

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)
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(以下シジミ)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。ここでは春から秋期の中間育成手法について検討した。

材料と方法

1. かけ流し式中間育成試験

天然水かけ流し式の中間育成において、シジミ稚貝の収容数及び水域の違いが成長と生残に与える影響を検証するため、内水面研究所調整池(以下調整池)及び小川原湖において以下の試験を実施した。

(1) 調整池

2019年に内水面研究所で種苗生産したシジミ稚貝を使用し、2020年4月23日～9月17日の間、調整池の水をかけ流して稚貝を中間育成した。池の横に設置した500L水槽(122×74×53cm)内に、目開き500μmのナイロンメッシュを張ったアップウェリング容器(上部内径37cm・底部内径33cm・高さ30cm、田中三次郎商店)を入れ、その中に平均殻長2.55mmの稚貝を収容した(図1、2)。アップウェリング容器は3つ設置し、それぞれの試験区を調整池1,000(収容数1,000個)、調整池4,000(収容数4,000個)及び調整池9,000(収容数9,000個)とした。水中ポンプ(工

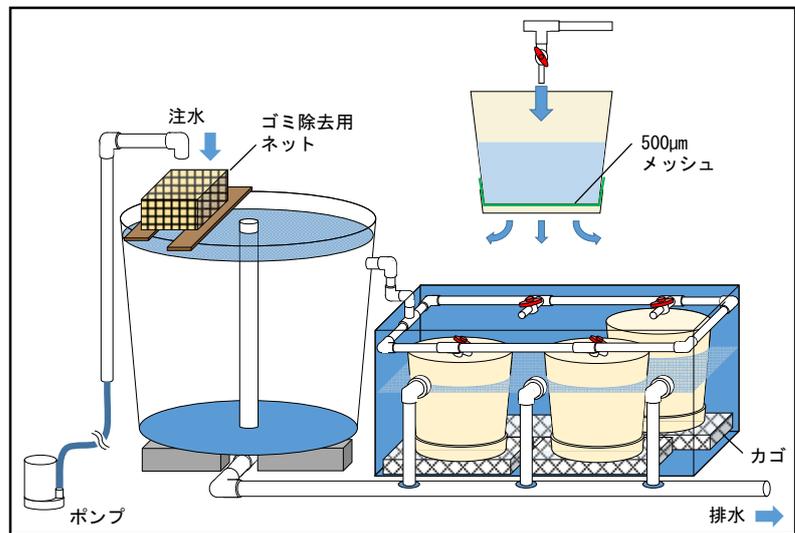


図1. 内水面研究所に設置したかけ流し水槽の模式図

進、PSK-53210A)で池から貯水タンクに汲み上げた水を各容器におよそ180L/時でかけ流した。容器内の水深は約24cmになるよう調整した。試験期間中は容器内に藻類が繁茂するのを抑制するため、水槽を蓋で覆い遮光した。

各試験区について、およそ1か月ごとに生残数及び平均殻長を測定した。シジミは成長の個体差が著しく、試験の進行に伴い小さい個体が目立たなくなるため、母集団から直接標本抽出するとサンプリングバイアスがかかりやすい。従って、測定はふるい(目開き6.5mm、4.0mm、3.3mm、2.0mm及び1.5mm)を用いて稚貝を5つのサイズ階級(6.5mm残、4.0mm残、3.3mm残、2.0mm残及び1.5mm残)に分け、階級毎に実施した。各階級について生残数を確認し、無作為に選んだ100個体の殻長を測定して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。

$$\text{試験区全体の平均殻長} = \frac{6.5\text{mm残の平均殻長} \times \text{生残数} + 4.0\text{mm残の平均殻長} \times \text{生残数} + \dots + 1.5\text{mm残の平均殻長} \times \text{生残数}}{6.5\text{mm残の生残数} + 4.0\text{mm残の生残数} + \dots + 1.5\text{mm残の生残数}}$$

殻長は5月までは顕微鏡写真から cellSens Standard 1.16 (オリンパス) を用いて測定し、6月以降はデジタルノギスを用いて測定した。測定後は斃死した貝を取り除き、再び各サイズ階級を混ぜて元の容器に収容した。

試験期間中は水槽に水温ロガー(Onset、UTBI-001)を設置し、1時間毎の水温を記録した。また、およそ週に1回の頻

度で溶存酸素量及び pH を測定した。

なお、飼育容器の目詰まりを防ぐため、毎月測定にあわせて貯水タンク、水槽、容器及びメッシュの付着物を除去した他、配管が詰まって断水するのを防ぐため適宜分解、清掃した。

(2) 小川原湖

2019年に種苗生産した稚貝を使用して、2020年4月23日～9月15日の間、小川原湖の湖水をかけ流して稚貝を飼育した。小川原湖漁協横に75L水槽を設置し、目開き500 μ mのナイロンメッシュを張ったアップウェリング容器に平均殻長2.55mmの稚貝1,000個を収容した1試験区を設け、漁協の常設ポンプで汲み上げた湖水をおよそ180L/時でかけ流した(図2)。試験期間中は容器内で藻類が繁茂するのを抑制するため、黒い布で水槽を覆って遮光した。

生残数、殻長、水温、溶存酸素量、pH及び塩分濃度の測定は(1)と同様の方法、頻度で実施した。

なお、飼育容器の目詰まりを防ぐため、毎月測定にあわせて貯水タンク、水槽、容器及びメッシュの付着物を除去した他、配管が詰まって断水するのを防ぐため適宜分解、清掃した。



図2. 調整池(上)及び小川原湖漁協(下)に設置したかけ流式中間育成水槽

2. 浮きカゴ式中間育成試験

2019年に内水面研究所で種苗生産したシジミ稚貝を使用し、2020年5月14日～9月9日の間、調整池、小川原湖漁協横のコンクリート水槽(以下コンクリート水槽)、小川原湖内タカトリ地区(以下タカトリ)、内沼及び姉沼の5地点に浮きカゴを設置して中間育成試験を行った(図3)。

試験には図4の浮きカゴ5つを使用した。浮きカゴは蓄養カゴ(26×43×13cm)を塩ビパイプで組んだフレームに結束バンドで固定し、EVAフロート4つを取り付けたもので、同時に2つのカゴを使用できる構造とした。なお、本試験では片方のカゴのみを使用した。カゴ内に目開き500 μ mのナイロンメッシュを敷き、砂2Lと平均殻長3.76mmのシジミ稚貝1,500個を収容して各試験区に設置した。

各試験区に設置する際、カゴが流れないように湖底に杭2本を打ってロープで固定し

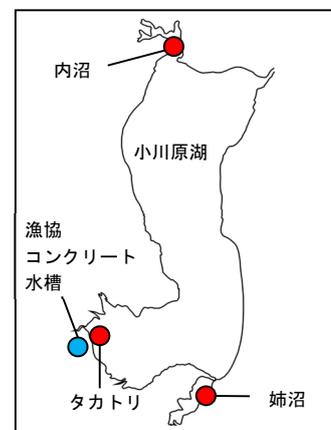


図3. 小川原湖水域における浮きカゴ式中間育成試験実施地点



図4. 試験に使用した浮きカゴ

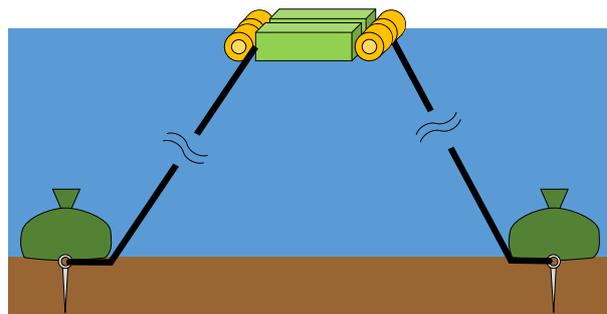


図5. カゴ固定方法模式図

た (図 5)。杭の上には土嚢を乗せ、波浪で抜けないようにした。

各試験区について、8月と試験完了時に生残数及び平均殻長を測定した。測定はふるい (目開き 6.5mm、4.0mm 及び 2.0mm) を用いて稚貝を 3つのサイズ階級 (6.5mm 残、4.0mm 残及び 2.0mm 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 (1) と同様の方法で求めた。

カゴには水温ロガー (Onset、UTBI-001) を設置し、1 時間毎の水温を記録した。

結果

1. かけ流し式中間育成試験

各試験区における月別、サイズ階級別の平均殻長、生残数及び総重量は表 1 のようになった。

試験終了時の平均殻長は、調整池 1,000 が 8.95mm、調整池 4,000 が 8.04mm、調整池 9,000 が 6.89mm、小川原湖が 5.32mm であった。調整池においては試験開始から終了まで一貫して、収容数が少ない試験区ほど平均殻長が大きく、小川原湖の試験区の平均殻長は調整池の 3 試験区より低調に推移した (図 6)。

また、試験終了時における各試験区の殻長組成について、サイズ階級毎に標本の殻長組成を生残数で引き延ばし、合成して求めた (図 7)。殻長 10 mm 以上を基準に大型個体の数に着目すると、小川原湖で 0 個、調整池 1,000 で 273 個 (全体の 33.1%)、調整池 4,000 で 694 個 (22.3%)、調整池 9,000 で 649 個 (9.9%) であった。

試験終了時の生残率は調整池 1,000 が 82.4%、調整池 4,000 が 78.0%、調整池 9,000 が 72.7%、小川原湖が 91.3% であった。調整池においてはいずれの試験区も 8 月まで 90% 近い生残率を維持していたものの、9 月に急落した。小川原湖の試験区では試験開始から終了まで一貫して高い生残率を維持した (図 8)。

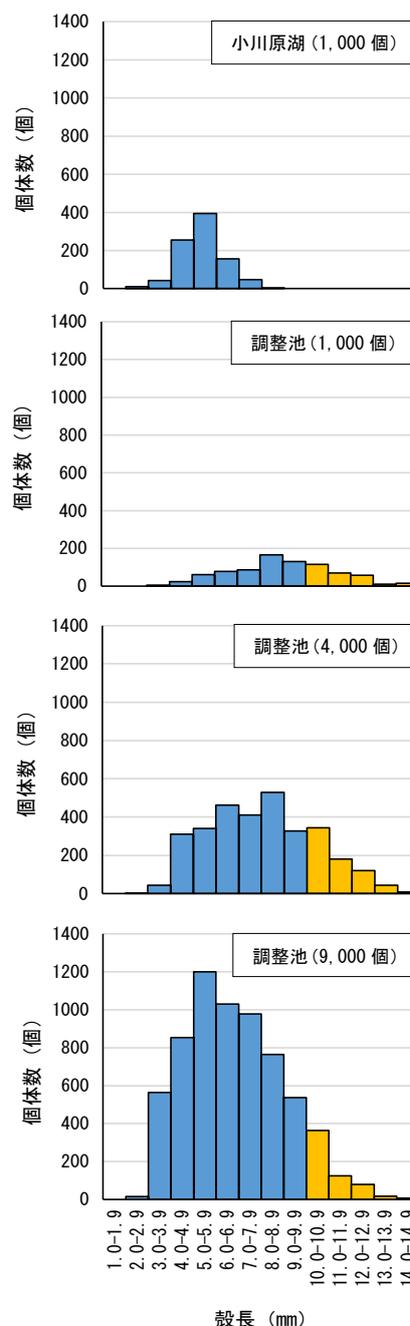


図 7. かけ流し試験終了時における各試験区の殻長組成

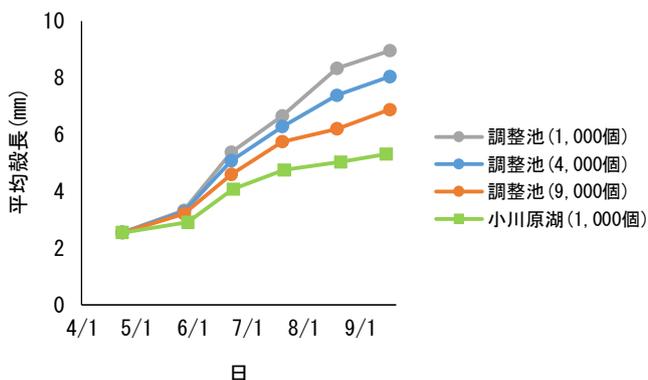


図 6. かけ流し試験における平均殻長の推移

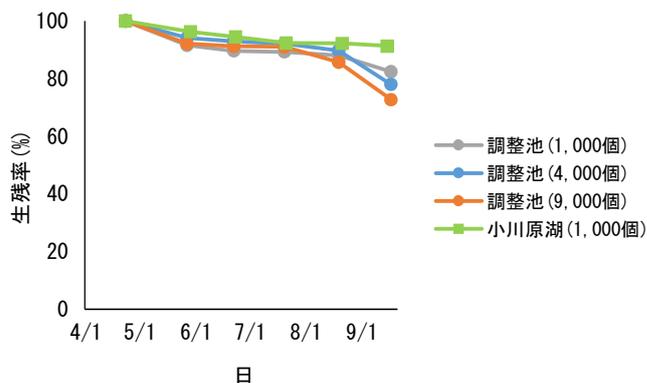


図 8. かけ流し試験における生残率の推移

表 1. かけ流し試験における月別サイズ階級別の生残数、総重量及び平均殻長

調整池(1,000個)																		
測定日	1.5mm残			2.0mm残			3.3mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)															
4月23日	2.55±0.22	1,000	5.79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.55±0.22	1,000	5.79	
5月27日	2.69±0.22	132	0.83	3.43±0.39	781	9.88	5.04±0.09	3	0.09	-	-	-	-	-	3.33±0.37	916	10.80	
6月22日	2.45±0.19	4	0.03	3.88±0.48	237	4.73	5.26±0.45	395	15.13	6.97±0.74	261	23.57	-	-	5.38±0.56	897	43.46	
7月20日	2.60±0.28	2	0.01	4.21±0.40	75	1.60	5.06±0.62	250	10.33	7.23±0.84	458	43.98	9.76±1.08	108	25.00	6.66±0.79	893	80.92
8月19日	-	-	-	4.25±0.43	31	0.68	5.51±0.41	134	5.90	7.69±0.89	409	46.23	10.83±1.48	307	96.46	8.33±1.08	881	149.27
9月17日	-	-	-	3.97±0.33	11	0.24	5.25±0.38	69	3.18	7.73±0.95	359	44.18	10.9±1.42	385	144.38	8.95±1.16	824	191.98

調整池(4,000個)																		
測定日	1.5mm残			2.0mm残			3.3mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)															
4月23日	2.55±0.22	4,000	23.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.55±0.22	4,000	23.08	
5月27日	2.84±0.23	1,110	7.71	3.46±0.39	2,648	32.81	4.91±0.19	7	0.20	-	-	-	-	-	3.28±0.35	3,765	40.72	
6月22日	2.63±0.27	58	0.35	4.00±0.42	1,363	26.65	5.21±0.55	1,636	64.98	7.18±0.80	658	58.65	-	-	5.08±0.56	3,715	150.63	
7月20日	2.54±0.24	12	0.11	3.94±0.48	617	13.53	5.42±0.45	1,121	48.18	7.27±0.89	1,734	173.19	9.85±0.77	202	47.69	6.28±0.71	3,686	282.70
8月19日	2.40±0.14	2	0.01	3.87±0.44	351	7.85	5.22±0.47	684	30.34	7.70±0.91	1,875	210.60	10.48±1.03	680	199.61	7.38±0.84	3,592	448.41
9月17日	-	-	-	4.36±0.39	225	5.21	5.30±0.38	460	21.34	7.77±1.02	1,577	196.55	10.99±1.14	857	294.37	8.04±0.96	3,119	517.47

調整池(9,000個)																		
測定日	1.5mm残			2.0mm残			3.3mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)															
4月23日	2.55±0.22	9,000	51.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.55±0.22	9,000	51.96	
5月27日	2.82±0.23	2,678	18.74	3.40±0.39	5,600	67.24	5.04±0.20	12	0.35	-	-	-	-	-	3.21±0.30	8,290	86.33	
6月22日	2.69±0.24	241	1.50	3.79±0.53	4,271	82.48	5.20±0.44	2,838	114.60	7.20±0.71	865	71.40	-	-	4.60±0.52	8,215	269.98	
7月20日	2.62±0.31	93	0.60	4.06±0.65	2,649	57.95	5.64±0.45	2,397	107.74	7.24±0.83	2,878	279.13	9.87±0.59	175	39.59	5.75±0.67	8,192	485.01
8月19日	2.39±0.17	16	0.08	3.70±0.49	1,365	27.24	5.00±0.41	1,921	84.61	6.94±0.92	3,591	385.15	10.03±1.06	820	223.48	6.20±0.77	7,713	720.56
9月17日	2.80±0.14	4	0.02	4.00±0.45	1,175	25.86	5.44±0.40	1,415	60.94	7.58±1.00	3,057	364.65	10.64±1.01	889	275.71	6.88±0.82	6,540	727.18

小川原湖(1,000個)																		
測定日	1.5mm残			2.0mm残			3.3mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)															
4月23日	2.55±0.22	1,000	5.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.55±0.22	1,000	5.76	
5月29日	2.78±0.22	732	4.43	3.30±0.28	231	1.25	-	-	-	-	-	-	-	-	2.91±0.24	963	5.68	
6月23日	2.44±0.26	47	0.25	3.89±0.53	706	13.32	5.14±0.34	183	3.55	6.13±0.26	9	0.51	-	-	4.08±0.48	945	17.63	
7月21日	2.52±0.20	23	0.12	4.17±0.59	422	9.45	5.18±0.42	409	16.28	6.52±0.36	70	4.61	-	-	4.75±0.50	924	30.46	
8月21日	2.66±0.17	12	0.06	4.48±0.51	434	11.03	5.35±0.32	338	14.77	6.24±0.37	138	9.65	-	-	5.03±0.43	922	35.51	
9月15日	2.42±0.26	5	0.02	4.13±0.44	206	4.53	5.30±0.38	493	20.71	6.59±0.45	209	15.40	-	-	5.31±0.41	913	40.66	

調整池及び小川原湖試験区の DO、pH、1 日の平均水温及び小川原湖の塩分は図 9 のように推移した。

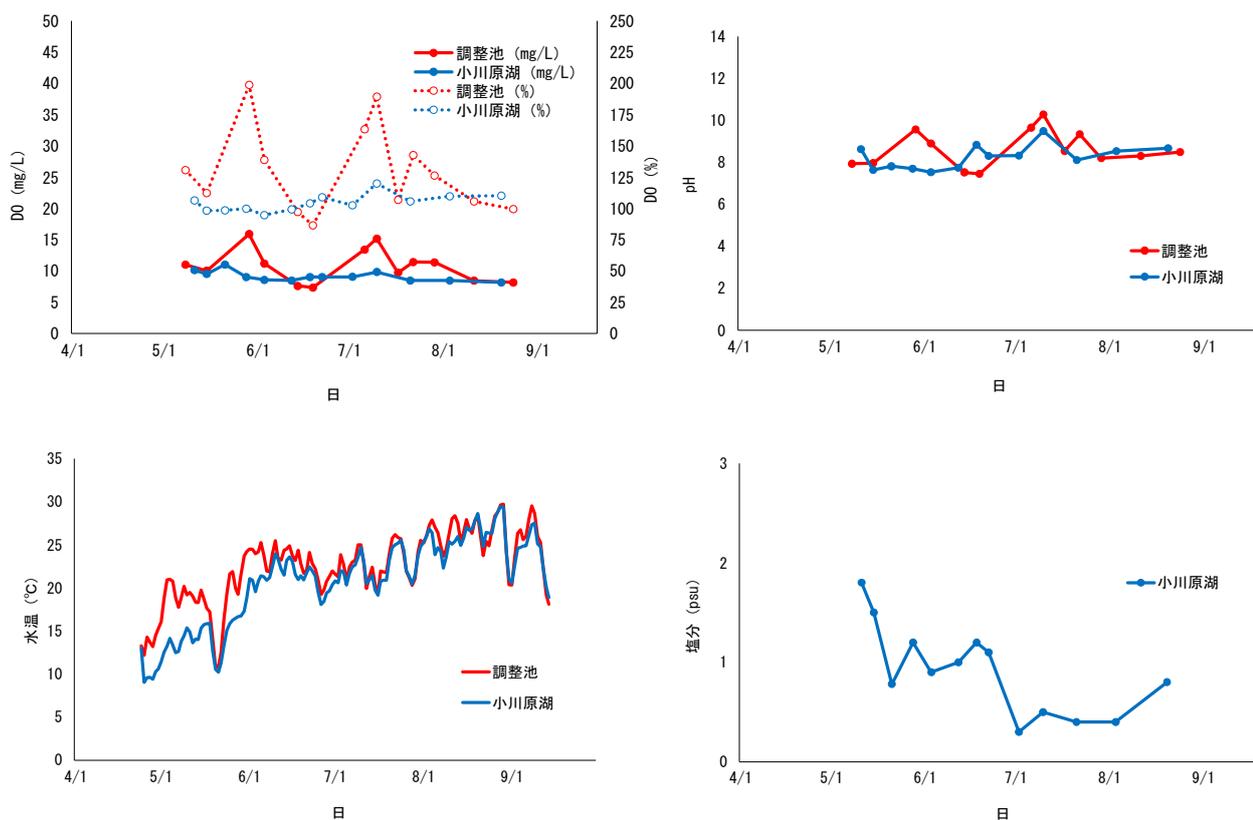


図 9. かけ流し試験における調整池及び小川原湖の水温、DO、pH、小川原湖の塩分の推移

2. 浮きカゴ式中間育成試験

各試験区における月別、サイズ階級別の平均殻長、生残数及び総重量は表 2 のようになった。

試験終了時の平均殻長は、調整池が 7.45mm、コンクリート水槽が 4.30mm、タカトリが 9.24mm、姉沼が 7.68mm、内沼が 8.71mm であった。コンクリート水槽を除く 4 試験区で好成長が見られ、タカトリと内沼で特に成長が良かった (図 10)。

試験終了時の生残率は調整池が 87.3%、コンクリート水槽が 86.5%、タカトリが 49.4%、姉沼が 85.1%、内沼が 35.0% であった。調整池、姉沼及びコンクリート水槽は 90% 近い生残率を維持した。タカトリは試験開始から 8 月にかけて半数近くが斃死又はカゴ外へ流失した。内沼では 8 月まで 80% 以上の高い生残率を維持したものの、9 月までの 1 ヶ月でおよそ 6 割の稚貝が斃死した (図 11)。

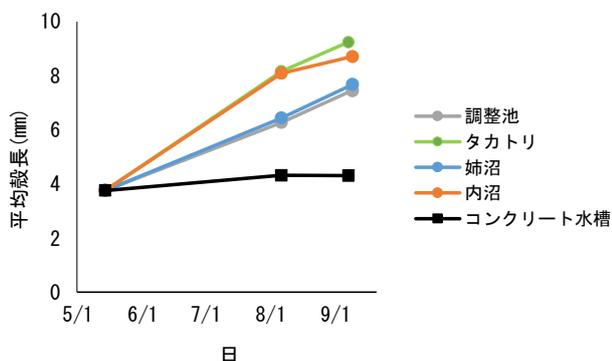


図 10. 浮きカゴ式試験における平均殻長の推移

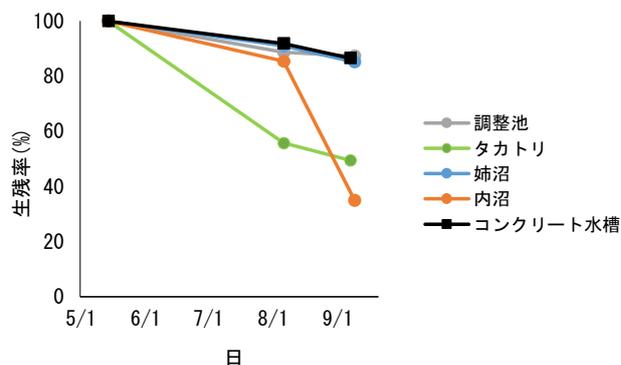


図 11. 浮きカゴ式試験における生残率の推移

表 2. 浮きカゴ式試験における月別サイズ別の生残数、総重量及び平均殻長

調整池(1,500個)												
測定日	2.0mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)									
5月14日	3.76±0.51	1,500	23.33	-	-	-	-	-	-	3.76±0.51	1,500	23.33
8月12日	4.46±0.62	653	22.08	7.29±0.90	515	54.86	10.30±1.11	162	45.62	6.27±0.81	1,330	122.56
9月9日	5.00±0.63	452	17.53	7.69±1.01	583	70.35	10.96±1.29	275	98.75	7.45±0.97	1,310	186.63

コンクリート水槽(1,500個)												
測定日	2.0mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)									
5月14日	3.76±0.51	1,500	23.38	-	-	-	-	-	-	3.76±0.51	1,500	23.38
8月11日	3.96±0.78	1,212	28.70	6.92±0.93	166	16.60	-	-	-	4.32±0.80	1,378	45.30
9月7日	3.89±0.66	1,122	24.62	6.95±0.94	176	18.52	-	-	-	4.31±0.71	1,298	43.14

タカトリ(1,500個)												
測定日	2.0mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)									
5月14日	3.76±0.51	1,500	23.61	-	-	-	-	-	-	3.76±0.51	1,500	23.61
8月11日	5.18±0.58	113	4.80	7.74±0.86	449	53.60	10.09±0.96	274	73.40	8.16±0.86	836	131.80
9月7日	5.22±0.71	41	1.90	7.64±0.99	301	40.49	10.86±1.30	399	145.95	9.24±1.15	741	188.34

姉沼(1,500個)												
測定日	2.0mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)									
5月14日	3.76±0.51	1,500	23.67	-	-	-	-	-	-	3.76±0.51	1,500	23.67
8月6日	4.86±0.52	666	22.30	7.17±0.89	527	53.20	10.28±1.26	173	48.30	6.44±0.80	1,366	123.80
9月9日	5.27±0.64	434	16.35	7.78±1.03	559	63.77	11.18±1.38	284	98.88	7.68±1.01	1,277	179.00

内沼(1,500個)												
測定日	2.0mm残			4.0mm残			6.5mm残			全体		
	平均殻長 ±SD(mm)	生残数 (個)	総重量 (g)									
5月14日	3.76±0.51	1,500	23.60	-	-	-	-	-	-	3.76±0.51	1,500	23.60
8月6日	4.80±0.67	283	11.30	7.46±0.92	521	61.10	10.73±1.28	477	145.60	8.09±1.03	1,281	218.00
9月9日	5.17±0.61	106	4.31	7.63±0.87	190	22.77	11.24±1.63	229	87.21	8.71±1.22	525	114.29

各試験区の1日の平均水温は図12のように推移した。

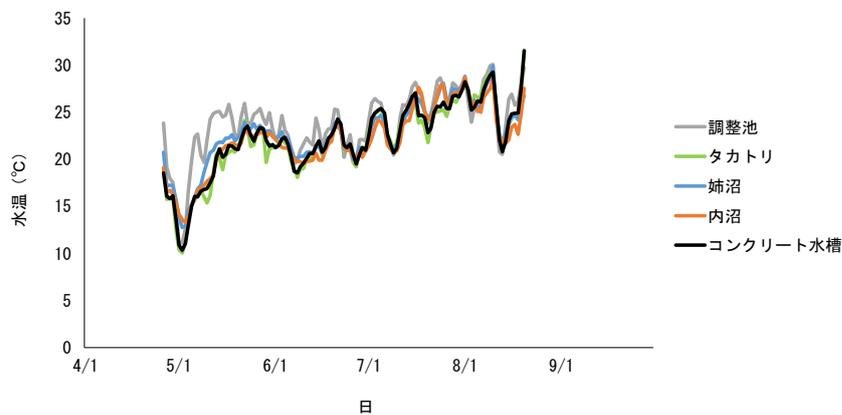


図 12. 浮きカゴ式試験における各試験区の水温の推移

考 察

1. かけ流し式中間育成試験

調整池におけるかけ流し式中間育成では、試験終了まで全ての試験区で70%以上の生残率を維持した。8月から9月にかけて生残率が落ちる傾向は2019年度の調整池における中間育成試験結果¹⁾と同様だが、8月以降の水温、pH及びDOの値に異常はなく、本試験の結果からは要因を推定できなかった。水質の測定は日中に実施しており、1日の中でどの程度水質の変化があるのかは把握できていないが、一般に夜間は植物プランクトンの呼吸やデトリタスの分解により酸素が

消費され、DO は低下すると考えられる。シジミは貧酸素耐性が高く、飼育実験下では水温 28℃で DO が 1.5mg/L 以上あれば生存できるとされるが²⁾、夜間の DO の落ち込みが大きければ長期的には生残に影響する可能性もあり、今後確認が必要である。

平均殻長については、2019 年度の調整池における試験¹⁾では、4 月に平均殻長が 1.6mm あれば、9 月までに平均殻長が 10 mm を超えるとされていたが、今年度は平均殻長 2.55mm から試験を開始して平均殻長が 10 mm に到達した試験区はなかった。天候などの物理環境要因はシジミ自体の活性に加え、飼育水中のプランクトンの発生や付随する水質変化などに影響すると考えられ、年ごとの成長差に繋がったものと推察される。

平均殻長は稚貝の収容数が少ないほど大きくなるが、社会実装を想定した場合、種苗生産の効率を上げるため高密度飼育が望ましい。大きな種苗をどれだけ生産できたかに着目すると、本試験では収容数 4,000 個の時に殻長 10 mm を超える個体の生産数が最も多くなり、9,000 個まで収容数を増やしてもその数はほぼ横ばいであった。本試験では収容数を 3 通りに絞って検討したが、ある収容数のときに殻長 10 mm 以上の個体の生産数は頭打ちになることが予想される。最適収容数の決定にあたっては平均殻長のほか、生産できる大型種苗の数と歩留まりが指標となりうる。また、濾過食者であるシジミの餌料供給には環境水中の餌量に加え、濾過水量が影響すると考えられる。アサリでは流速が早いほど貝の成長が促進されることが示されており³⁾⁴⁾、シジミにおいても注水量を増やし水の交換を早くすることで、平均殻長を落とすことなく収容密度を上げられる可能性がある。

小川原湖におけるかけ流し式中間育成試験では、生残率が 91.3% と極めて高かった一方、調整池と比較して成長が顕著に悪かった。小川原湖試験区は 4 月から 6 月にかけて水温が低く、この期間の成長が抑制された可能性はあるものの、その後試験終了まで水温に大きな差はなく、また DO、pH 及び塩分についても問題となるような値は示さなかった。一方、測定は実施していないものの、小川原湖試験区でかけ流していた水は調整池と比較して透明度が高いように感じられ、餌量が少なく成長が抑えられた可能性がある。

2. 浮きカゴ式中間育成試験

コンクリート水槽を除く 4 試験区で稚貝の成長が見られ、特にタカトリと内沼で試験終了時の平均殻長が大きかった。タカトリ試験区は波当たりの強い地点にカゴを設置したため、流速が早く、餌環境が良かったものと推察される。また、内沼は小川原湖内よりもクロロフィル a 濃度が高いとされ⁵⁾、餌となる植物プランクトンが多かったと考えられる。

一方で、タカトリと内沼は試験終了時の生残率がともに低かった。タカトリでは死殻がカゴ内にほとんど見られなかったことから、大部分が波浪によって流失したものと考えられる。本試験では水の通りを良くするため、カゴの上面は目合い 7.5mm の蓋をかぶせていた。加えて、カゴを表層に浮かべたことでカゴが波に合わせて大きく揺られたことにより稚貝が上面の網を抜けて流失したものと考えられる。波当たりの強い水域へのカゴ設置に当たっては、カゴ上面の目合いを細かくするか、カゴを中層に垂下するなどして安定性を確保する必要がある。

内沼は 8 月の測定の際には生残率 85.4% を記録したものの、その後の 1 ヶ月で大量斃死した。内沼のカゴは波浪の影響を考慮し、波当たりの弱い入り江状の地点に設置していたが、試験終了時までにカゴの周囲に植物が繁茂し、水の流れが遮られていた。加えて、8 月から 9 月にかけて内沼ではアオコの発生が目立ったことから相応の酸素消費があったものと考えられ、急激な DO の低下に晒された可能性がある。植物プランクトンが著しく多い環境はシジミにとって餌量が豊富である一方、酸欠のリスクが高まることが示唆された。

コンクリート水槽内の水はかけ流し試験と同じ場所からポンプで汲み上げられている。生残率が高く成長が悪い傾向はかけ流し試験の結果と共通しており、ポンプで汲み上げた水に由来している可能性がある。姉沼及び調整池ではある程度の成長が見られると同時に高い生残率を維持した。両試験区のカゴは共に、やや開けた水の通りが良い場所に設置していたため、酸欠による斃死が抑えられたと考えられる。

本試験において、かけ流し式と浮きカゴ式で試験期間及び試験開始時の稚貝サイズを統一していないため、両方式の試験成績を直接的に比較することはできないが、少なくとも小川原湖水域においては現状、かけ流しより湖沼内に直接カゴを浮かべる方式の方が成長が良いことが確認された。また、カゴ式はかけ流し式に比べ簡便であることから現場導入が容易と考えられる。餌料及び酸素の供給の観点から、カゴの設置場所の選定にあたっては水の流れを考慮する必要がある。

文 献

- 1) 松谷紀明 (2023) 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) 中村幹雄 (2018) シジミ学入門. 日本シジミ研究所, 112-114
- 3) 西沢 正・柿野 純・中田喜三郎・田口浩一 (1992) 東京湾盤洲干潟におけるアサリの成長と減耗. 水産工学, 29 (1), 61-68
- 4) 伊藤 篤・西本篤史・小島大輔・山崎英樹・兼松正衛・崎山一孝 (2017) 流速と網蓋の目合が垂下飼育アサリの成長に及ぼす影響. 水産技術, 9 (3), 147-154
- 5) 久保田光彦・藤原広和・長崎勝康・吉田由孝・細井 崇 (2006) 小川原湖における水質・底質環境およびヤマトシジミの生息状況について. 海岸工学論文集, 53, 1091-1095

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ご感謝申し上げます。