

シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業

遠藤 赳寛

目 的

本県内水面漁業の重要資源であるヤマトシジミの持続的漁業生産に向けた資源管理手法として、大型種苗生産技術と放流手法の開発を進めている（図 1）。事業最終年度となる 2023 年度は、冬期の閉鎖循環飼育にかかる電力コスト、春から秋の中間育成における種苗生産能力、放流サイズ、及び種苗生産にかかる総コストを検討し、マニュアルとして取りまとめた。



図 1. ヤマトシジミ大型種苗生産体制

材料と方法

1. 冬期の稚貝管理方法の検討

冬期の加温閉鎖循環稚貝管理における管理水温について、電力コストの面から検討するため、閉鎖循環システムを 28℃ 及び 20℃ で運用した際の消費電力量の実測値を比較した。なお、種苗の成長は温度に依存し、従来は 28℃ での管理を念頭に技術開発してきたが、松谷（2020）¹⁾により 20℃ で管理した場合においても十分に成長することを確認している。

実際に種苗を管理している水温 28℃ 及び 20℃ の加温閉鎖循環飼育システム（図 2）²⁾について、2023 年 2 月 2 日から 2023 年 4 月 6 日までの 60 日間、循環用の水中ポンプ、給餌用の定量ポンプ及びサーモヒーターの積算消費電力量を記録した。積算電力量の測定にはワットチェッカー（ELPA、EC-03EB）を使用し、平日は原則毎日記録した。また、休日等で記録できなかった日については前後の積算消費電力量の測定値から推定してデータを補完した。

本試験のうち 2023 年 2 月 2 日から 2023 年 3 月 31 日については 2022 年度の閉鎖循環飼育試験の試験区を対象に実施し、4 月 1 日以降は本試験のために条件を変えずに種苗の管理を継続した。従って、詳細な運用条件は遠藤（2023）²⁾に記載のとおりである。

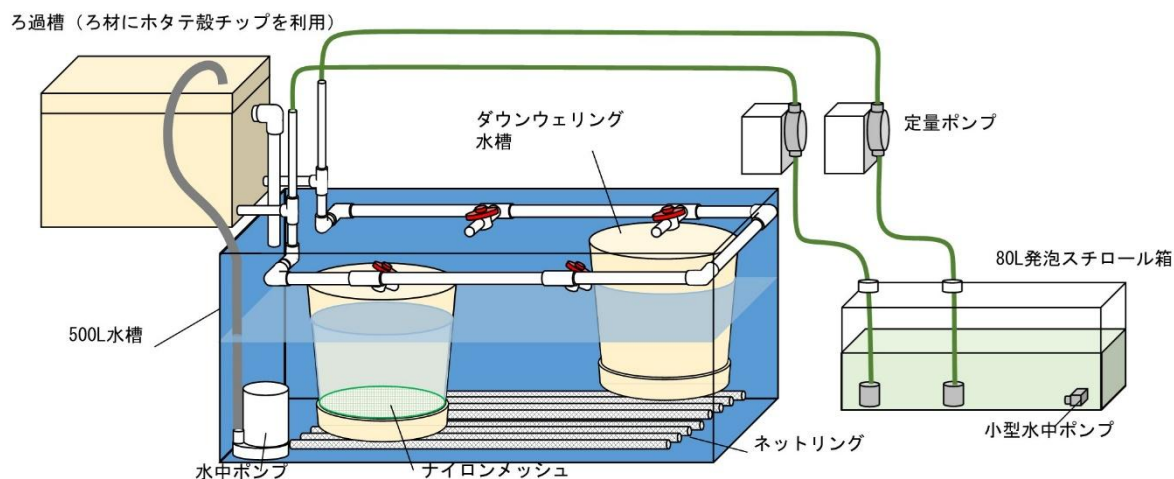


図 2. 試験に使用した閉鎖循環飼育システム (連続給餌ありの場合)

2. 春から秋の中間育成技術開発

遠藤 (2023) で開発した籠垂下式の間育成施設 (図 3) ³⁾ における適切な稚貝管理数を検討するため、小川原湖に接続する姉沼 (図 4) において、収容密度別に稚貝を管理し、成績を比較した。

塩ビ管とスタイロフォームで製作した 1.2m 四方の筏から 3 つの蓄養籠を水深約 10cm の位置に垂下し、それぞれに平均殻長 3.0 mm の稚貝を 1,000、2,000 及び 4,000 個体収容して中間育成した。試験には 2022 年に小川原湖産の親貝から種苗生産し、内水研で育成した稚貝を使用した。蓄養籠の内側には遠藤 (2023) ³⁾ に準じて稚貝が散逸しないようにナイロンメッシュ及びトリカルネットを張り、基質として砂 2L を入れた。試験は 2023 年 5 月 17 日から 2023 年 9 月 26 日まで実施した。



図 3. 使用した筏 (試験は籠 3 つで実施)



図 4. 中間育成試験実施地点

生残と成長の確認は月に 1 回実施した。測定はふるい (目開き 6.5mm、4.0mm、2.8mm、2.0mm 及び 1.4mm) を用いて稚貝を 4 つのサイズ階級 (6.5mm 残、4.0mm 残、2.8mm 残、2.0mm 残及び 1.4mm 残) に分け、階級毎に実施した。各サイズ階級について生残数を確認した後、無作為に選んだ 100 個体 (100 個体以下の場合全数) の殻長をデジタルノギスで測定し、サイズ階級毎の平均殻長を求めた。また、試験区全体の平均殻長を以下により求めた。

$$\text{試験区全体の平均殻長} = \frac{6.5\text{mm残の平均殻長} \times \text{生残数} + 4.0\text{mm残の平均殻長} \times \text{生残数} + \dots + 1.4\text{mm残の平均殻長} \times \text{生残数}}{6.5\text{mm残の生残数} + 4.0\text{mm残の生残数} + \dots + 1.4\text{mm残の生残数}}$$

試験期間中は水質計（YSI、Pro30 及び東亜 DKK、MM-42DP）により水温、pH 及び溶存酸素量を適宜記録した。

3. 放流後の大型種苗の成長及び生残確認

2022 年度までの中間育成試験では目標放流サイズを殻長 10 mm として、主に殻長 10 mm 以上で放流した場合の健苗性等を検討し、問題が無いことを確認してきた³⁻⁴⁾。2023 年度は殻長 10 mm より小型の種苗を放流した場合の成長及び生残を確認するため、新たに殻長 8 mm 程度の種苗を対象に標識放流試験を実施した。

2022 年の中間育成試験で得た平均殻長 9.9mm 及び 7.9mm の人工種苗（以下、10 mm 放流群及び 8 mm 放流群）各 160 個体について、ハンドルーターで殻に標識を施し、2022 年 10 月 4 日に小川原湖タカトリ地区の湖底に埋設した野菜籠（535mm × 370mm × 305mm）に収容した。なお、試験中に籠が流されて紛失するリスクを分散するため野菜籠は 2 つ使用し、各籠に人工種苗と天然個体を 80 個体ずつ混ぜて収容した。籠は湖底から約 10cm 露出するように埋設し、上面には収容した稚貝の散逸を低減するため目合い 10 mm のトリカルネットを被せた。

2023 年 10 月 3 日に野菜籠を回収し、殻長及び重量を測定した。なお、結果的に籠の紛失はなく、各解析は 2 つの籠の個体をプールして実施した。

4. 種苗生産コストの検討

長崎（2022）⁵⁾ 及び 2019～2023 年度の本事業の結果^{1-4,6,7)}を基に、各システムの運用に要する電気代、人件費、餌代、種苗生産能力及び放流後の生残率を試算し、最終的に種苗生産によって漁獲サイズのヤマトシジミ 1 個体を得るのに要するコストを求めた。

5. 種苗生産マニュアルの作成

2019～2023 年度の本事業の結果^{1-4,6,7)}をもとに、稚貝の越冬方法、中間育成方法及び放流方法をマニュアル化した。

結果と考察

1. 冬期の稚貝管理方法の検討

試験期間における 28℃ 及び 20℃ に加温した場合の閉鎖循環飼育システム全体の消費電力量は図 5 のようになった。

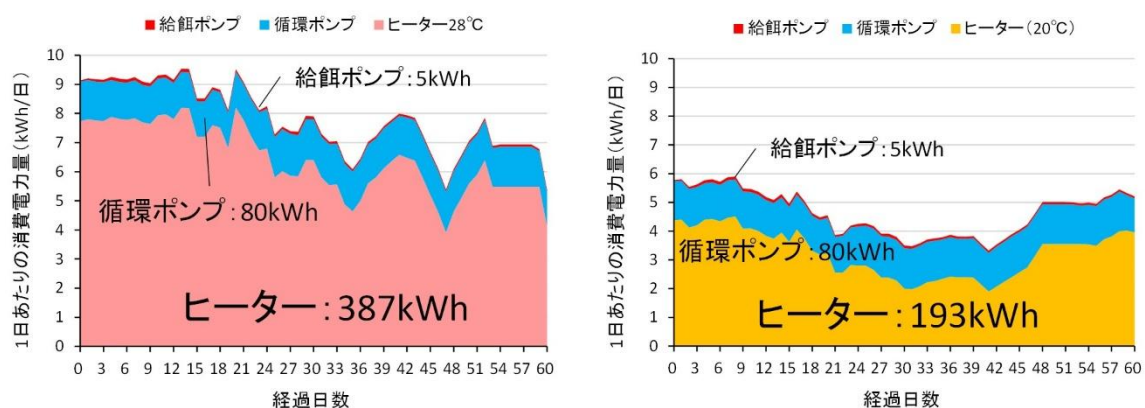


図 5. 水温 28℃（左）及び 20℃（右）の閉鎖循環飼育における 2 か月間の総消費電力量

60 日間の消費電力量の内訳は、循環用の水中ポンプが 80kWh、給餌用の定量ポンプが 5kWh、サーモヒーターが 28℃管理の場合で 387kWh、20℃の場合で 193kWh だった。2023 年 12 月現在の東北電力における電気代 36.46 円/kWh を基に、各水温で閉鎖循環飼育システムを 2 か月間運用した場合の電気代は、28℃管理の場合で 17,209 円、20℃管理の場合で 10,136 円となった。運用にかかる電力コストの大部分が加温によるもので、管理温度を 20℃に抑えることによって電気代を 41%削減できることを確認した。

2. 春から秋の中間育成技術開発

姉沼における試験期間中の水温、pH 及び溶存酸素量は図 6～8 のように推移した。

観測はいずれも日中に実施し、水温は 19.1～33.7℃、pH は 7.99～10.43、溶存酸素量は 4.3～検出限界の 22.0mg/L (55～220%) の範囲で推移した。特に溶存酸素量は 8 月中旬から下旬にかけて検出限界に達する極めて高い値を頻繁に記録した。2023 年 8 月の姉沼ではアオコの大量発生が確認されており (図 9)、日中は大量のアオコによる光合成で溶存酸素量が著しく上昇していたものと推察された。

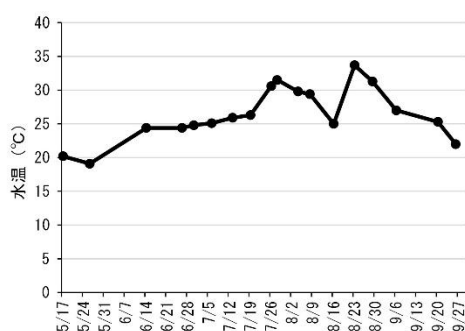


図 6. 中間育成試験における水温の推移

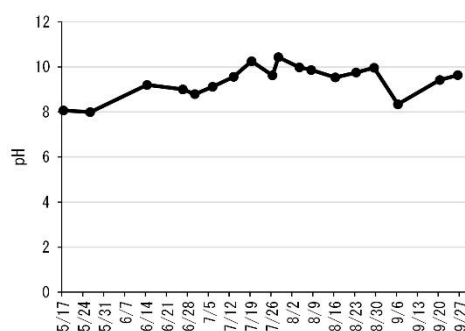


図 7. 中間育成試験における pH の推移

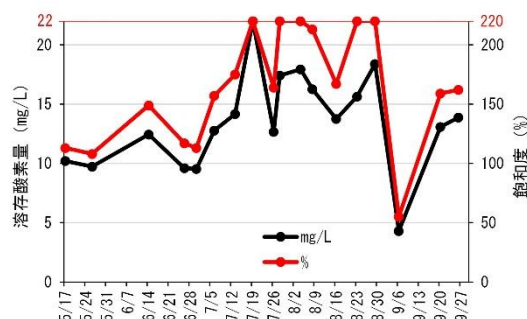


図 8. 中間育成試験における溶存酸素量の推移



図 9. 姉沼で発生したアオコ

各収容数における月別、サイズ階級別の平均殻長、生残率及び総重量は表 1 のようになった。また、各試験区の平均殻長及び生残率は図 10 のように推移した。

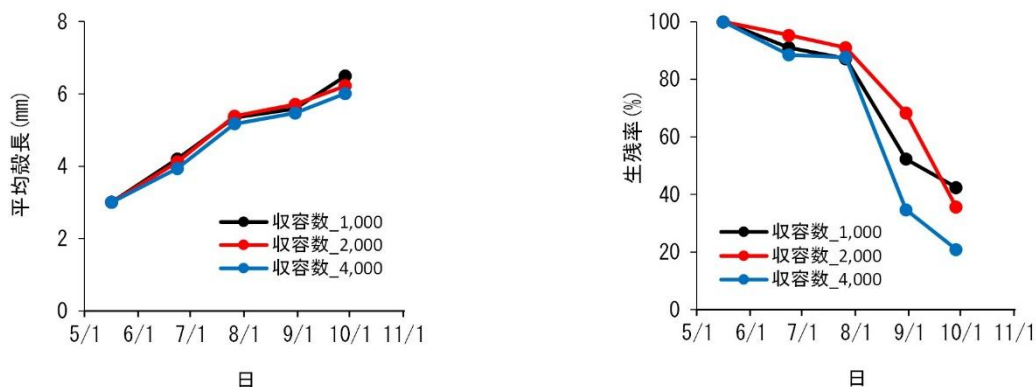


図 10. 中間育成試験における平均殻長 (左) 及び生残率 (右) の推移

表 1. 中間育成試験における収容数別月別サイズ階級別の生残数、総重量及び平均殻長

収容数 1,000個体																		
測定日	1.4mm残			2.0mm残			2.8mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)
5月16日	2.60±0.27	570	2.74	3.54±0.35	430	5.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00±0.31	1,000	7.98
6月23日	2.70±0.23	101	0.68	3.68±0.42	414	6.01	4.96±0.53	356	11.60	6.57±0.48	39	2.80	-	-	-	4.20±0.46	910	21.09
7月26日	3.15±0.43	31	0.25	3.73±0.40	183	2.77	5.07±0.56	413	14.98	7.22±0.85	237	23.24	9.83±0.63	8	1.90	5.35±0.62	872	43.14
8月30日	2.82±0.11	3	0.02	3.85±0.51	100	1.42	5.09±0.66	238	8.89	7.08±0.73	172	16.08	9.87±0.58	10	2.30	5.59±0.65	523	28.71
9月28日	2.78±0.14	3	0.01	3.71±0.32	45	0.65	5.17±0.50	135	4.75	7.40±0.95	210	21.53	10.54±0.99	31	9.03	6.49±0.78	424	35.97
収容数 2,000個体																		
測定日	1.4mm残			2.0mm残			2.8mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)
5月16日	2.60±0.27	1,140	5.46	3.54±0.35	860	10.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00±0.31	2,000	15.92
6月23日	2.62±0.24	327	2.11	3.57±0.43	793	11.49	4.96±0.46	622	20.73	6.52±0.50	163	11.59	-	-	-	4.12±0.42	1,905	45.92
7月26日	2.93±0.25	88	0.59	3.76±0.42	482	7.10	5.10±0.60	712	26.07	7.42±0.96	502	52.00	10.26±0.53	35	8.48	5.38±0.67	1,819	94.24
8月30日	3.06±0.21	5	0.03	3.78±0.40	332	4.95	5.14±0.52	556	19.49	7.51±1.06	430	39.51	10.06±0.55	43	10.13	5.71±0.71	1,366	74.11
9月28日	2.86±0.15	18	0.12	3.70±0.32	99	1.42	5.20±0.51	261	9.20	7.33±1.03	270	28.29	10.61±0.90	63	18.58	6.22±0.76	711	57.61
収容数 4,000個体																		
測定日	1.4mm残			2.0mm残			2.8mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)
5月16日	2.60±0.27	2,280	10.95	3.54±0.35	1,720	20.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.00±0.31	4,000	31.80
6月23日	2.63±0.23	568	3.87	3.68±0.38	1,699	27.65	4.85±0.47	1,273	42.01	-	-	-	-	-	-	3.93±0.40	3,540	73.53
7月26日	2.67±0.30	155	0.94	3.68±0.39	900	12.99	5.29±0.53	1,625	56.77	7.03±0.78	822	69.97	9.59±0.22	2	0.18	5.17±0.56	3,504	140.85
8月30日	2.76±0.26	12	0.10	3.88±0.45	292	4.12	5.23±0.58	654	24.56	7.00±0.71	427	37.89	8.75	1	0.14	5.47±0.60	1,386	66.81
9月28日	2.67±0.35	3	0.01	3.64±0.36	89	1.20	5.02±0.58	339	11.50	7.33±0.89	393	40.18	10.00±0.43	10	2.28	6.01±0.73	834	55.17

試験終了時の平均殻長は収容数 1,000 個体で 6.5mm、収容数 2,000 個体で 6.2mm、収容数 4,000 個体で 6.0mm だった。また、生残率は収容数 1,000 個体で 42.4%、収容数 2,000 個体で 35.6%、収容数 4,000 個体で 20.9%だった。

成長、生残ともに収容数が少ない方が最終的な結果は良かったものの、全体的に過年度の姉沼における中間育成試験と比較して成績が著しく悪かった。遠藤（2023）³⁾では中間育成開始時の平均殻長が 3.6mm とやや大きいものの、今回と同様の施設で収容数 1,000 個体、育成期間 5 月 18 日から 10 月 28 日の条件において、試験終了時の平均殻長が 8.9mm、生残率が 91%だった。また、遠藤（2022）⁶⁾では平均殻長 3.8mm、収容数 1,500 個体、育成期間 5 月 14 日から 9 月 9 日の条件において、試験終了時の平均殻長が 7.7mm、生残率が 85%だった。

本試験ではいずれの収容数においても 7 月までは 80%以上の高い生残率を維持していたものの、8 月以降に著しく低下した。また、7 月から 8 月の測定までの期間はいずれの収容数においても成長が停滞しており、これらは日中の溶存酸素量が著しく高くなった時期と対応している。日中に光合成をしたアオコ等の植物は夜間になると呼吸に転じ、酸素を消費することから、8 月中～下旬の姉沼は夜間に著しい貧酸素に曝されていたと考えられ、シジミの成長、生残に影響した可能性がある。

本試験の結果のみをもって、開発した中間育成施設における最適な収容数を決定することはできないものの、遠藤（2023）³⁾の結果を踏まえると、環境条件が著しく悪い場合を除き、少なくとも 1,000 個体程度は管理可能であると考えられた。

2019～2023 年度にかけて実施した一連の中間育成試験の結果^{1,3,4,6)}から、稚貝の成長及び生産は環境条件により制限されることが示唆された。近年富栄養化が顕在化し、特に夏季に水質悪化が目立つ小川原湖周辺水域においては、適宜水質をモニタリングし、斃死が懸念される状況となった場合には育成期間を短縮して早期に放流するなど、柔軟な管理スケジュールをとることが望ましい。

3. 放流後の大型種苗の成長及び生残確認

2022 年に放流した 10 mm放流区及び 8 mm放流区の個体について、生残個体及び死殻を籠ごと回収した（表 2）。なお、両群とも籠外へ稚貝の散逸があり全数の回収はできず、回収率は 10 mm放流区で 47.5%、8 mm放流区で 30.6%だった。回収率は 8 mm放流群で有意に低く（chi-square test、 $p<0.01$ ）、これは殻長が小さいことにより籠外に抜けやすかったことによると考えられた。

回収個体に占める生残個体の割合を 2 群間で比較したところ、有意な差は無かった（chi-square test、 $p>0.05$ 、図 11）。また、試験終了時の平均殻長は 10 mm放流区が 19.6mm、8 mm放流区が 18.7mm で、10 mm放流区が有意に大きかったが（Student t-test、 $p<0.01$ 、図 12）、両群ともに放流から 1 年で漁獲の目安となる殻長 18.5mm に達し、放流後の成長は良好だった。

2 群間で回収率に差が出たものの、回収できた個体に基づく試験結果から、籠外に散逸した未回収個体においても同等に成長、生残しているとすると、殻長 8 mmで放流した場合においても十分な成長、生残が期待できると考えられた。

表 2. 標識放流試験における放流・回収時の平均殻長、生残数、死殻数、生残率及び回収率

測定日	8mm放流区					10mm放流区				
	平均殻長 ±SD (mm)	生残数 (個)	死殻数 (個)	生残率 (%)	回収率 (%)	平均殻長 ±SD (mm)	生残数 (個)	死殻数 (個)	生残率 (%)	回収率 (%)
2022/10/3	7.93±0.29	160	—	—	—	9.88±0.29	160	—	—	—
2023/10/3	18.69±1.54	47	2	95.9	30.6	19.62±1.49	73	3	96.1	47.5

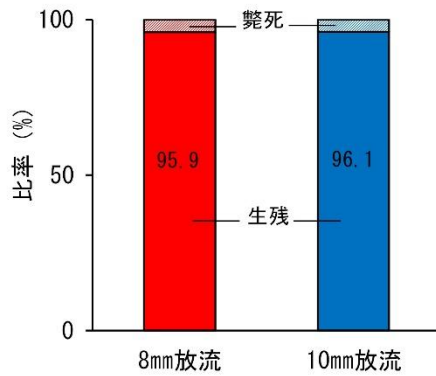


図 11. 標識放流試験において回収された個体に占める生残/斃死の比率

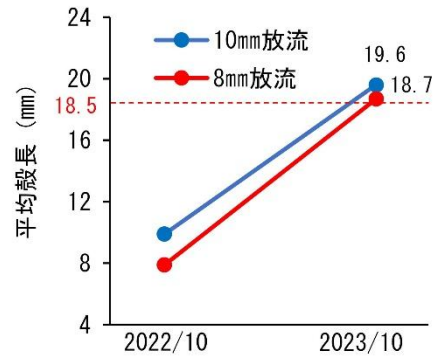


図 12. 標識放流試験における平均殻長の推移



図 13. 10 mm放流区 (左) と 8 mm放流区 (右) の放流前と回収後の比較 (各群から平均殻長に相当する 1 個体を抽出)

4. 種苗生産コストの検討

2023 年 12 月現在の種苗生産から放流までの各段階における生産コストは表 3 のようになった。最終的に漁獲サイズのヤマトシジミ 1 個体を得るのに要するコストは、春から秋の中間育成にかけ流し式中間育成を採用した場合で 2.18 円、垂下式中間育成を採用した場合で 1.07 円と試算された。

表 3. 種苗生産の各段階で必要な経費の積算

管理期間 (月)	管理方法 (×1システム)	種苗殻長 (mm)	生産能力 (個体)	電気代 (円/月)	餌代 (円/月)	人件費 (円/月)	1月あたり 総コスト (円/月)	1シーズンあたり 総コスト (円)	1個体あたり 生産コスト (円/個体)
8-11	閉鎖循環システム（無加温）	-1	120万	1,545	2,249	8,980	12,774	51,096	0.04
12-4	閉鎖循環システム（20℃加温）	-3	10万	5,068	2,249	8,980	16,297	81,485	0.81
5-9	かけ流し式中間育成システム	8-10	3万	5,338	-	-	5,338	26,690	0.89
5-9	垂下式中間育成システム	8-10	0.5万	-	-	-	-	-	-
10-翌10	放流	18.5-	(80%生残)	-	-	-	-	-	-
合計（かけ流し式中間育成の場合）			2.4万	11,951	4,498	17,960	34,409	159,271	2.18
合計（垂下式中間育成の場合）			0.4万	6,613	4,498	17,960	29,071	132,581	1.07

電気代：東北電力の電気料単価36.46円/kWh、閉鎖循環飼育における1月あたり消費電力量42.5kWh (無加温)・139kWh (20℃加温)、かけ流し式中間育成システムの1月あたりポンプ消費電力量146.4kWhとして計算

餌代：ダウンウェリング水槽1基1日あたりの給餌量を270ml (冷凍ナンノ6.75ml、ヨーグルト10.8g)、原料価格 (税込) を冷凍ナンノ18150円/8kg、ヨーグルト127円/400gとして計算

人件費：小川原湖漁協の運用状況を参考に1システムあたり1/3人、1日の作業時間を3時間、青森県最低賃金を898円/hとして計算

※いずれも2023年12月現在の水準による

小川原湖における主要な出荷サイズである L サイズのヤマトシジミ 1kg あたりの個体数は、2023 年に購入した漁獲物を対象に重量法で推定したところ、285.7 個体だった。また、小川原湖漁協からの聞き取りを基に算出した 2019～2023 年の L サイズの 5 か年平均単価は 705.0 円/kg だったことから、2023 年時点で L サイズ 1 個体あたりの市場価格はおよそ 2.47 円と試算された。

開発したシステムの生産能力を十分に活用することができた場合、種苗生産により漁獲サイズのシジミ 1 個体を得るコストは 2023 年現在の市場価格を下回ることが期待され、実用的なコストで運用可能と思われた。一方で、天然水域における種苗の成長や生残は環境依存のため、条件によっては期待される種苗生産能力や放流後の生残率が得られないことが想定される。試験結果の再現性については引き続き複数年にわたり検討を重ねるとともに、社会実装に際しては実際の運用コストや市場価格等の状況を踏まえながら段階的に導入することが好ましい。

5. 種苗生産マニュアルの作成

「ヤマトシジミ種苗生産マニュアル 3 — 天然水域での中間育成で大型種苗をつくる —」を作成し、2024 年 3 月 27 日に内水面研究所ホームページで公開した⁸⁾。

文 献

- 1) 松谷紀明 (2022) シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業。2019・2020 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 60-66.
- 2) 遠藤赳寛 (2023) シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業 (稚貝越冬方法の開発)。2022 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 36-42.
- 3) 遠藤赳寛 (2023) シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業 (春から秋の中間育成技術開発)。2022 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 31-35.
- 4) 遠藤赳寛 (2023) シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業 (春から秋の中間育成技術開発)。2021 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 30-37.
- 5) 長崎勝康 (2022) シジミ安定生産のための資源管理手法の開発事業 (閉鎖循環システムによるヤマトシジミ種苗生産 2)。平成 30 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 23-27.
- 6) 遠藤赳寛 (2022) シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業 (春から秋の中間育成技術開発)。2019・2020 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 67-74.
- 7) 遠藤赳寛 (2023) シジミの大型種苗生産技術と放流手法の開発事業 (稚貝越冬方法の開発)。2021 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 38-41.
- 8) 地方独立行政法人青森県産業技術センター内水面研究所 (2024) ヤマトシジミ種苗生産マニュアル 3 — 天然水域での中間育成で大型種苗をつくる —。 https://www.aomori-itc.or.jp/_files/00199162/corbicula_japonica_seedling_production_manual_3.pdf, (参照 2024 年 11 月 11 日)。

謝 辞

本事業にご協力いただきました小川原湖漁業協同組合の皆様に感謝申し上げます。