課題等
本川からの遡上経路
3. 水路方式とその効果
経済的効果
親魚へのストレス軽減

2. ウライ方式からの転換

(1) 日20年にウライを敷設せず、本川・支川から蓄養池へ誘導する方式を試験的に実施

◎導入にあたって

(反応) 一部は賛成するも反対・慎重とする意見多数

★ 効果期待

① 捕獲経費削減、② 人員の効率的配置(少人数体制)、③ 水害対策

★ 反対・慎重の理由

① 上流に遡上し種卵確保に問題、② 密漁を誘発

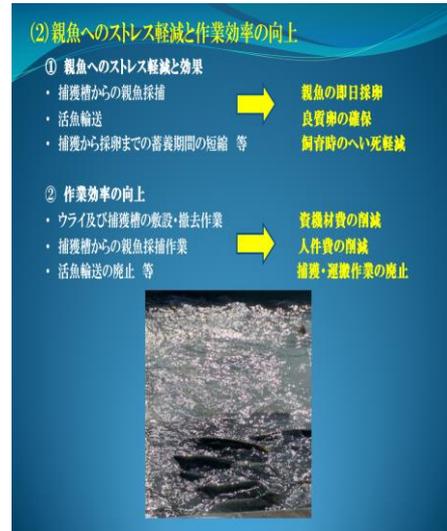
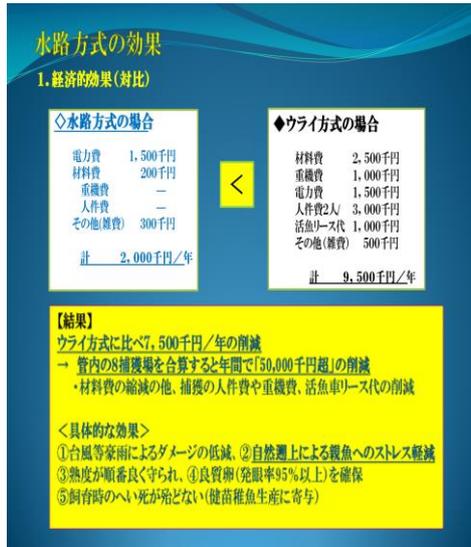
◎ 経済的効果

親魚捕獲数はウライ方式と大差なく計画的に確保を確保
理事会においては、人件費及び良質卵確保、効率化が評価
※経営面の効果については後述

(2) 実行面以下での利点や効果が発見

① 捕獲から採卵までの時間短縮、② 親魚のストレス軽減、③ 作業性の向上
④ 良質卵確保(完卵率5%以上)

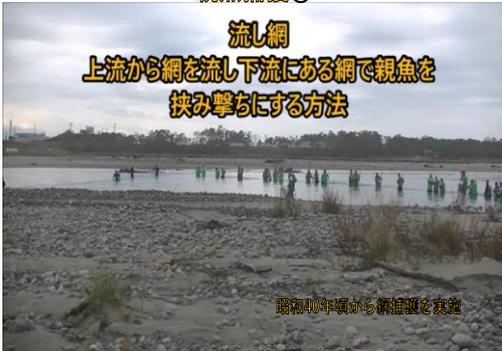




2. サケとサクラマスの子魚から放流まで



親魚捕獲①



消毒



サクラマス親魚捕獲



○ 捕獲時の注意
捕獲する人・親魚を運搬する人等役割分担をする
捕獲魚は絶対に素手では触らない
川から運搬具に移す時は網で魚を包むようにして移す

運搬具



用水路断水時写真

サクラマス親魚蓄養槽



捕獲・蓄養時期
サクラマスの漁期が終わる6月以降から捕獲
ただし8~9月の捕獲魚は50~60%と生残率が低い
近年では親魚200尾を目標に採捕している
H26~R1年では64~182尾捕獲



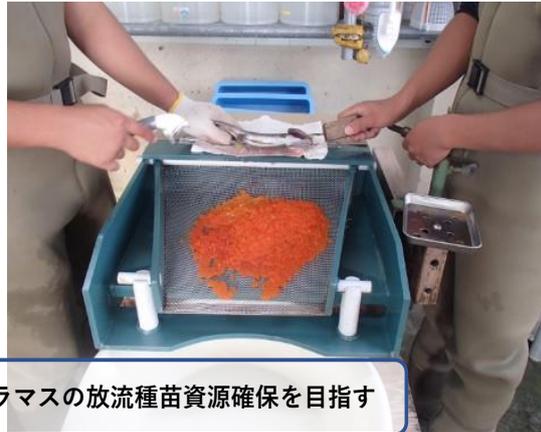
蓄養池
注水量15~20ℓ/min
親魚の生存確認はフタの穴から確認
※毎日確認すると親魚が驚き体力を消耗する為
確認は1日おき以上が望ましい

親魚養成

サクラマスは
遡上量も安定せず、資源量も少ない



既存の施設で親魚として F1サクラマスを育成する事は出来ないかということで H28年から親魚養成試験を開始。R1年には魚体は小さいが～ 300gの親魚から合計32千粒の卵を採卵（発眼率75%）



安定した黒部川遡上系由来のサクラマスの放流種苗資源確保を目指す

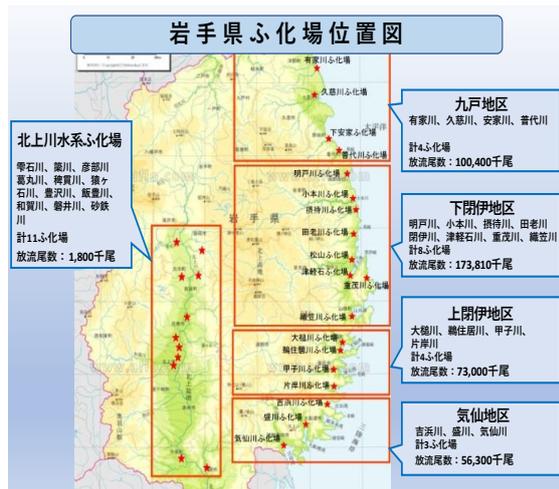
3. サケ稚魚の遊泳力強化方法の検討

<本報告書第1章1. (1) ③において報告のため省略>

4. 岩手県の捕獲産卵方法の紹介【動画】

**岩手県の捕獲
採卵方法の紹介**

岩手県さけ・ます増殖協会
瀬川 格



捕獲・採卵方法について

〇県内には沿岸に19か所の捕獲・採卵施設があり、今回は一部ふ化場の捕獲採卵風景を動画で紹介したいと思います。近年、岩手県では採卵時に等張液を使用した受精前洗卵による冷水病対策に取り組んでいるふ化場が数か所あります。今回動画にまとめましたので等張液洗卵を検討しているふ化場がありましたら参考にしてください。

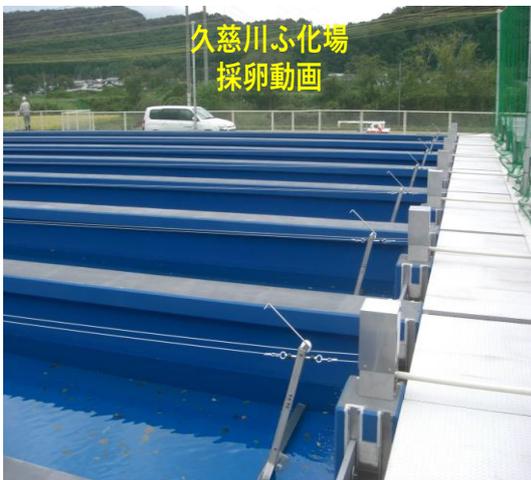
等張液洗卵を実施した現場の感想

〇メリット

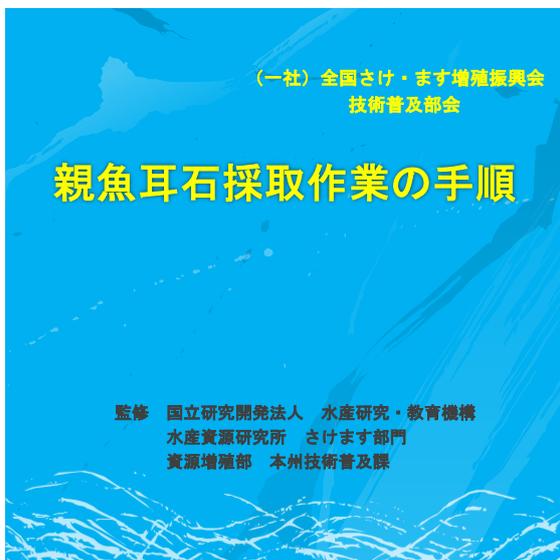
1. 稚魚期において冷水病とみられる尾ぐされ等が発生しなくなった。
2. 浮上槽での斃死が通常採卵に比べて少ない。
3. 種卵管理において水カビの繁茂が少なく発眼率が向上した。

×デメリット

1. 等張液を使用すると卵が柔らかくなる感じがした。
2. 手間が掛かる。全ての工程を実施するのは時間的にも難しい。



5. 親魚耳石採取作業の手順



1. 基本的な道具の紹介

(1) 採鱗、ナンバリング用具一式

- ① 採鱗用紙
月日、場所、雌雄の情報を記入
あらかじめ二つ折りにしておく
- ② ピンセット
ウロコを採取するには
先端が曲がった丈夫なものが使いやすい
- ③ ナンバリング
魚体と耳石が一致するように番号札を付ける
胴体と頭部は切断されるので、
頭部側に番号札を取り付ける
- ④ ホチキス
えらぶたに番号札を簡単に取り付けられる



2. 耳石採取【はじめに】

作業前に親魚の血液等で汚れる床や備品は、あらかじめ水で濡らすことをお勧め

(1) 採鱗

- ① 魚体から最低2、3枚を採鱗

- ② 頭部に番号札を付ける

→ ピンセットで採鱗すると、番号を確認しながら鱗を受け取る人で二人1組になると良い
→ 罫紙にナンバーを取り付ける場合、頭頂部を削ぐ時邪魔にならないよう目玉より下側に付けると良い



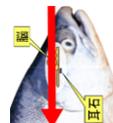
- ③ 鱗を受け取る人は採鱗用紙を開いて鱗を挟み込む



(2) 頭部切断

- ① 番号札が外れないように
カボチャカッターで頭部を切断

- ② 目玉の1cmくらい上にそって、
背骨に対して真っ直ぐ頭頂部を
削ぎ落とし、脳みそが露出した
状態にする



* 切り足りず脳みそが見えない場合は再度削ぐ

(3) 耳石採取

- ① サケの顎を手前に向けて頭部を持つ



- ② 口側をやや下向きにしながらピンセットで脳みそを剥がす



- ③ 後方の左右のくぼみに一つずつ耳石がある

- ④ くぼみから耳石をピンセットで取り出す



注意：換板の威力が強過ぎるとくぼみ自体が破壊され耳石が骨の間にめり込んだり、耳石自体が砕けてしまうこともある。換板は目と鼻の間を叩くように留意する

⑤取り出した耳石は透明な膜で覆われてい場合、軍手の上で膜を取り除く



⑥ナンバリングの番号と一致するマイクロプレートの穴に採取2個の耳石を入れる



耳石採取終了後に送付



マイクロプレートの上下左右を新聞紙等でクッション材を動き止め送付



割れ物注意!



河川毎に輪ゴムで束ねる。

【巻末 動画 DVD を添付】



第2章 成果の要約

近年回帰率の低下が著しい我が国起源のサケ資源について、先行事業により近年のサケ来遊数の低下は放流からオホーツク海に至るまでの累積的減耗が大きな要因であることが示されてきたことから、本事業ではさけ・ます人工ふ化放流事業における飼育・放流技術の高度化と省コスト化、さらにその普及を目的として実施した。我が国沿岸のさけます資源に関与している試験研究機関とさけ・ます増殖団体が共同研究機関を設立して取り組み、以下の成果を得た。なお、秋に産卵し翌年の春に降海するサケの生活史の特徴のため、本報告書には昨年度から継続している調査・試験報告も含む。また、今年度から開始した人工ふ化放流技術に関する技術開発試験は、年度末時点で継続中である。

- 1-(1)-① 餌料への亜麻仁油の添加によって、サケ稚魚の栄養状態の向上と飢餓耐性の向上が示された。
- 1-(1)-② 給餌試験の結果、現時点では池の下流側半面に1日1回、標準給餌率の量の餌を給餌する方法が、労力、時間及びコストを軽減できる方法として考えられる。
- 1-(1)-③ 水流を強めることにより遊泳力は強化される傾向にあること、トレーニングを行うことで体エネルギー成分の代謝が変化することが分かってきた。
- 1-(1)-④ 単年度比較ではあるが令和元年度での海水適応率は前年度から向上した。本試験を通じ、ふ化場自らが前期・中期・後期の3群に試験を実施し、放流稚魚の健苗性を確認する個所もあり、本試験の普及と有用性に理解が深まりつつある。
- 1-(2)-① 海中飼育開始20日後に生簀を解放して放流、河川放流群は西別ふ化場の放水路から放流した。放流時に稚魚の30尾の胃内容を調べたところ、天然餌料の摂取はみられなかった。放流時の筋肉脂肪量では両群に差が無かったが、肝臓糖分量では河川放流群の方が有意に高く、瞬発遊泳速度では海中飼育群の方が有意に小さかった。
河川氾濫のため、2019年級の輸送放流試験は断念し、予定していた放流群は芦別ふ化場から自然放流した。この放流群は回遊経路追跡用としては利用されたため、放流結果は「北海道における回遊経路追跡用標識稚魚の生産」へ記載した。
- 1-(2)-② 2020年の山田湾海中飼育試験では、2段式の生簀網を用いることで適正な密度での長期飼育を実施することができたため、稚魚の成長と遊泳力が向上したと推定される。
- 1-(3)-① 2020年は遺伝的系群識別では小型魚・大型魚ともに本州太平洋系の分布が推定されたことから、本年は本州太平洋を起源とする少数のサケ幼魚が5～7月にかけて北海道太平洋沿岸までたどり着いている可能性が考えられた。
サケ幼稚魚の耳石日周輪解析による海洋生活初期の成長速度推定から、大型種苗の放流が高い成長速度の獲得、ひいては初期減耗の軽減に有効である可能性が3年間の調査から示唆された。
- 1-(3)-② 道南太平洋における稚魚の分布から、沿岸の低水温が稚魚の移動を制限する可能性が示唆された。
道東太平洋釧路港における目視観察の結果、放流状況と港内での確認状況からサケ稚魚は1旬程度を港内で過ごすと考えられた。釧路港副港における夜間採集で再捕された芦別ふ化場放流の油脂添加群と対照群は、油脂添加群は放流時の値が低かったものの、放流以降はおおむね対照群を上回っていた。
根室管内全体では、地曳網調査やたも網調査の結果から、根室南部地区ではサケ幼稚魚は6月上中旬には渚帯を離脱していると推定された。再捕された海中飼育放流群は、体長や体重のばらつきが大きかったが、肥満度は放流時から減少しておらず、常に河川放流群より高く推移した。
オホーツク海沖合調査のトロール網ではサケマス幼稚魚を3カ所で計23個体を採集

した。夜間は14カ所でサケマス幼稚魚を確認し、その内3ヶ所で計5個体を採集した。サケマス幼稚魚が確認・採集できた地点は、距岸4～129km(平均81.4km)で、海面水温は11.9～17.3℃(平均14.7℃)であった。

- 1-(3)-③ 本州太平洋のサケの2002年～2012年級群のうち回帰量が多い年級は、岩手県沿岸域の水温・塩分が低く、流れが南向きである海洋環境であった。粒子追跡実験から、2003年～2018年について、岩手県沿岸から投入された粒子は設定遊泳速度の速い場合の粒子が遊泳速度の遅い場合より多く道東まで達した。2005、2006、2010年では、適水温期間に投入した粒子は、遊泳速度が遅い場合でも道東まで達したが、近年の2014年～2016年では、遊泳速度が速くても道東まで達する粒子は非常に少なかった。2017、2018年では遊泳速度が速い場合に粒子は道東まで達した。
- 1-(3)-④ 2019年級群のサケ稚魚に採卵群別や試験群別の合計15群に異なる耳石温度標識を施し、根室海域1河川と河口周辺、えりも以東海域1河川、えりも以西海域2河川、北海道日本海域1河川に放流した。同様に2020年級群のサケ稚魚を各海域で放流するために、耳石標識を施し、生産中である。
- 1-(3)-⑤ 山形県月光川水系採卵群に異なる耳石温度標識コードを施し、2020年に最上川水系最上小国川、鮭川、寒河江川へ輸送放流した。月光川、最上川、新潟県三面川、秋田県川袋川から放流された耳石標識魚が、それぞれ7尾、10尾、2尾、1尾の計30尾が山形県吹浦沖と秋田県象潟沖で再捕された。
- 1-(4) 5年魚までの耳石分析が終了した北海道太平洋岸3河川、22標識群について、沿岸水温が4～8℃の頃に2g前後で放流したもので回帰率が高い傾向が見られた。
- 2-(1) 本州域のふ化場において、収入に占める県稚魚買上げ代等の割合は、太平洋側5か所のうち3か所、日本海側6か所中のうち5か所が50%以上を占めていた。支出に占める親魚捕獲費の割合は最大で40%、ふ化場管理費は60～100%であった。支出に占める人件費の割合をみると5～61%であった。黒字のふ化場は11ヶ所中3ヶ所、赤字のふ化場は6ヶ所であった。赤字は、ヤマメやイワナの放流・遊漁料収入や漁協の購買事業収入により補填されていた。収入規模が小さいふ化場においては、年齢層が高年齢化していた。漁協から、後継者確保のために周年雇用できる就業形態が必要であること、季節雇用ではなく正職員として雇用すること後継者対策につながる、との意見が寄せられた。多くのふ化場では、さけ学習教室、地域の季節的イベント、神事・祭事、等を実施していた。
- 2-(2)-① 人工水路の掘削工事などにより大規模な発眼卵放流手法を開発した。直まき放流による発眼卵放流群の生残率は庄川ふ化場における発眼卵から浮上稚魚までの生残率と概ね等しく、その生産効率率は極めて高いと考えられた。庄川での放流総数(約630万尾)の2割を発眼卵放流とする場合、飼育期間は従来と比べて29日間短縮、電気・餌代は従来と比べて約8割に削減出来ると試算された。
- 2-(2)-② サクラマス2019年埋設放流群の追跡調査において、黒川では発眼卵放流由来は0.01～0.44尾/m²、稚魚放流由来は0.02～0.18尾/m²であった。一方、井田川において標識魚は採捕されず、埋設放流には適していないと考えられた。放流に要したコストは、対照区(全額稚魚購入費)の方が発眼卵放流試験区に比べ3.7倍高かった。
- 3-(1) 2020年7月に第1回検討会を、2021年2月に第2回検討会を開催した。第1回目は調査計画の説明と検討を、第2回目は調査結果の報告と検討を行った。
- 3-(2) 新型コロナウイルス感染症対策として、講演の代替措置として、演者からの資料や動画に加え、機構宮古庁舎において耳石採取動画撮影を行い、技術普及部会資料として編纂し、関係機関に配布した。演目は、「北海道日高地方の親魚捕獲について「ウライ方式からの転換」」、「サケとサクラマスの親魚から放流まで」、「サケ稚魚の遊泳力強化方法の検討」、「岩手県の捕獲採卵方法の紹介」、「親魚耳石採取作業の手順」とした。

報告書とりまとめ担当:

福若雅章 (水産研究・教育機構水産資源研究所さけます部門資源生態部)