

図 18 連続観測(共通調査)結果(10号 冬季)

2.1.2.2 底面せん断応力と移動限界判定

流速計、波高計、および水温・塩分計の観測値より底面せん断応力および堆積物・稚貝の移動限界判定の解析を行った。解析に当たってはTSEditor ver. 4.6.5 および TSMaster ver. 6.6 を用いて移流成分（潮汐等による一様な流れ）と変動成分（波浪による往復流）に分離したのち、アサリ稚貝の移動限界判定エクセルファイル Ver. 3.2 を用いて底面せん断応力を求め、堆積物およびアサリ稚貝の流動による移動を判定した¹⁾。

解析に用いたパラメーターを表 7、底面せん断応力の経時変化を図 19、堆積物および稚貝の移動限界判定を図 20 に示した。

底面せん断応力の経時変化では夏季では 4 号地区より 10 号地区でせん断応力が高い傾向であった。また両地区とも期間の前半が高く、後半が低い傾向であった。移動限界ではせん断応力が恒常的に殻長 5mm および 10mm の稚貝の移動限界を上回っていた。殻長 1mm では期間の前半ではほとんどがせん断応力が移動限界を上回っていたが、期間後半ではせん断応力が移動限界を上回る期間は減っていた。堆積物の移動限界では期間の前半はせん断応力が上回る期間が多く見られたが、期間後半では移動限界を上回るせん断応力はほぼ見られなかった。冬季では夏季よりもせん断応力が大幅に低下し、4 号地区および 10 号地区とも低い値で推移していた。堆積物の移動限界を上回るせん断応力はごくわずかであった。以上より、アサリにとって冬季より夏季で厳しい環境と考えられた。

移動限界判定では、一様流成分より波動成分で堆積物や稚貝の移動が支配されていることが示された。場所間では、4 号地区および 10 号地区とも似通った観測値の分布を示しており、夏季ではいずれも稚貝には厳しい環境であること窺えた。ただし、4 号地区より 10 号地区で稚貝（殻長 10mm）の移動限界内に観測値が多く出現しており、稚貝の定位が容易であることが示唆された。

表 7 入力パラメーター

場所・季節	海水	底質		アサリ稚貝	
	密度 (g/cm ³)	中央粒径 (mm)	密度 (g/cm ³)	殻長 (mm)	密度 (g/cm ³)
4号地区・夏季	1.012	0.33	2.670	1, 5, 10	1.500
10号地区・夏季	1.013	0.69	2.650	1, 5, 10	1.500
4号地区・冬季	1.020	0.26	2.683	1, 5, 10	1.500
10号地区・冬季	1.022	0.62	2.636	1, 5, 10	1.500

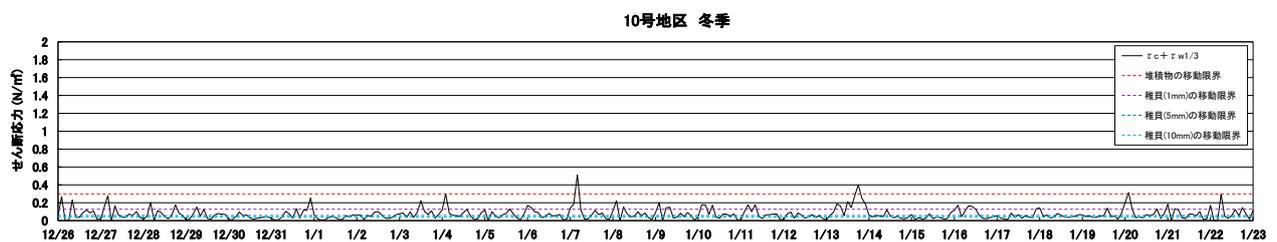
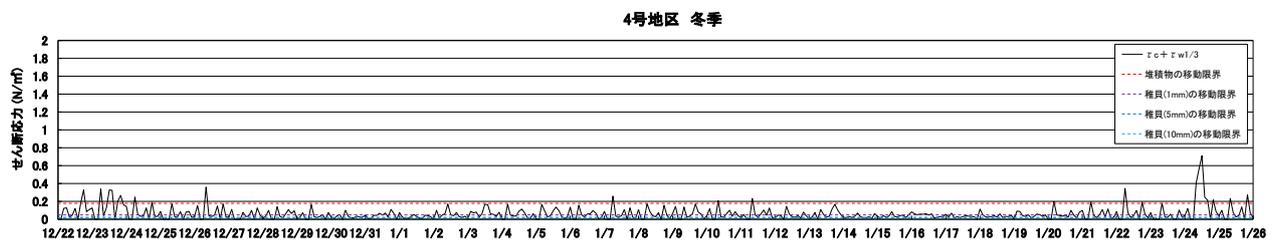
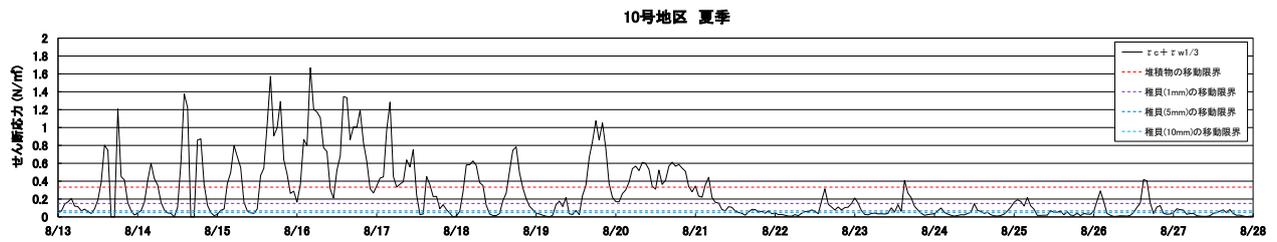
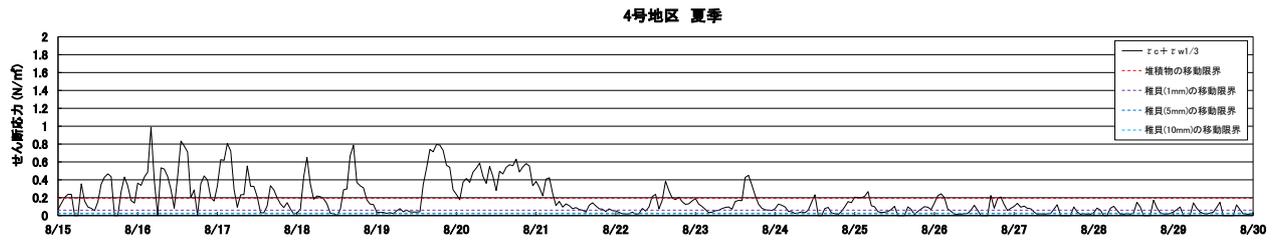


図19 せん断応力の経過時変化(夏季、冬季)

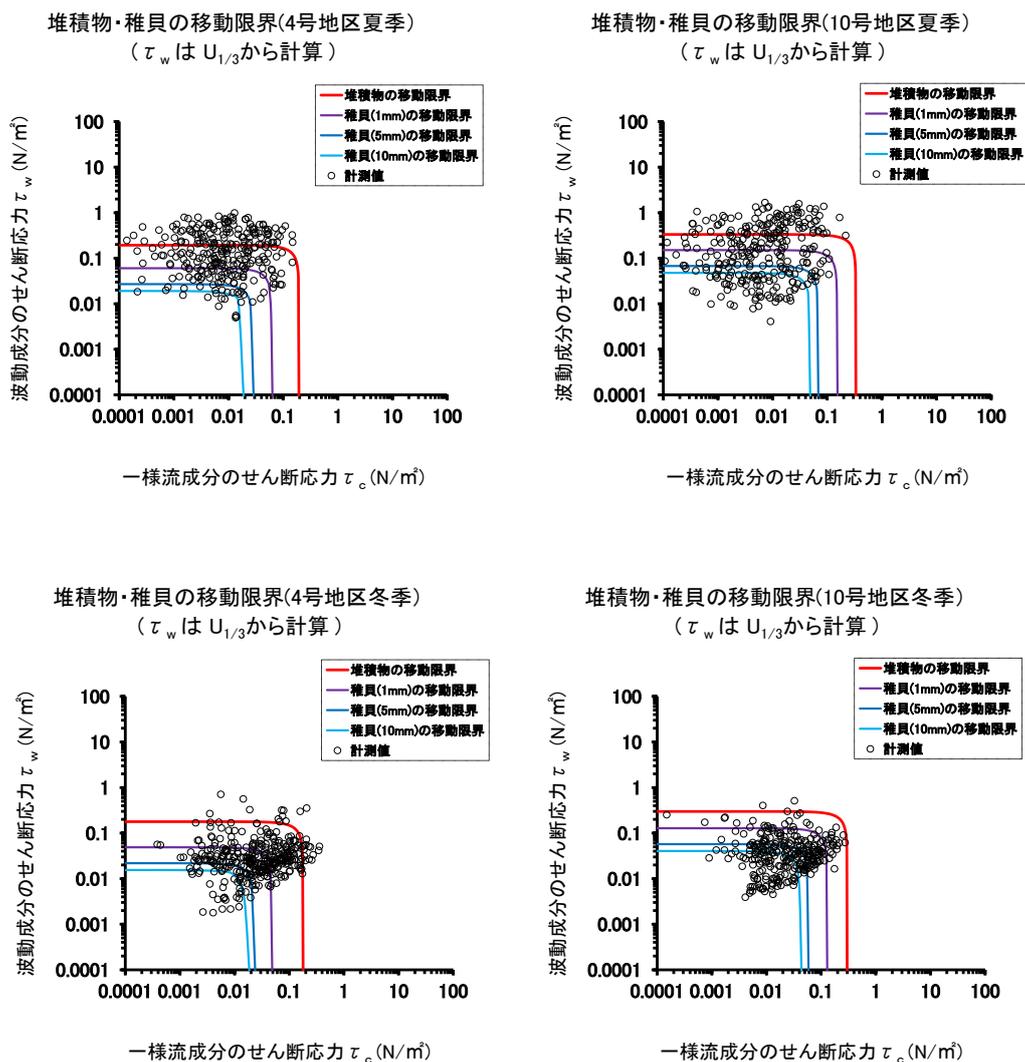


図 20 せん断応力と移動限界判定(夏季、冬季)

2.2 底質調査・生物調査

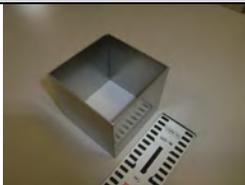
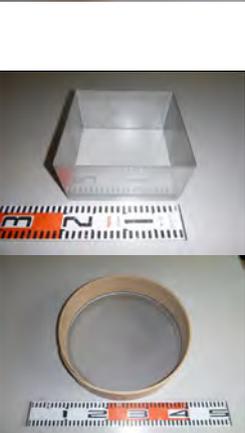
アサリの生息できない環境要因や実験時の生育環境の把握のため、底質項目（粒度組成、含水率、強熱減量、硫化物、COD、クロロフィル-a）について、四季でサンプリング調査を実施した。

また、現地盤に生息するアサリの量を把握するために、初期稚貝調査を毎月、アサリ生息状況調査を底質調査と同時期に実施した。

2.2.1 調査方法

底質調査及び生物調査の項目及び時期を表 8 に示した。

表 8 底質調査・生物調査 調査方法

調査	調査項目	時期	採取方法	写真
底質調査	粒度 含水率	6, 8, 10, 12 月	10cm 方形枠を表層 2cm 貫入させて 3 か所以上で採取した混合物を分析 分析方法：JIS A 1203, JIS A 1204	
	強熱減量 硫化物 COD クロフィル-a		φ50mm コアサンプラーを表層 2cm 貫入させて 3 か所以上で採取した混合物を分析 分析方法：(クロフィル-a を除く) 底質調査方法 (平成 24 年 8 月環境省 水・大気環境局)、(クロフィル-a) 海洋観測指針準拠	
生物調査	初期稚貝	毎月	先端を切断した容量 50ml のシリンジを表層 10mm 以上貫入させて採取した隣接する 5 回分の混合物を 1 検体とし、ランダムに 3 か所分を分析 出現個体数の平均値を 1 m ² 当たりの個体数に換算 分析対象：殻長 0.3mm 以上 1.0mm 未満	
	アサリ 生息状況	底質調査時	20cm 方形枠を 10cm 貫入させて採取した試料を 1mm 目でふるったものを 1 検体とし、3 検体分を分析 出現個体数の平均値を 1 m ² 当たりの個体数に換算 分析対象：殻長 1.0mm 以上	

2.2.2 調査結果

2.2.2.1 底質調査

底質調査の結果を表 9 に示した。4 号地区では 6 月に中央粒径が低い値となった。4 号地区では令和 4 年 1 月までは顕著な泥土の堆積は見られなかったが、令和 4 年 4 月に堆積が確認された。6 月には COD においても高い値を示しており、細粒分や含水率も他の調査回と比較して高い値を示していることから、この泥土の堆積によって中央粒径が低下した可能性が考えられる。また、4 号地区では 8 月および 10 月に含水率が低い値となった。6 月から 10 月の物理項目の推移では、中央粒径が大きくなるのと反対に細粒分、含水率は低くなっており、堆積した泥土が徐々に流失し、砂質の底質に移行したと考えられた。

10 号地区では 8 月および 10 月の調査回で中央粒径、細粒分、含水率、COD、強熱減量において、いずれも SI=1 の下限値を下回る値を示した。これらから 10 号地区は有機物の少ない粗い砂干潟であり、アサリの生息に適さない底質であると考えられた。

表9 底質の調査結果

場所	調査日	底質							
		中央粒径	細粒分	含水率	COD	強熱減量	硫化物	クロロフィル-a	フェオフィチン
		mm	%	%	mg/g	%	mg/g	μg/g 乾泥	μg/g 乾泥
4号地区	6/17	0.19	29.6	26.6	5.5	3.8	<0.01	2.0	11
	8/14	0.33	17.1	19.5	3.2	3.5	0.02	0.73	7.9
	10/8	0.44	15.6	18.8	3.2	2.8	0.02	0.59	6.8
	12/22	0.26	20.4	22.2	2.7	3.0	<0.01	0.91	17
10号地区	6/16	0.51	13.4	20.3	3.0	2.9	<0.01	0.73	9.0
	8/12	0.69	1.8	18.7	1.2	1.8	<0.01	0.36	1.9
	10/9	0.80	3.6	17.8	1.1	1.5	<0.01	0.18	1.5
	12/25	0.62	10.9	19.0	1.7	7.0	<0.01	0.53	9.1

黄色塗り：成貝（殻長 15mm 以上）および稚貝（殻長 1～15mm）に対する適正指数（SI）が 1 未満の分析値

水色塗り：成貝または稚貝に対する適正指数（SI）が 1 未満の分析値

（適正指数（SI）は「令和 3 年度有明海のアサリ等の生産性向上実証事業報告書」²により算出）

2.2.2.2 生物調査

初期稚貝（殻長 0.3 mm 以上、1 mm 未満）と殻長 1 mm 以上のアサリの出現状況を表 10、令和 2 年 11 月からの初期稚貝出現の推移を図 21 に示した。

今年度は初期稚貝調査開始から過去に比べて多く出現し、10 号地区の 12 月で約 69,000 個体/m²を記録した。特徴的な傾向として 4 号地区の 7 月で過去からの最多を記録し、その個体数は 10 号地区とほぼ同じであった。また、春発生群の出現ピークは 6 月と 7 月で令和 3 年度とは異なる傾向であった。福岡県有明海沿岸域における初期稚貝の出現状況は秋発生群よりも春発生群で多い傾向がみられる³⁴。4 号地区の最多出現は春発生群と考えられ、既報と同じ結果が得られたが、10 号地区では秋発生群で春発生群より多く出現していた。春発生群は 6 月と 7 月のピークを記録した後の 8 月にはほぼ 0 個体/m²まで急減し、その後 10 月まで出現せず、産卵期の終了が確認された。また、過去の調査では常に 4 号地区よりも 10 号地区で多く採取されており、今年度は異なる傾向であった。

高濃度の懸濁粒子はベリジャー幼生の成長を妨げるとの研究結果³⁵がある。研究では無機懸濁粒子がアサリベリジャー幼生の成長に与える影響について、アサリベリジャー幼生の成長は懸濁粒子濃度 30mg/L 以上で著しく低下したと報告されている。幼生の来遊期と考えられる令和 3 年 12 月における G.L. +0.2m の濁度の観測では、30FTU（FTU：ホルマジン濁度単位、ホルマジン 1mg/l の濃度が 1FTU）以上の出現率は 4 号地区で 50%（全データ数 3,791）、10 号地区で 35%（全データ数 4,234）であった。このことから 4 号地区より 10 号地区で浮遊幼生着底前の環境が良好であり、過去の調査における両地区の採取量の差と矛盾しないと推察された。今年度春季の幼生の来遊期と考えられる令和 4 年 6 月における G.L. +0.2m の濁度の観測では、30FTU 以上の出現率は 4 号地区で 37%（全データ数 3,688）、10 号地区で 34%（全データ数 4,255）であった。4 号地区では令和 4 年 6 月で令和 3 年 12 月より海底面直上の高濁度の出現率が低く、浮遊幼生の生残割合が高かったため初期稚貝が多く出現した可能性が推測された。また、初期稚貝が多く出現した 8 月調査の底質の物理環境では、10 号地区より 4 号地区で SI=1 の範囲内の項目が多く出現しており、好適な環境であったと考えられた。こ

れについても今年度の4号地区での初期稚貝の出現が多かったことの一因であると考えられた。

殻長1mm以上のアサリは4号地区および10号地区とも12月に出現がみられたが、そのほとんどが殻長3mm未満の稚貝であり、11月に確認された初期稚貝が成長した個体群と考えられた。

4号地区および10号地区ともにSI=1から外れた値が多く出現する底質となっており、本結果からもアサリの生息に好適な底質でないことが示された。4号地区では前述の底質の物理環境より流動が激しいことがアサリの出現しない原因として推測された。また、前述した底面せん断応力と移動限界判定(図15、図16)においても、4号地区および10号地区ともに、底面せん断応力が稚貝の移動限界値を恒常的に超えており、初期稚貝が着底できたとしても、その後流失してしまい生息まで至ることができないと考えられた。

表10 アサリ(殻長1mm以上、初期稚貝)の出現状況

場所	4号地区				10号地区				
	調査時期	調査日	アサリ(殻長1mm以上)		初期稚貝	調査日	アサリ(殻長1mm以上)		初期稚貝
			湿重量(kg/m ²)	個体数(個体/m ²)			個体数(個体/m ²)	湿重量(kg/m ²)	
4月	4/19	—	—	0	4/17	—	—	404	
5月	5/15	—	—	505	5/18	—	—	0	
6月	6/17	0	0	8,377	6/16	0.00	8	10,093	
7月	7/16	—	—	10,800	7/13	—	—	9,992	
8月	8/14	0	0	404	8/12	0	0	0	
9月	9/11	—	—	0	9/10	—	—	0	
10月	10/8	0	0	0	10/9	0	0	0	
11月	11/24	—	—	2,927	11/26	—	—	28,160	
12月	12/22	0.00	33	7,772	12/25	0.00	5,350	69,037	
1月	1/26	—	—	10,396	1/23	—	—	55,411	

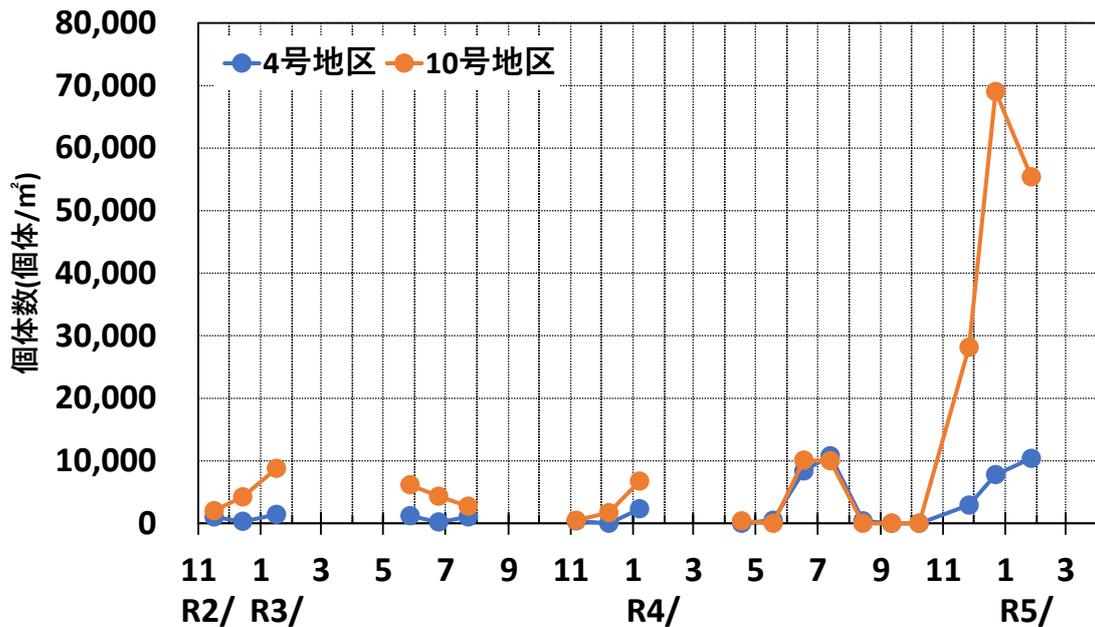


図 21 初期稚魚出現の推移

3. 効率的な稚魚確保技術の開発 (小課題 2-1-1)

これ以降、購入時のパームと分割成形後のパームを区別するために、購入時状態のパームの単位は「束」、分割成形後のパームの単位を「小束」とする。また、「G.L.」は現地盤あるいは海底面(Ground Level)を表し、「G.L.+1.0m」は現地盤からの高さ 1.0mであることを表す。「C.D.L.」は海図(潮位)基準面(Chart Datum Level)を表し、「C.D.L.+1.0m」は海図基準面からの高さ 1.0mであることを表す。

3.1 設置高、場所の検討

春産卵群を対象とした令和3年度実験では10号地区に設置したG.L.+1.0mの試験体が流失し、データが欠測したため、明確な結果が得られなかった²⁾。今年度は流失防止対策(G.L.+1.0m以上は実験区画仕切り用コンポーズに固縛)を施し、確実なデータ取得を目指した。また、今年度は海底面からの高さに加えて海図基準面からの高さも考慮した実験区を設定した。これにより4号と10号の場所間の有意差とその有意差の起因を考察し、採苗場所選定時の基礎資料として蓄積することを目的とした。

3.1.1 方法

ほぐしたパーム1束を収穫ネット(目合い1~2mm角目)に入れ、それを更にラッセルネット(目合い4mm角目)に收容した試験体(パーム採苗器)を干潟上に格子状に立てた杭にランダムに固縛した(図22及び図23)。設置時期・場所及び試験体の設置高さは表13及び表14の通りとした。

6月に各実験区でn=5を回収し、個体数から場所及び設置高さについて検討した。



図22 パーム採苗器



図23 設置状況

表11 設置高さ（令和3年11月設置、秋産卵群対象）

設置高さ (基準面上)	C. D. L. +0.1m	C. D. L. +0.5m	C. D. L. +1.0m	C. D. L. +1.5m
10号（沖側） [底面上高さ]	○ [G. L. +0.1m]	○ [G. L. +0.5m]	○ [G. L. +1.0m]	—
4号（岸側） [底面上高さ]	—	—	○ [G. L. +0.3m]	○ [G. L. +0.8m]

表12 設置高さ（令和4年4月設置、春産卵群対象）

設置高さ (基準面上)	C. D. L. +0.3m	C. D. L. +1.0m	C. D. L. +1.7m
10号（沖側） [底面上高さ]	○ [G. L. +0.3m]	○ [G. L. +1.0m]	○ [G. L. +1.7m]
4号（岸側） [底面上高さ]	—	○ [G. L. +0.3m]	○ [G. L. +1.0m]

3.1.2 結果

3.1.2.1 秋産卵群対象

(1) 設置高の比較

秋産卵群を対象として4号地区は令和3年11月5日に設置し、令和4年6月17日に回収、10号地区は令和3年11月6日に設置し、令和4年6月15日に回収した。各地区における設置高さの比較として箱ひげ図の凡例を図24、採苗器1袋当たりの個体数を図25、湿重量を図26、殻長を図27、個体数と湿重量から求めた1個体あたりの湿重量を図28に示した。以上についての統計解析結果を表15および表16に示した。また、各実験区の殻長分布を図29に示した。出現率については各採苗器から100個体を抽出・計測し、これらを実験区内の5袋分についてプールしたデータ(n=500)を元に、各殻長区分の出現比率として求めた。

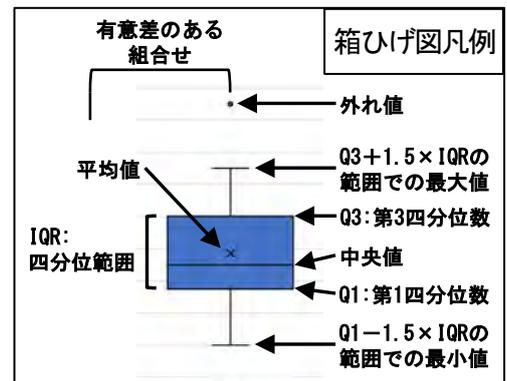


図24 箱ひげ図凡例

4号地区では、採苗器1袋あたりのアサリの平均採取個体数はG. L. +0.3mで236個体/袋、G. L. +0.8mで223

個体/袋であり、高さによる差は見られず、統計解析からも有意差は認められなかった。しかし、採苗器 1 袋当たりのアサリの平均湿重量は G.L.+0.3m で 41.8g/袋、G.L.+0.8m で 19.9g/袋、採苗器 1 袋内の平均殻長は G.L.+0.3m で 9.7mm、G.L.+0.8m で 7.4mm、採苗器 1 袋内の 1 個体あたりの平均湿重量は G.L.+0.3m で 0.18g、G.L.+0.8m で 0.09g であり、湿重量、殻長および 1 個体あたりの湿重量では G.L.+0.8m より G.L.+0.3m で有意に高い結果であった。

10 号地区では、採苗器 1 袋当たりのアサリの平均採取個体数は G.L.+1.0m で 1,120 個体/袋ともっとも多く、次いで G.L.+0.5m で 681 個体/袋、G.L.+0.1m で 205 個体/袋の順であり、これらの間には統計的にも有意差が確認された。採苗器 1 袋当たりのアサリの平均湿重量は個体数と同様に G.L.+1.0m が 79.4g/袋でもっとも重く、次いで G.L.+0.5m で 72.7g/袋、G.L.+0.1m で 23.1g/袋の順であったが、G.L.+0.5m と G.L.+1.0m の間には有意差は認められなかった。G.L.+0.1m と G.L.+0.5m の間および G.L.+0.1m と G.L.+1.0m の間には有意差が認められた。採苗器 1 袋内の平均殻長は G.L.+0.1m で 7.1mm、G.L.+0.5m で 7.5mm、G.L.+1.0m で 6.6mm であったが、設置高間で有意差は認められなかった。採苗器 1 袋内の 1 個体あたりの平均湿重量は G.L.+0.1m と G.L.+0.5m で 0.11g、G.L.+1.0m で 0.07g であり、G.L.+0.1m と G.L.+1.0m の間にのみ有意差が認められた。

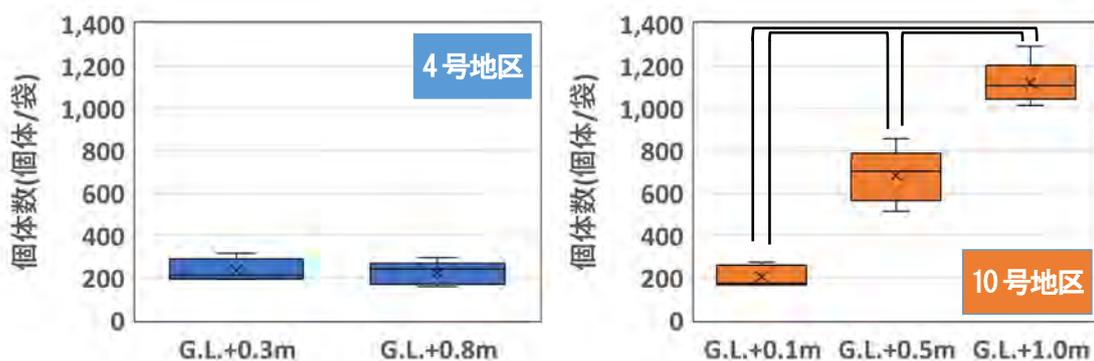


図 25 設置高さの違い (個体数)

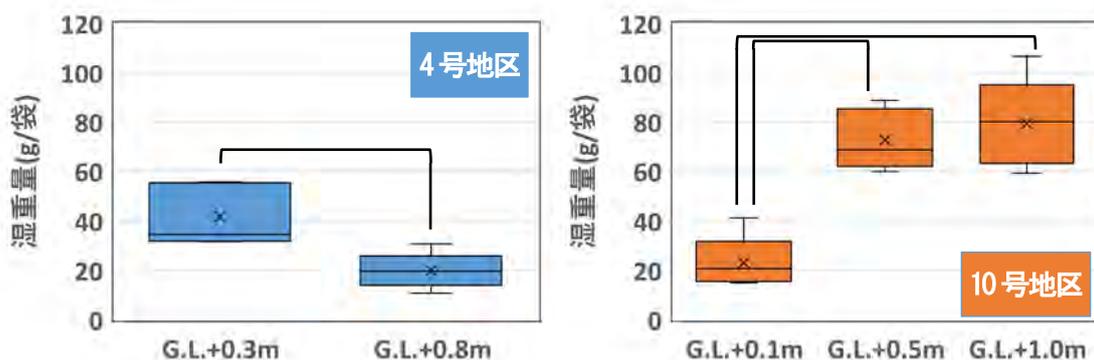


図 26 設置高さの違い (湿重量)

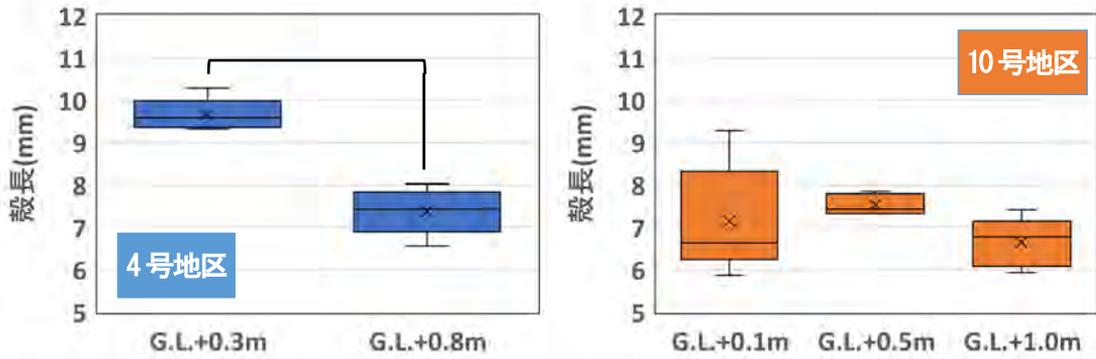


図 27 設置高さの違い（殻長）

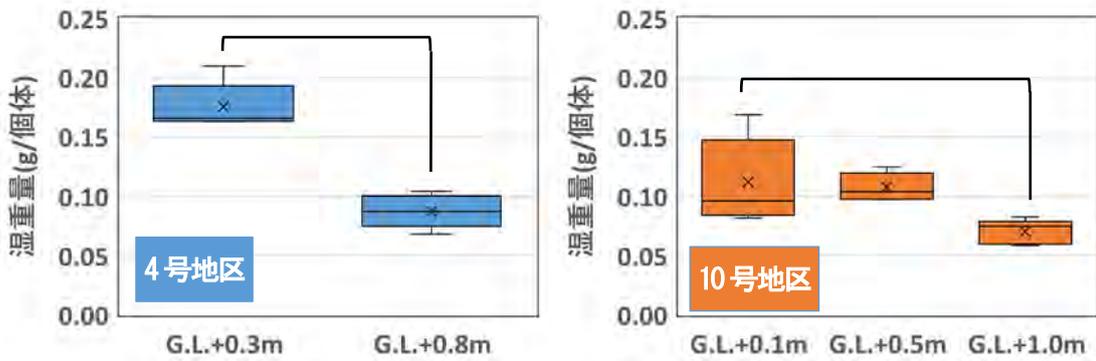


図 28 設置高さの違い（1 個体あたりの湿重量）

表 13 設置高さの違い（4号地区）統計解析結果（Welch の t 検定）

項目	個体数	湿重量	殻長	個体湿重量
p 値(両側)	0.721	0.014	0.000	0.000

表 14 設置高さの違い（10号地区）統計解析結果（Tukey の多重比較検定）

個体数 p 値	G. L. +0.1m	G. L. +0.5m	湿重量 p 値	G. L. +0.1m	G. L. +0.5m
G. L. +0.1m	—	0.000	G. L. +0.1m	—	0.000
G. L. +1.0m	0.000	0.000	G. L. +1.0m	0.000	0.738

殻長 p 値	G. L. +0.1m	G. L. +0.5m	個体湿重量 p 値	G. L. +0.1m	G. L. +0.5m
G. L. +0.1m	—	0.747	G. L. +0.1m	—	0.952
G. L. +1.0m	0.616	0.247	G. L. +1.0m	0.034	0.057

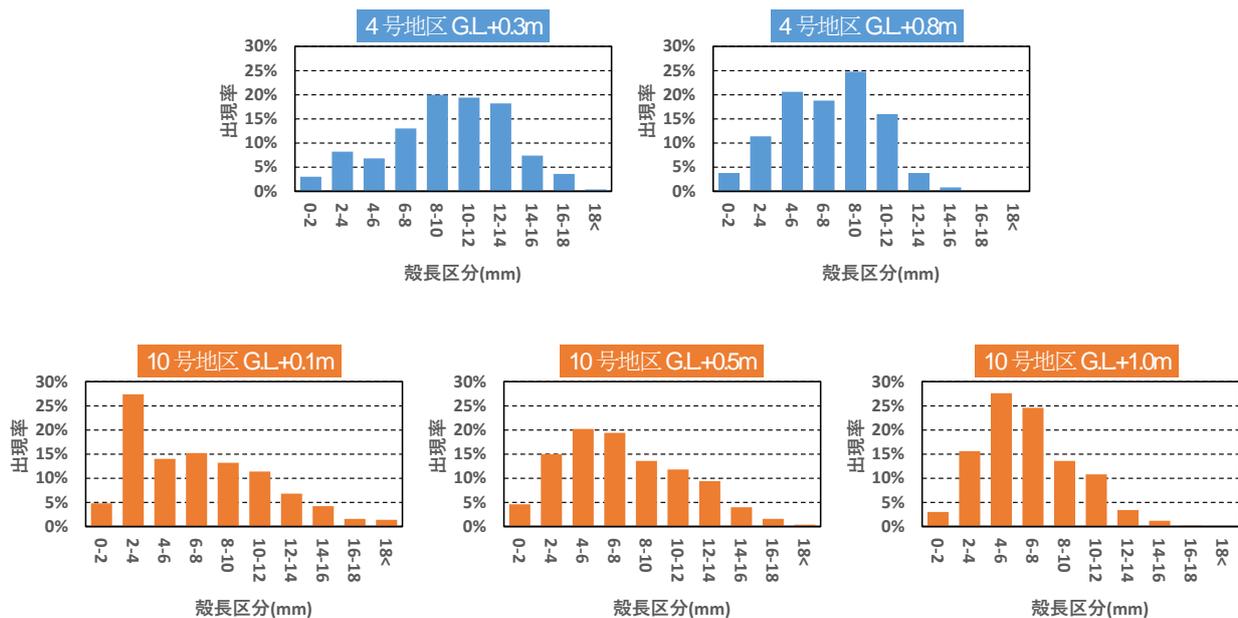


図 29 設置高さの違い（殻長分布）

(2) 場所の比較

場所間を比較するため同じ実験系において、同一海図基準面上の高さ C.D.L.+1.0m に設置された 4 号地区 (G.L.+0.3m) と 10 号地区 (G.L.+1.0m) の採苗器について個体数、湿重量、殻長を比較した。採苗器 1 袋当たりの平均採取個体数を図 30、採苗器 1 袋当たりの平均湿重量を図 31、採苗器 1 袋内の平均殻長を図 32、個体数と湿重量から求めた 1 個体あたりの平均湿重量を図 33 に示した。また、統計解析結果を表 17 に示した。

個体数および湿重量では 4 号地区より 10 号地区で高かった。しかし、殻長および 1 個体あたりの湿重量ではこれとは反対に 10 号地区より 4 号地区で高かった。これらの結果はすべて統計解析で有意差があると示された。

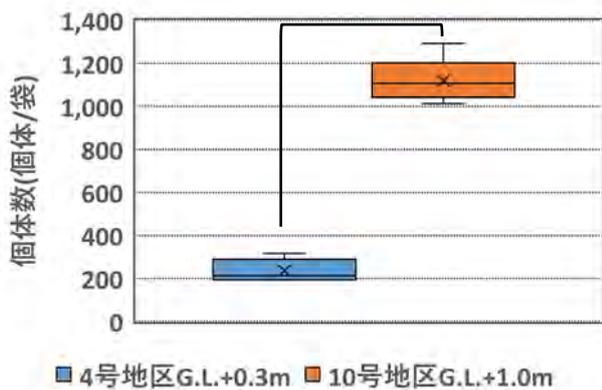


図 30 場所の違い（個体数）

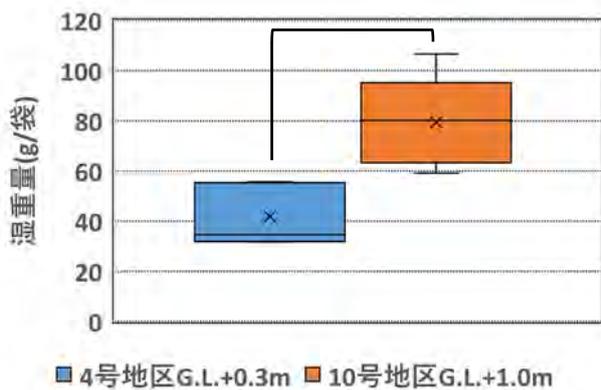


図 31 場所の違い（湿重量）

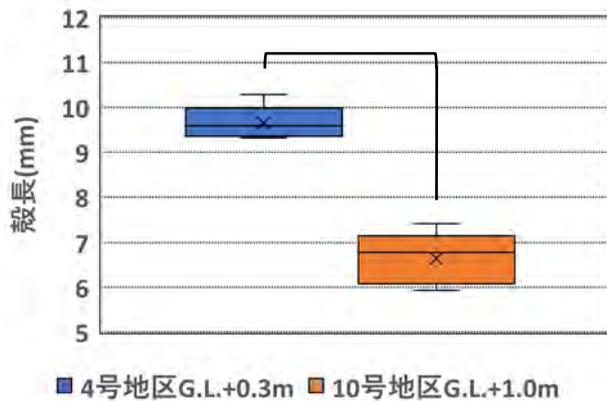


図 32 場所の違い（殻長）

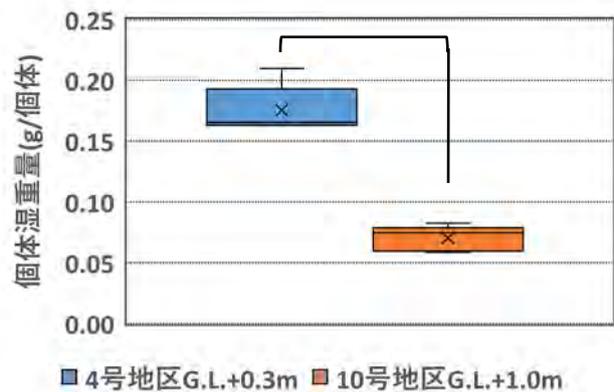


図 33 場所の違い（1 個体あたりの湿重量）

表 15 場所の違い（4号地区－10号地区）統計解析結果（Welch の t 検定）

項目	個体数	湿重量	殻長	個体湿重量
p 値(両側)	0.000	0.007	0.000	0.000

3.1.2.2 春産卵群対象

春産卵群を対象として4号地区は令和4年4月19日に設置し、令和4年6月17日に回収、10号地区は令和4年4月17日に設置し、令和4年6月15日に回収した。

結果として、全ての実験区で稚貝が出現しなかった。

3.1.3 考察

(1) 設置高の比較

秋産卵群対象の調査結果では4号地区で湿重量と殻長に、10号地区では個体数と湿重量の一部に設置高さによる違いが認められた。秋産卵群の調査期間は令和3年11月設置から令和4年6月回収までであるので、令和4年の春産卵群も加入してくることが予想された。しかし、春産卵群対象の調査では全く採苗されなかったため、春産卵群の浮遊幼生の採苗器への着定はなかったと考えられる。また、採苗器は干潟面から離底して設置されていることから、もし干潟に着底した浮遊幼生がいたとしてもそれらが稚貝の段階になって採苗器へ移動する可能性は低い。よって採苗器内の稚貝は単一のコホートであると考えられた。

4号地区において設置高さ間で採取個体数に差が無かったのは、来遊する幼生の量に差が無かったためと考えられた。しかし、殻長分布ではG.L.+0.8mよりG.L.+0.3mで殻長12mm以上の出現割合が高く、成長が進んでいることが窺えた。これは着定後の成長で干潟面に近いほど冠水時間が長いため摂餌時間が長くなり、成長に差が出来たと考えられた。

10号地区ではG.L.+0.1mの採取量が最も低かった。「2.3.2.2 生物調査」で前述したとおり、G.L.+0.1mでは海底面直上の高濁度層が浮遊幼生の生残に影響を与えている可能性が考えられた。また、成長ではG.L.+1.0mでサンプリングした5袋とも1,000個体以上が採取されており、密度による成長阻害を起こしている可能性が考えられた。G.L.+0.5mとG.L.+1.0mでは1袋あたりの平均殻長では有意差が見られなかったが、殻長分布ではG.L.+0.5mよりG.L.+1.0mで殻長4～8mmの出現割合が多く、殻長12～16mmの出現割合が少ないことから成長が抑制されていたことが窺えた。

以上より、4号地区では高さによって採取量が変わらないため、冠水時間によって成長に差がみられ、10号地区では高さによって採取量が異なるため、より多く採れた層では密度による成長阻害が起き、そのうえ冠水時間の差も成長に影響したものと推測された。

(2) 場所の比較

場所間の違いでは、4号地区と10号地区で同じ海図基準面からの高さでは個体数、湿重量、殻長および1個体あたりの湿重量すべてで違いが認められたが、個体数および湿重量と殻長および1個体あたりの湿重量では地区間で値が逆転していた。殻長分布からも4号地区 G.L.+0.3m は10号地区 G.L.+1.0m と比べて大きい殻長側に分布のピークが見られた。すなわち、同じ海図基準面上の高さであっても場所間で採取される稚貝の量と成長が反比例することがあると示され、4号地区は採取量は少ないが成長が良く、一方で10号地区は採取量は多いが成長が遅いことが示された。採取個体数については令和3年度の調査で地形や流れによる水塊の違いで場所によって来遊する浮遊幼生の量が異なると考察されており²⁾、これが場所間の差になったと考えられた。

水塊の違いの例として図34に令和3年12月15日から12月30日の上げ潮時の水温と塩分の分布 (TSダイアグラム) を示した。これによると10号地区より4号地区で低塩分の水塊が多く出現しており、下げ潮で一旦沖側に流下した湾奥からの河川水が上げ潮時に干潟に戻ってくることが観測されたと考えられた。つまり、地盤高、地形やその他の条件により4号地区では10号地区に比べて上げ潮を構成する沖合からの浮遊幼生を伴う水塊の割合が少ないと考えられた。このような現象も採苗量の違いの一因ではないかと推察された。

成長については前述の10号地区 G.L.+1.0m では密度による成長阻害が推測されており、これが場所間における成長の差の主な要因と考えられた。他の要因としては餌料環境の違いが挙げられた。両者は同じ海図基準面上の高さであるので冠水時間、すなわち摂餌時間は同じあるため、餌料の量もしくは質が異なっている可能性も考えられた。

以上より、採苗量 (採苗効率) の向上には採苗場所 (浮遊幼生の来遊) と地盤高 (餌料環境) の精査が必要であると考えられた。

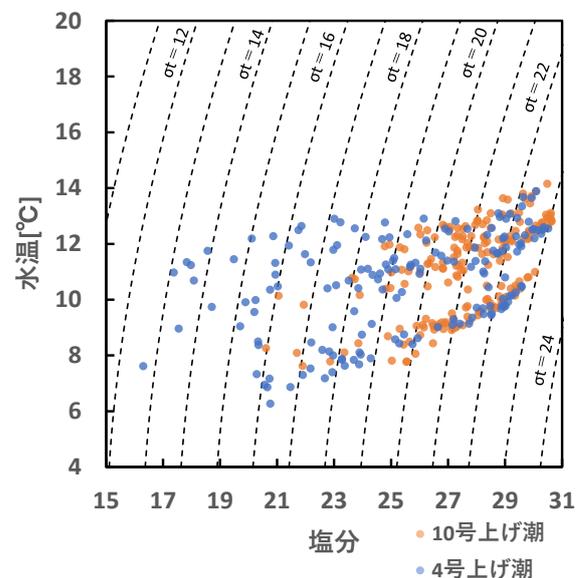


図34 TSダイアグラム
(令和3年12月15日~30日)