

ほたてがい冬季へい死モニタリング調査

森恭子・吉田達・山内弘子・小谷健二

目的

平成 25 年 2～3 月にかけて陸奥湾西湾においてホタテガイ半成貝が大量にへい死した。これまで、冬季へい死多発地区の養殖施設内で、ホタテガイの成育状況と波浪や流れなどの環境要因を同時かつ集中的に観測した事例はなく、はっきりとしたへい死要因は分かっていない。そこで、漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ成育状況の集中的モニタリングによるへい死要因の解明と冬季へい死を軽減する養殖方法の開発に取り組んだ。

材料と方法

1. 漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ成育状況の集中的モニタリング

調査は平成 25 年冬季に養殖貝が大量へい死した平内町土屋、茂浦、浦田の 3 地区において、土屋地区 1 名、茂浦地区 2 名、浦田地区 2 名の平成 28 年産稚貝の養殖施設（図 1）を対象に実施した。

各養殖施設には、平成 29 年 9 月と 11 月の稚貝分散時に目合 3 分、10 段のパールネットへ 1 段当り稚貝を 20 枚収容した試験区（以下、20 枚/段）を垂下するとともに、養殖施設の構造を聞き取りした。なお、茂浦①、②は 9 月の稚貝を垂下した養殖施設と同じ施設に 11 月の稚貝を垂下した。

稚貝分散時に、分散前のパールネット中段 1 段分について稚貝の生貝数と死貝数を計測してへい死率を求めるとともに、

生貝 50 個体と全ての死貝について殻長を測定した。平成 30 年 3 月の試験終了時に、養殖施設に垂下したパールネット 1 連を上段（1～3 段）、中段（4～7 段）、下段（8～10 段）に区分し、各段の生貝数と死貝数を計数してへい死率を求めるとともに、生貝 30 個体について殻長、全重量、軟体部重量を測定し、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。更に、死貝の殻長を測定し、殻長組成からへい死時期を推定するとともに、分散直後と成長後の死貝に分けて、へい死率を（死貝数）÷（生貝数＋死貝数）×100 で求めた。

また、稚貝分散時から 11 月までは、前述の養殖施設の幹綱にメモリー式深度計（JFE アドバンテック社 DEF12-D10）及びパールネットを垂下した付近の幹綱及びパールネットの 9 段目と 10 段目の間にメモリー式加速度計（Onset Computer 社 H0B0 ペンダント G Logger）を取り付けるとともに、平成 29 年 12 月から試験終了時まで、前述の深度計及び加速度計に加えて養殖施設の幹綱にメモリー式流向流速計（JFE アドバンテック社 INFINITY-EM、水温センサー内蔵）を取り付け、1 時間間隔の流向、流速及び水温、1 分間隔の幹綱水深、5 分間隔の幹綱の鉛直方向の加速度を測定した。

2. へい死を軽減するための養殖方法の開発

(1) 鍾比較試験

前述の集中モニタリング地点のうち、茂浦①の養殖施設において、パールネット 1 段当り 20 枚の稚貝を収容した目合 3 分、10 段/連のパールネットを 9 月 20 日と 11 月 22 日の稚貝分散時に 3 連ずつ準備し、そ

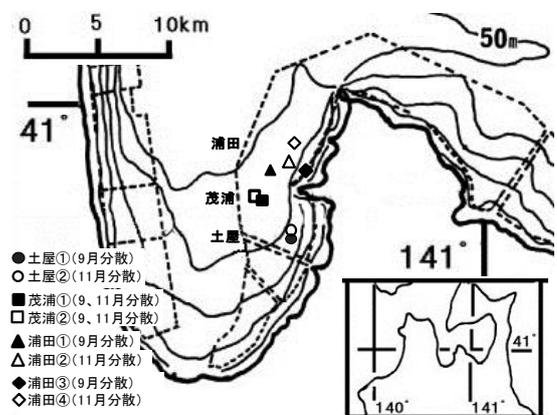


図 1. モニタリング地点図

れぞれ最下段の鉄枠を太枠に代えたもの（以下、太枠区）、最下段に鉛 100 匁を付したもの（以下、鉛 100 匁区）、太枠、錘を付さないもの（以下、錘なし区）を作成して、養殖施設の 2 つの調整玉と調整玉の中間部の幹綱に垂下した。また、前述の集中モニタリングと同様に、深度計、加速度計及び流速計を設置し、1 時間間隔の流向、流速及び 1 分間隔の幹綱水深、5 分間隔の鉛直方向の加速度を測定した。

平成 30 年 3 月 20 日にパールネットを回収して、パールネット 1 連を上段（1～3 段）、中段（4～7 段）、下段（8～10 段）に区分し、各段の生貝数と死貝数を計数して、前述の方法によりへい死率を求めるとともに、生貝 30 個体の殻長、全重量、軟体部重量を測定し、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

(2) 収容枚数比較試験

浦田の養殖施設（図 2）において、目合 3 分、10 段/連、最下段に鉛 100 匁を付したパールネットを 9 月 22 日と 11 月 4 日の稚貝分散時に 3 連ずつ準備し、それぞれパールネット 1 段当り 15 枚の稚貝を収容したもの（以下、15 枚区）、25 枚の稚貝を収容したもの（以下、25 枚区）、35 枚の稚貝を収容したもの（以下、35 枚区）を作成して、養殖施設の 2 つの調整玉と調整玉の中間部の幹綱に垂下した。また、前述の集中モニタリングと同様に、深度計、加速度計及び流速計を設置し、1 時間間隔の流向、流速及び 1 分間隔の幹綱水深、5 分間隔の鉛直方向の加速度を測定した。

平成 30 年 3 月 21 日にパールネットを回収して、パールネット 1 連を上段（1～3 段）、中段（4～7 段）、下段（8～10 段）に区分し、各段の生貝数と死貝数を計数して、前述の方法によりへい死率を求めるとともに、生貝 30 個体の殻長、全重量、軟体部重量を測定し、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

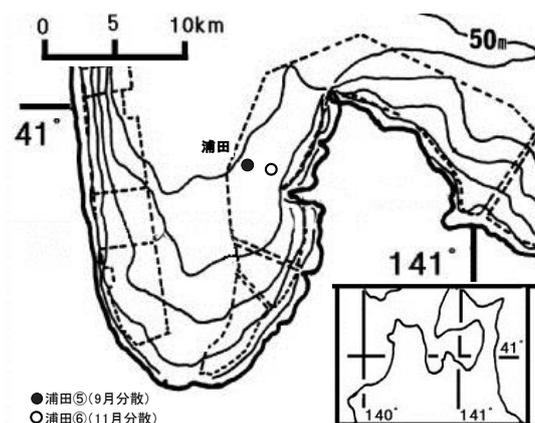


図 2. モニタリング地点図

結果と考察

1. 漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ育成状況の集中的モニタリング

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表 1 に、養殖施設の基本構造を表 2 に、養殖施設の構造等を表 3 に示した。

表 1. 養殖作業及びホタテガイの測定時期

地区	施設名	稚貝分散 (初期)	稚貝分散 (終期)	試験終了
土屋	①	H29.9.25	-	H30.3.19
	②	-	H29.11.10	H30.3.19
茂浦	①	H29.9.20	-	H30.3.20
		-	H29.11.22	H30.3.20
	②	H29.9.25	-	H30.3.20
		-	H29.11.27	H30.3.20
浦田	①	H29.9.24	-	H30.3.21
	②	-	H29.11.7	H30.3.21
	③	H29.9.29	-	H30.3.21
	④	-	H29.11.3	H30.3.21

表 2. 養殖施設の基本構造

地区	施設名	漁場 水深	幹綱 水深	幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵
						重量	個数	
土屋	①	42m	10m	200m	100m	70kg	両側片爪3丁	無
	②	43m	15m	150m	120m	70kg	両側片爪2丁	無
茂浦	①	49m	23m	200m	135m	90kg	両側片爪2丁	無
	②	50m	15m	200m	150m	100kg	両側片爪3丁	無
浦田	①	48m	15m	200m	150m	80kg	両側片爪3丁	無
	②	49m	15m	200m	150m	80kg	両側片爪3丁	無
	③	48m	15m	200m	100m	100kg	両側片爪3丁	無
	④	52m	15m	200m	150m	100kg	両側片爪3丁	無

表 3. 養殖施設の構造等

地区	施設名	分散時期	調整玉		底玉		パールネット				選別機の目合		
			種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数		収容数	錘
土屋	①	9月	ABS製1尺3寸	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	30個	3分	10段	900連	20個体/段	無	6分5厘
	②	11月	ABS製1尺2寸*	2個	4ヶ所	ABS製1尺3寸	35個	2分	10段	700連	20個体/段	無	9分
茂浦	①	9月	ABS製1尺2寸*	2個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	32個	3分	10段	1300連	20個体/段	無	5分
		11月	ABS製1尺2寸*	2個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	32個	2分	10段	1300連	20個体/段	無	7分
	②	9月	ABS製1尺2寸**	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	30個	3分	10段	1600連	25個体/段	最下段に太枠ネット	5分5厘
		11月	ABS製1尺2寸**	1個	5ヶ所	同上	30個	2分	10段	1600連	25個体/段	最下段に太枠ネット	6分5厘
浦田	①	9月	ABS製1尺3寸	1個	6ヶ所	ABS製1尺3寸	60個	3分	9段	1800連	20個体/段	最下段に太枠ネット	5分5厘
	②	11月	ABS製1尺3寸	1個	6ヶ所	ABS製1尺3寸	60個	2分	9段	1800連	20個体/段	最下段に太枠ネット	7分
	③	9月	ABS製1尺3寸	2個	7ヶ所	ABS製1尺3寸	50個	2分	9段	1500連	15個体/段	最下段に太枠ネット	3分5厘
	④	11月	ABS製1尺3寸	2個	7ヶ所	ABS製1尺3寸	43個	3分	9段	1300連	18個体/段	最下段に太枠ネット	4分5厘輪っか

* ABS製1尺2寸1個と1尺3寸1個の連結

** 両端はABS製1尺1個と1尺3寸1個の連結、中心は1尺2寸2個の連結

(1) 稚貝分散時のホタテガイの測定結果

稚貝分散時の測定結果を表4に、へい死率、異常貝率を図3に、平均殻長を図4に、パールネット1段当りの収容枚数と平均殻長の関係を図5に示した。

へい死率はいずれも9月分散より11月分散が高く、浦田の養殖施設④以外は10%以上だった。異常貝率は浦田の養殖施設③、④以外は9月分散より11月分散が高く、いずれも10%以上だった。浦田の養殖施設④のへい死率、異常貝率が低いのは、1段当りの収容枚数が142枚と少ないためと考えられる。

平均殻長はいずれも9月分散より11月分散が有意に大きかった。9月分散では1段当りの収容枚数が少ないほど平均殻長が大きいことから、稚貝の成長には収容密度が影響しているものと考えられたが、11月分散は収容枚数が多いほど平均殻長が大きいことから、収容密度以外の要因が影響しているものと考えられた。

表 4. 稚貝分散時のホタテガイの測定結果

地区	施設名	分散時期	生貝(枚)	死貝(枚)	合計(枚)	異常貝(枚)	へい死率(%)	異常貝率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	
土屋	①	9月	210	12	222	0	5.4	0.0	20.4	± 2.7
	②	11月	190	23	213	8	10.8	16.0	32.6	± 4.1
茂浦	①	9月	290	14	304	0	4.6	0.0	18.0	± 2.0
		11月	237	91	328	7	27.7	14.0	31.4	± 4.1
	②	9月	429	28	457	1	6.1	2.0	18.0	± 2.5
		11月	153	23	176	5	13.1	10.0	29.4	± 3.7
浦田	①	9月	334	14	348	0	4.0	0.0	17.4	± 2.0
	②	11月	154	27	181	6	14.9	12.0	25.0	± 2.9
	③	9月	156	9	165	1	5.5	2.0	18.6	± 2.5
	④	11月	133	9	142	1	6.3	2.0	25.3	± 4.1

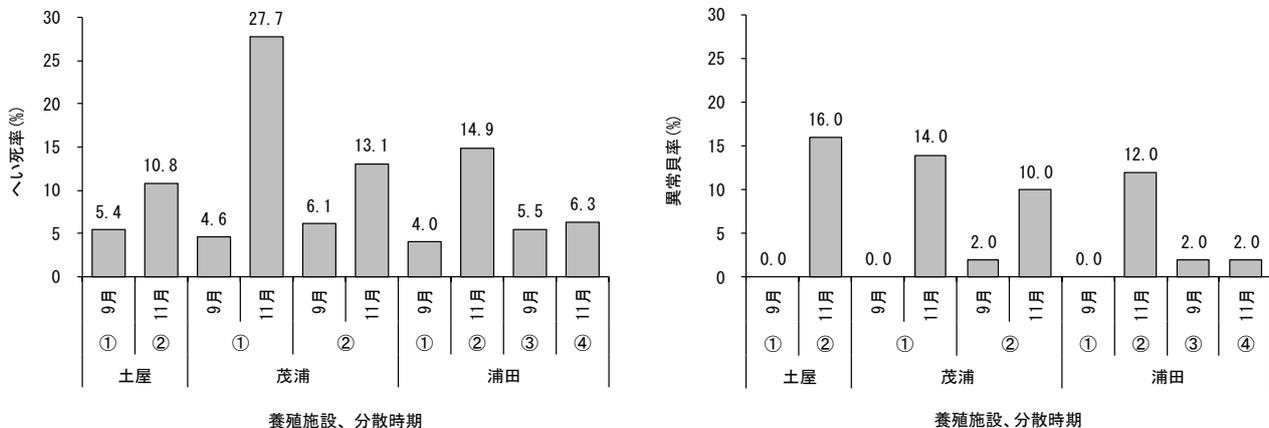


図 3. 稚貝分散時のへい死率及び異常貝率 (○数字は養殖施設の番号、月は分散時期)

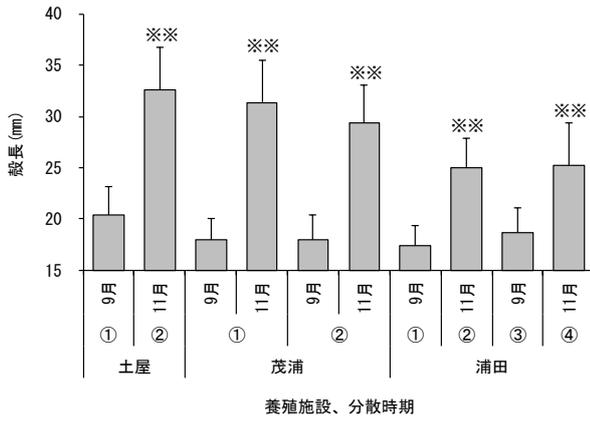


図 4. 稚貝分散時の平均殻長 (○数字は養殖施設の番号、月は分散時期、バーは標準偏差、※※は 9 月と比較して P<0.01 で有意差あり)

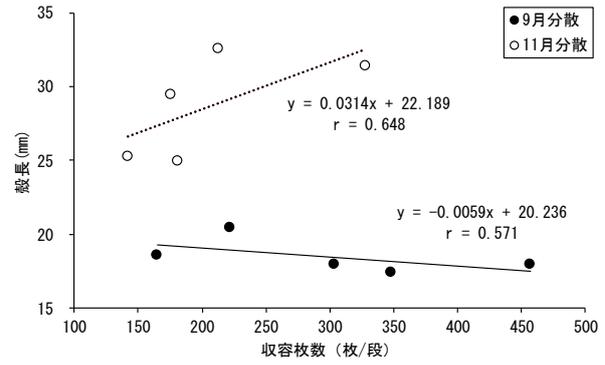


図 5. 稚貝分散時のパールネット 1 段当りの収容枚数と平均殻長

(2) 試験終了時のホタテガイの測定結果

試験終了時の測定結果を表 5~7 に、へい死率を図 6 に、異常貝率を図 7 に、平均殻長、平均全重量、平均軟体部重量を図 8~10 に示した。

へい死率は分散直後の死貝を除いた場合、浦田の養殖施設③、④以外はいずれも 9 月分散より 11 月分散が高く、茂浦の養殖施設①、②では 10%以上だった。また、分散直後のへい死率を (分散直後の死貝数) ÷ (生貝数 + 死貝数) × 100 により求めたところ、茂浦の養殖施設①を除いて、11 月分散より 9 月分散が高く、茂浦の養殖施設②と浦田の養殖施設①では 20%前後であった。異常貝率は浦田の養殖施設③、④以外は、9 月分散より 11 月分散が高かった。平均殻長、平均全重量、平均軟体部重量はいずれも 11 月分散より 9 月分散が有意に大きかった。

表 5. 土屋地区における試験終了時のホタテガイの測定結果

地区	施設名	分散時期	生貝 (枚)	死貝 (枚)	*死貝 (枚)	異常貝 (枚)	へい死率 (%)	**へい死率 (%)	異常貝率 (%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部指数		
土屋	①	9月	上	47	12	0	1	20.3	0.0	3.3	75.5 ± 4.3	45.8 ± 6.0	20.7 ± 2.7	45.3	
			中	69	5	1	0	6.8	1.4	0.0	75.4 ± 4.6	43.8 ± 7.2	19.9 ± 3.5	45.4	
			下	44	11	1	0	20.0	2.2	0.0	75.0 ± 4.0	43.7 ± 7.0	20.7 ± 3.2	47.3	
			全段	160	28	2	1	14.9	1.2	1.1	75.3 ± 4.3	44.4 ± 6.7	20.4 ± 3.1	46.0	
		11月	上	54	6	2	10	10.0	3.6	33.3	70.9 ± 3.6	37.9 ± 8.4	16.8 ± 2.5	44.3	
			中	76	4	1	4	5.0	1.3	13.3	72.1 ± 3.5	36.0 ± 4.7	17.7 ± 2.3	49.1	
	②	9月	下	56	5	2	9	8.2	3.4	30.0	71.3 ± 4.0	36.2 ± 5.5	17.9 ± 3.0	49.5	
			全段	186	15	5	23	7.5	2.6	25.6	71.4 ± 3.7	36.7 ± 6.2	17.5 ± 2.6	47.6	
			11月	上	54	6	2	10	10.0	3.6	33.3	70.9 ± 3.6	37.9 ± 8.4	16.8 ± 2.5	44.3
				中	76	4	1	4	5.0	1.3	13.3	72.1 ± 3.5	36.0 ± 4.7	17.7 ± 2.3	49.1
		11月	下	56	5	2	9	8.2	3.4	30.0	71.3 ± 4.0	36.2 ± 5.5	17.9 ± 3.0	49.5	
			全段	186	15	5	23	7.5	2.6	25.6	71.4 ± 3.7	36.7 ± 6.2	17.5 ± 2.6	47.6	

*死貝は分散直後の死貝を除いた値

**へい死率=(死貝数-分散直後の死貝数)÷(生貝数+死貝数-分散直後の死貝数)

表 6. 茂浦地区における試験終了時のホタテガイの測定結果

地区	施設名	分散時期	生貝 (枚)	死貝 (枚)	*死貝 (枚)	異常貝 (枚)	へい死率 (%)	**へい死率 (%)	異常貝率 (%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部指数			
茂浦	①	9月	上	56	8	0	3	12.5	0.0	10.0	69.5 ± 5.4	35.3 ± 8.4	15.7 ± 3.9	44.5		
			中	73	5	1	0	6.4	1.4	0.0	70.3 ± 3.7	37.1 ± 5.9	17.0 ± 2.9	45.8		
			下	55	1	0	1	1.8	0.0	3.3	70.3 ± 2.7	36.7 ± 3.9	17.0 ± 1.7	46.2		
			全段	184	14	1	4	7.1	0.5	4.4	70.0 ± 3.9	36.3 ± 6.0	16.5 ± 2.8	45.5		
			11月	上	50	14	9	4	21.9	15.3	13.3	61.8 ± 5.7	25.2 ± 5.7	11.8 ± 2.8	46.8	
				中	67	13	7	2	16.3	9.5	6.7	62.7 ± 5.3	26.8 ± 6.1	12.4 ± 3.0	46.2	
		②	9月	下	42	13	6	0	23.6	12.5	0.0	65.6 ± 4.1	29.6 ± 5.6	13.4 ± 2.4	45.2	
				全段	159	40	22	6	20.1	12.2	6.7	63.4 ± 5.0	27.2 ± 5.8	12.5 ± 2.7	46.0	
				11月	上	54	6	4	1	10.0	6.9	3.3	63.5 ± 4.3	26.9 ± 5.2	11.9 ± 2.6	44.2
					中	46	12	10	0	20.7	17.9	0.0	62.0 ± 3.1	25.6 ± 3.6	11.4 ± 1.6	44.6
			11月	下	37	21	14	3	36.2	27.5	10.0	62.9 ± 3.7	26.7 ± 4.2	12.3 ± 2.2	46.1	
				全段	137	39	28	4	22.2	17.0	4.4	62.8 ± 3.7	26.4 ± 4.3	11.9 ± 2.1	45.0	

*死貝は分散直後の死貝を除いた値

**へい死率=(死貝数-分散直後の死貝数)÷(生貝数+死貝数-分散直後の死貝数)

表 7. 浦田地区における試験終了時のホタテガイの測定結果

地区	施設名	分散時期		生貝 (枚)	死貝 (枚)	*死貝 (枚)	異常貝 (枚)	へい死 率(%)	**へい死 率(%)	異常貝 率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部 指数
浦田	①	9月	上	44	14	2	2	24.1	4.3	6.7	71.9 ± 3.5	38.8 ± 6.6	17.2 ± 2.3	44.5
			中	58	18	0	0	23.7	0.0	0.0	72.1 ± 3.8	39.9 ± 6.0	17.8 ± 2.7	44.6
			下	44	13	1	2	22.8	2.2	6.7	70.4 ± 4.2	37.6 ± 6.9	16.8 ± 3.1	44.6
		全段	146	45	3	4	23.6	2.0	4.4	71.5 ± 3.8	38.8 ± 6.5	17.3 ± 2.7	44.5	
	②	11月	上	54	6	4	1	10.0	6.9	3.3	64.6 ± 3.3	30.1 ± 4.6	13.1 ± 2.2	43.7
			中	71	9	4	1	11.3	5.3	3.3	65.0 ± 3.9	30.1 ± 5.0	13.5 ± 2.3	44.8
			下	46	14	2	7	23.3	4.2	23.3	66.1 ± 4.3	31.4 ± 5.1	14.2 ± 2.3	45.1
		全段	171	29	10	9	14.5	5.5	10.0	65.2 ± 3.8	30.5 ± 4.9	13.6 ± 2.3	44.5	
	③	9月	上	68	12	2	2	15.0	2.9	6.7	71.5 ± 6.7	39.6 ± 9.3	17.5 ± 4.6	44.1
			中	86	23	7	4	21.1	7.5	13.3	68.9 ± 5.3	36.0 ± 6.9	16.5 ± 3.6	45.9
			下	61	27	6	2	30.7	9.0	6.7	67.4 ± 6.7	34.4 ± 8.7	15.4 ± 3.9	44.8
		全段	215	62	15	8	22.4	6.5	8.9	69.3 ± 6.2	36.7 ± 8.3	16.5 ± 4.0	44.9	
④	11月	上	65	2	1	1	3.0	1.5	3.3	64.5 ± 4.0	29.0 ± 5.1	12.2 ± 2.3	42.0	
		中	81	3	1	1	3.6	1.2	3.3	67.3 ± 3.9	32.3 ± 4.4	13.6 ± 2.2	42.1	
		下	70	2	1	0	2.8	1.4	0.0	64.6 ± 3.4	29.1 ± 4.0	12.1 ± 1.7	41.6	
	全段	216	7	3	2	3.1	1.4	2.2	65.5 ± 3.8	30.1 ± 4.5	12.6 ± 2.1	41.9		

*死貝は分散直後の死貝を除いた値

**へい死率=(死貝数-分散直後の死貝数)÷(生貝数+死貝数-分散直後の死貝数)

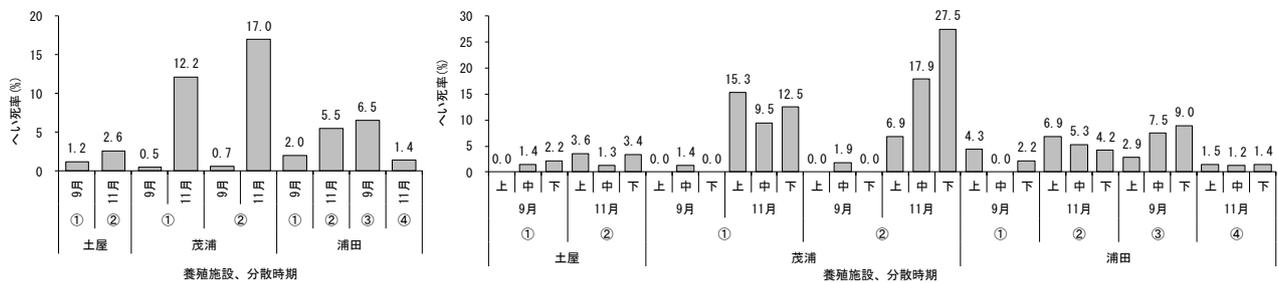


図 6-1. 試験終了時のへい死率（分散直後の死貝を除く、左は全段、右は段別、○数字は養殖施設の番号掲載、月は分散時期）

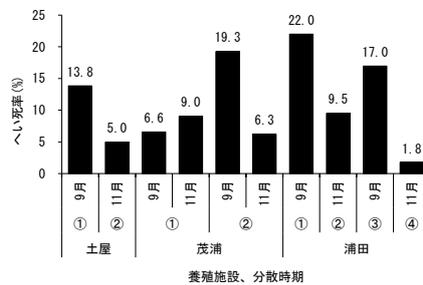


図 6-2. 試験終了時のへい死率（分散直後の死貝、○数字は養殖施設の番号、月は分散時期）

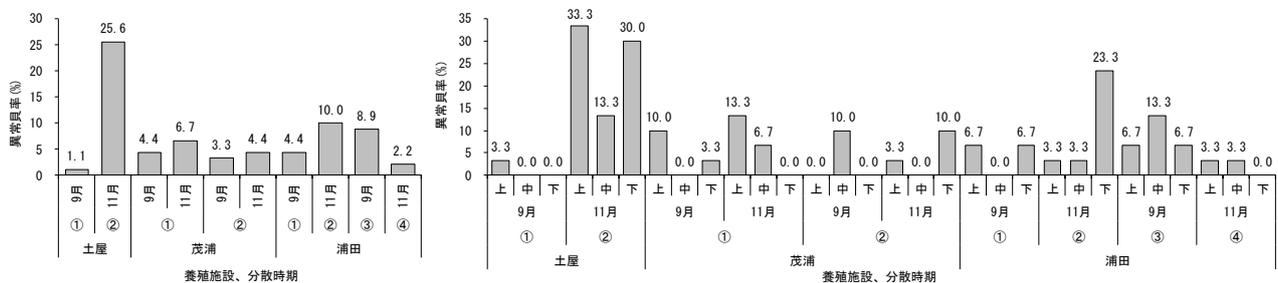


図 7. 試験終了時の異常貝率（左は全段、右は段別、○数字は養殖施設の番号、月は分散時期）

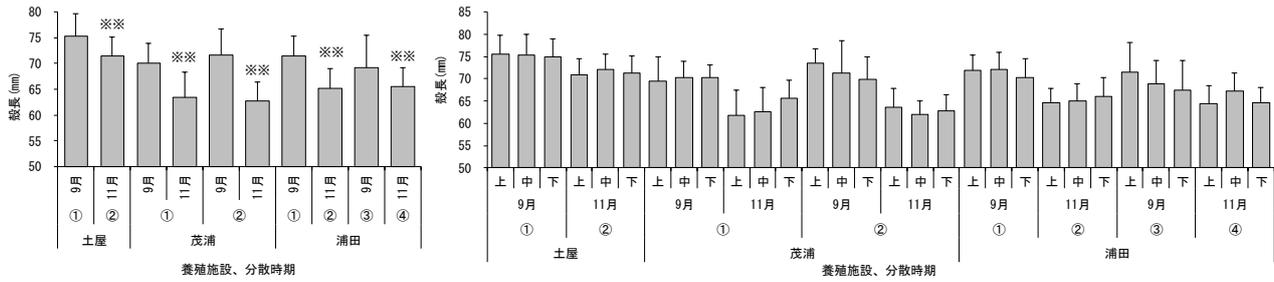


図 8. 試験終了時の平均殻長（○数字は養殖施設の番号、月は分散時期、バーは標準偏差、左は 1 連平均で**は 9 月と比較して $P < 0.01$ で有意差あり、右は段別）

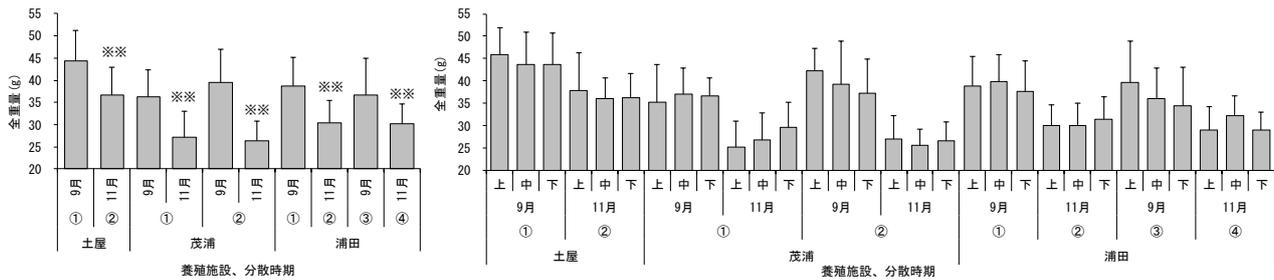


図 9. 試験終了時の平均全重量（○数字は養殖施設の番号、月は分散時期、バーは標準偏差、左は 1 連平均で**は 9 月と比較して $P < 0.01$ で有意差あり、右は段別）

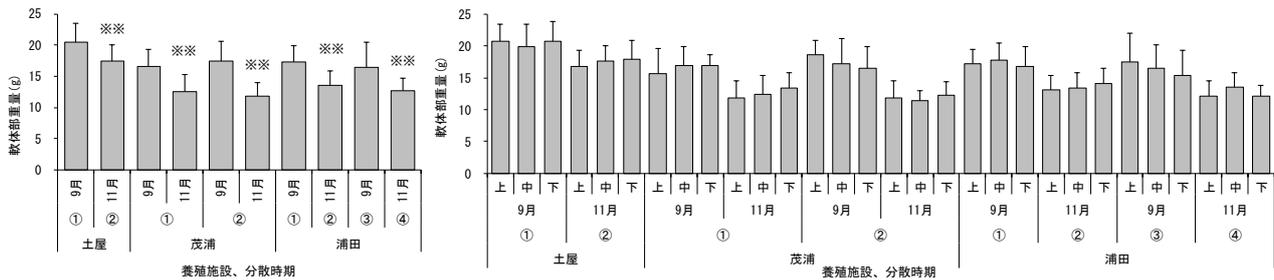


図 10. 試験終了時の平均軟体部重量（○数字は養殖施設の番号、月は分散時期、バーは標準偏差、左は 1 連平均で**は 9 月と比較して $P < 0.01$ で有意差あり、右は段別）

稚貝分散時及び試験終了時の殻長組成を図 11～15 に示した。ほとんどの施設において、稚貝分散時とほぼ変わらない殻長の死貝が試験終了時に多く見られたことから、へい死は稚貝分散直後に集中していたと考えられる。

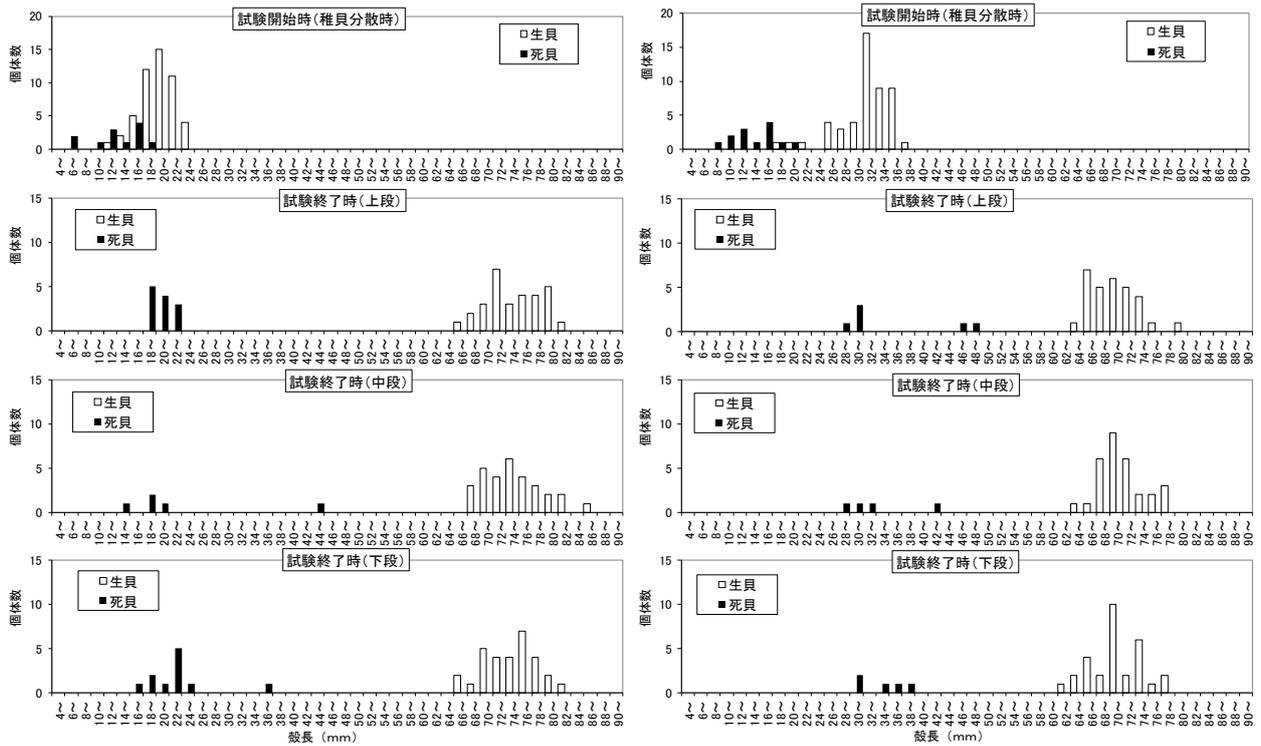


図 11. 平内町土屋地区の養殖施設①、②における稚貝分散時及び試験終了時における生死貝の殻長組成（左が 9 月分散の養殖施設①、右が 11 月分散の養殖施設②）

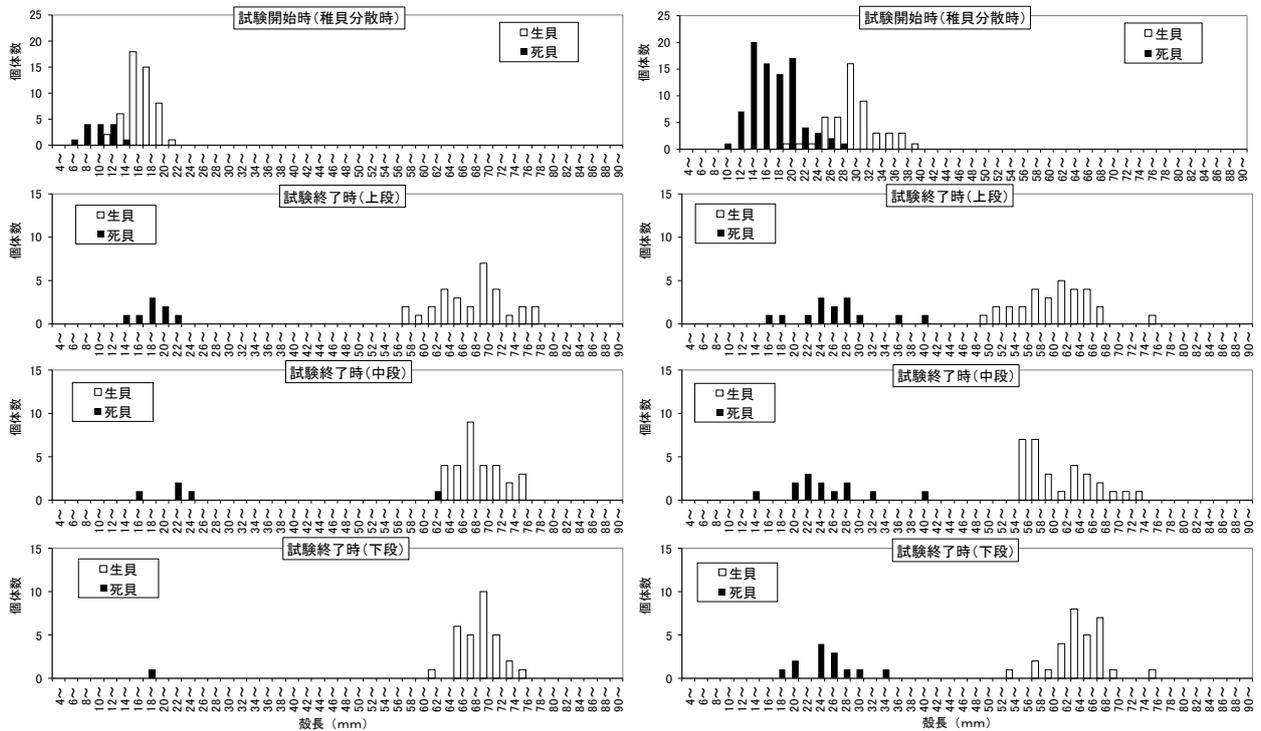


図 12. 平内町茂浦地区の養殖施設①における稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成（パールネットの錘は鉛 100 匁、左が 9 月分散、右が 11 月分散）

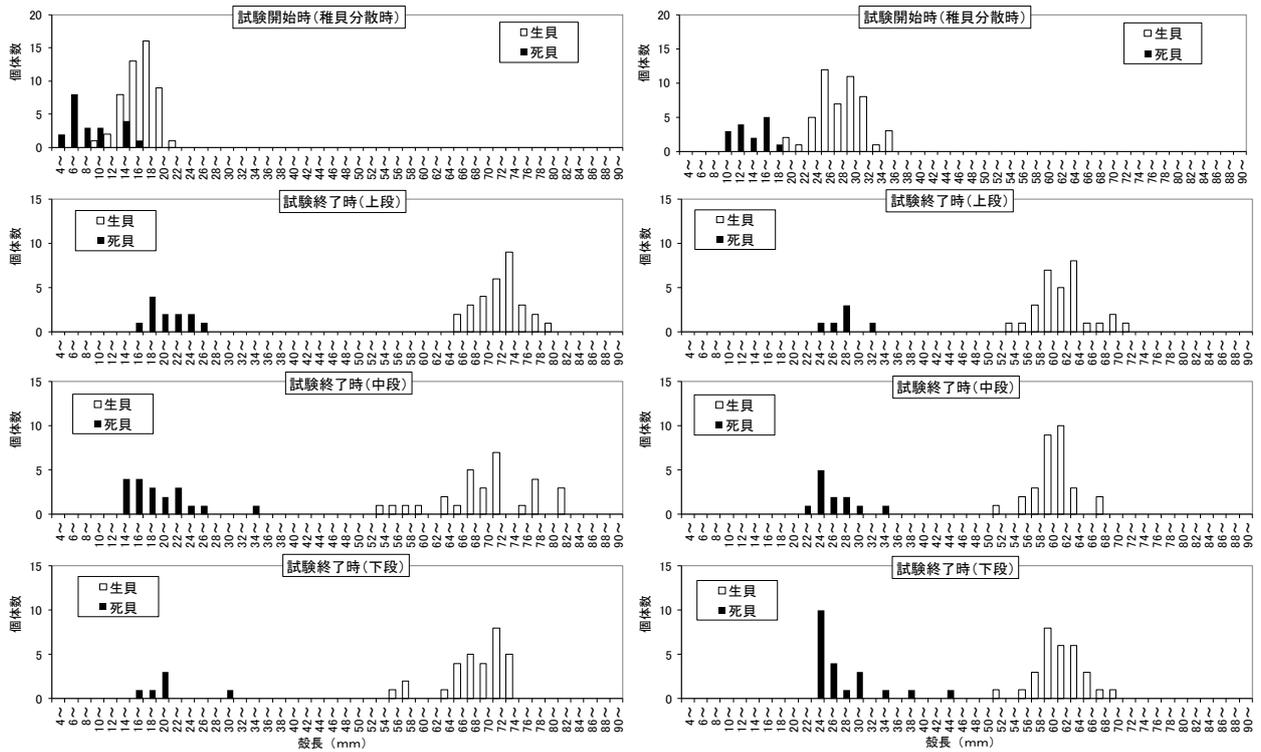


図 13. 平内町茂浦地区の養殖施設②における稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成 (左が9月分散、右が11月分散)

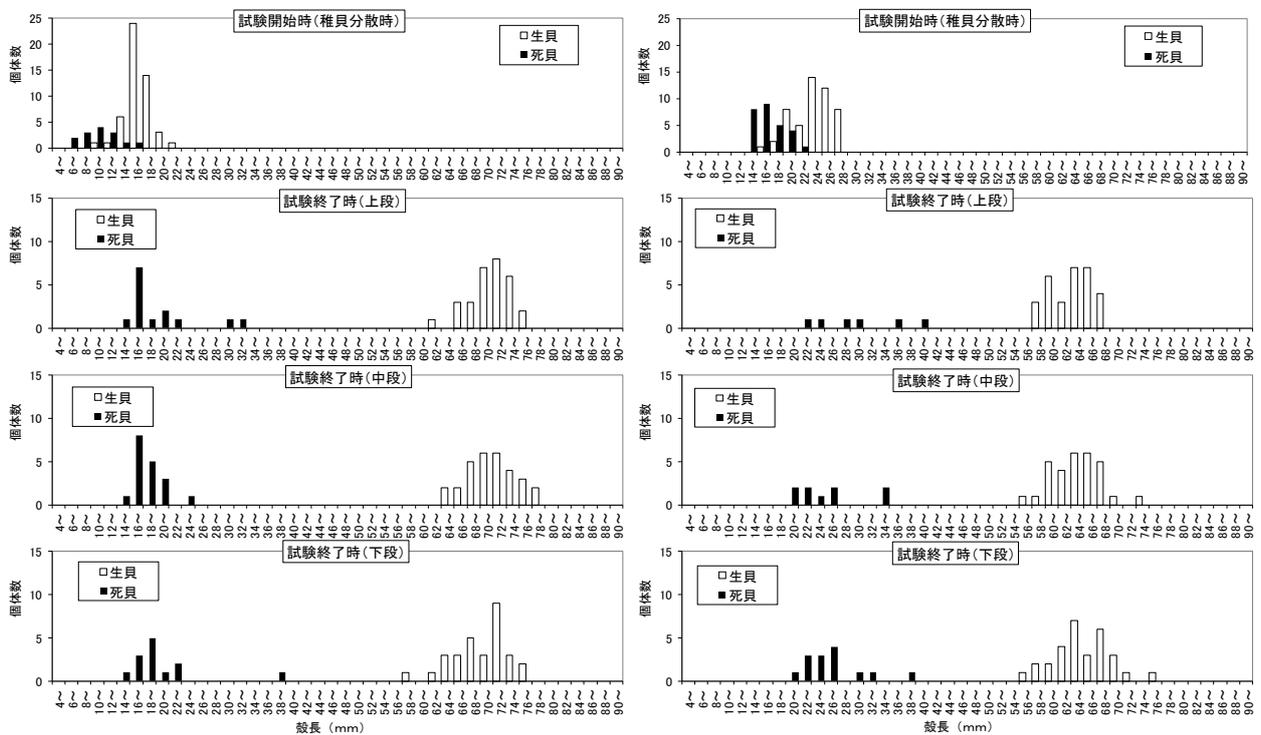


図 14. 平内町浦田地区の養殖施設①、②における稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成 (左が9月分散の養殖施設①、右が11月分散の養殖施設②)

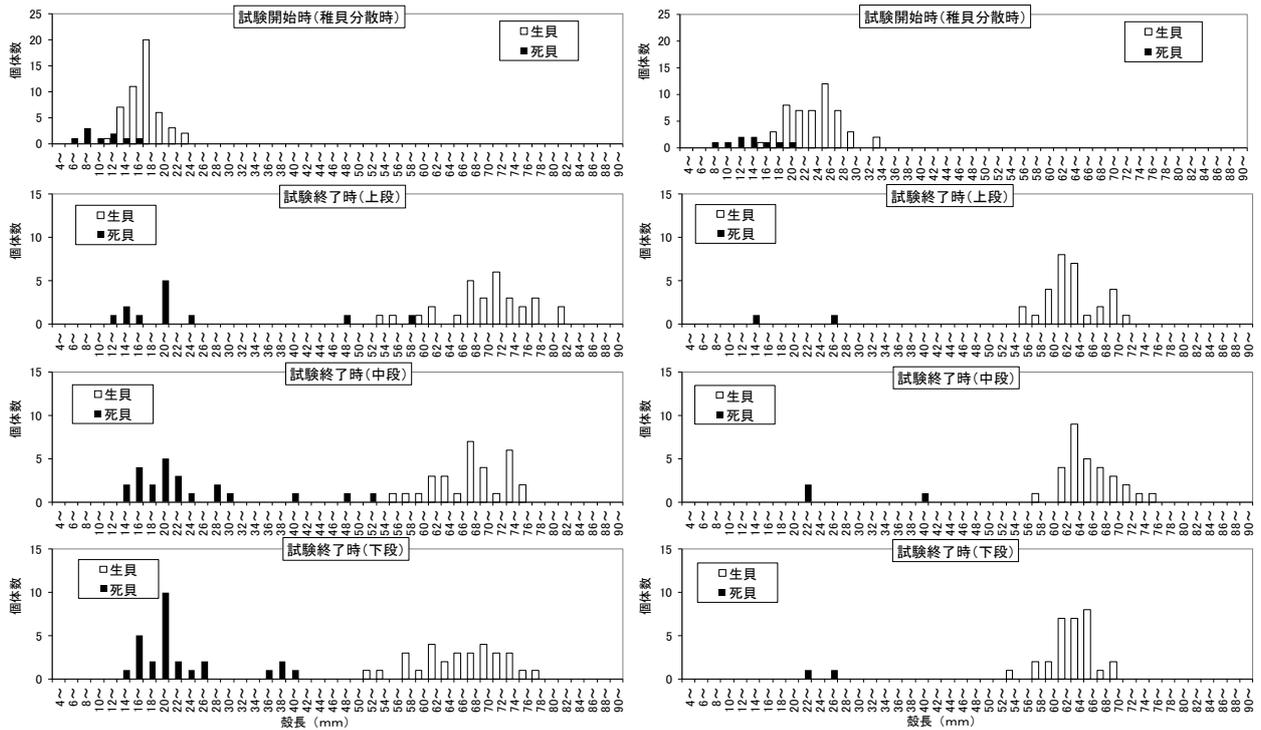


図 15. 平内町浦田地区の養殖施設③、④における稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成
(左が9月分散の養殖施設③、右が11月分散の養殖施設④)

(3) 幹綱水深の変化

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の幹綱水深の変化を図 16～23 に示した。ほとんどの施設では、ホタテガイや付着生物の成長で施設が徐々に沈んでいるのが確認されたが、稚貝の分散時期、パールネットの連数・段数・収容枚数、幹綱への浮球の追加（以下、玉付け）の違いにより、その変化は異なっていた。なお、浦田の養殖施設③は平成 29 年 10 月 27 日の玉付け後に激しい深度変化が 4 日間見られた。

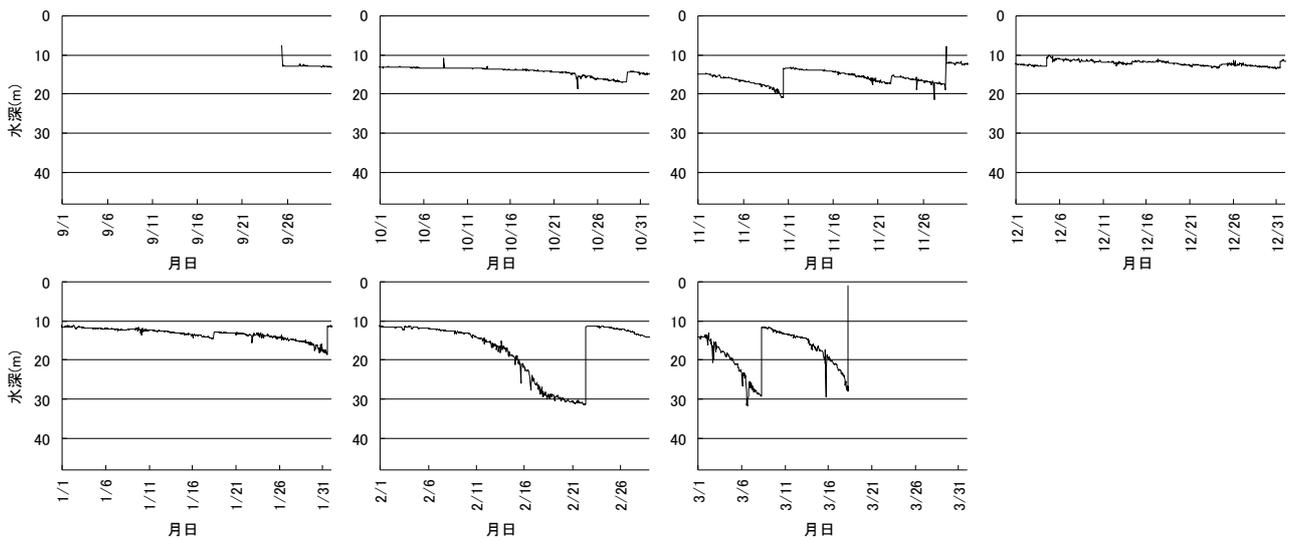


図 16. 平内町土屋地区の養殖施設①の幹綱水深（9月分散）

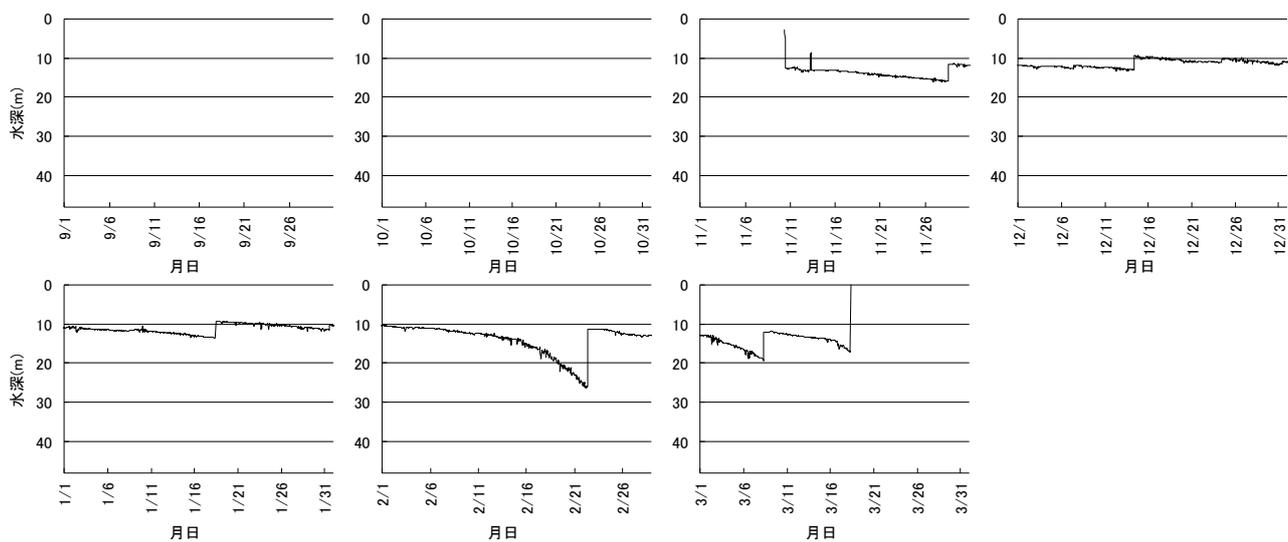


図 17. 平内町土屋地区の養殖施設②の幹網水深（11月分散）

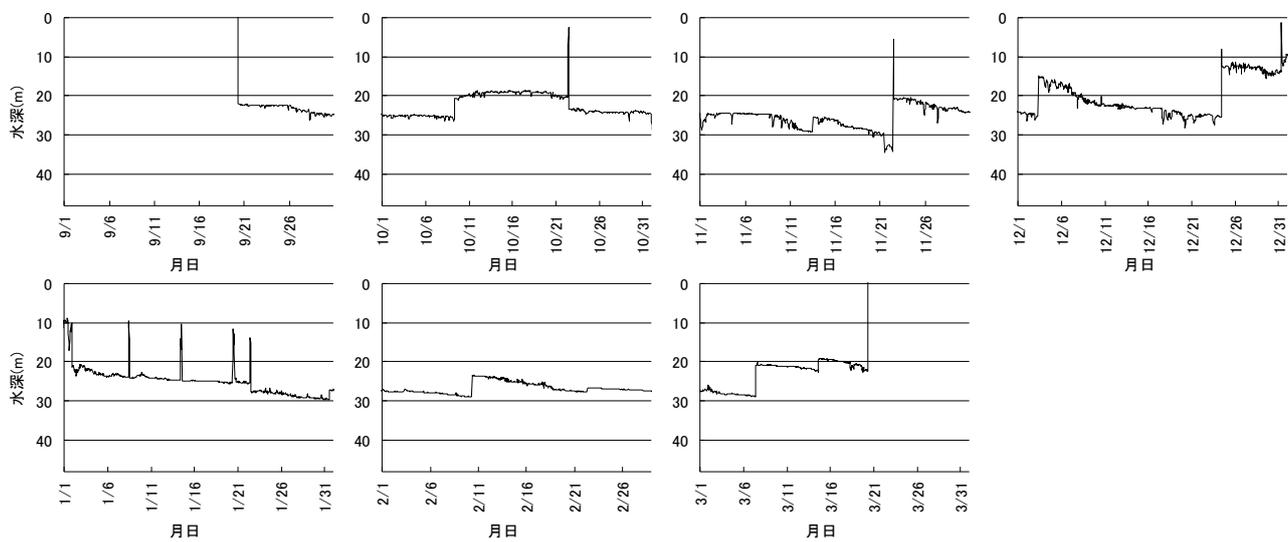


図 18. 平内町茂浦地区の養殖施設①の幹網水深（9月分散及び11月分散）

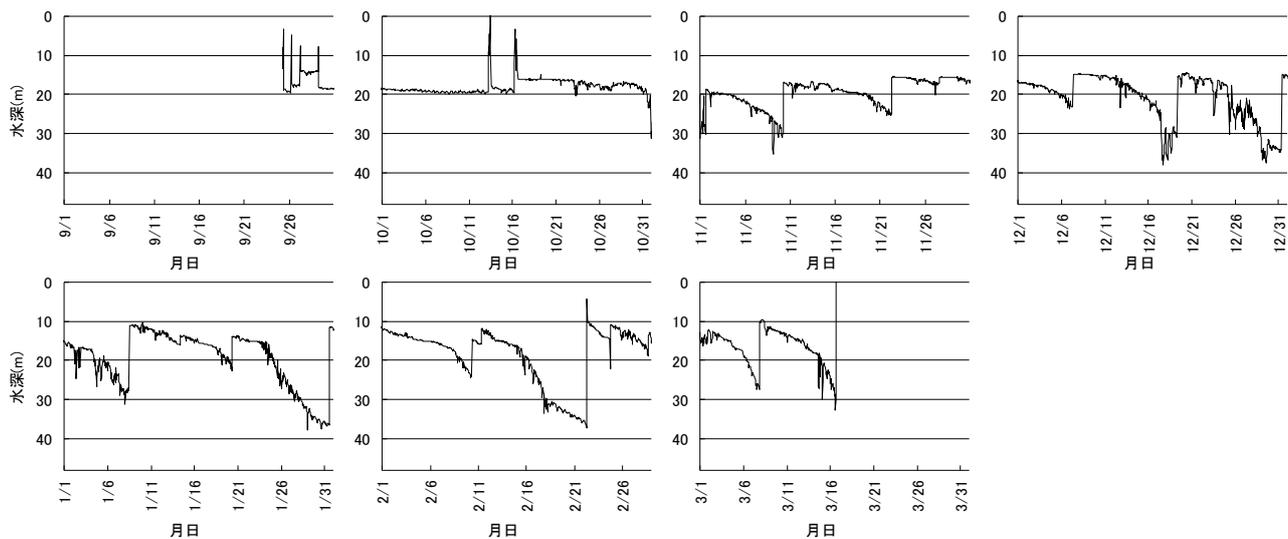


図 19. 平内町茂浦地区の養殖施設②の幹網水深（9月分散及び11月分散）

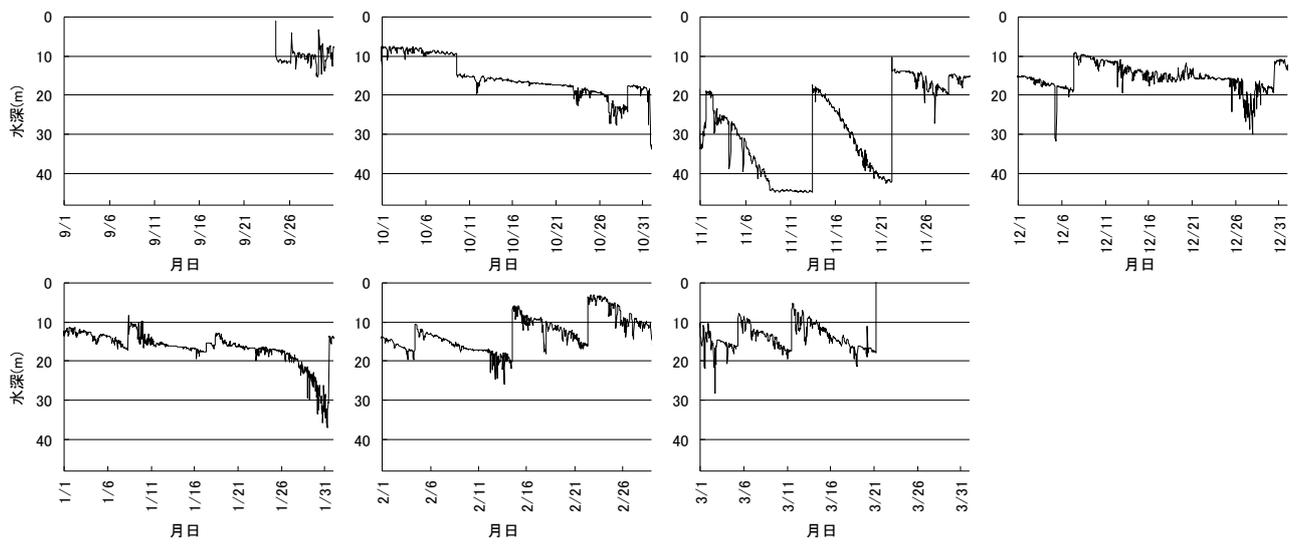


図 20. 平内町浦田地区の養殖施設①の幹綱水深（9月分散）

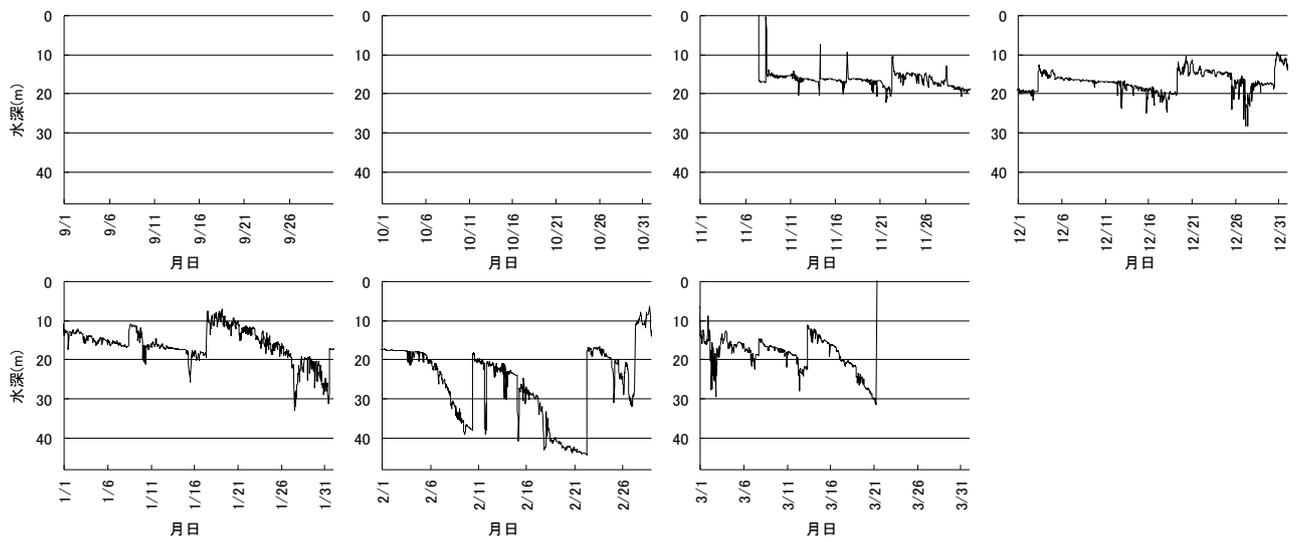


図 21. 平内町浦田地区の養殖施設②の幹綱水深（11月分散）

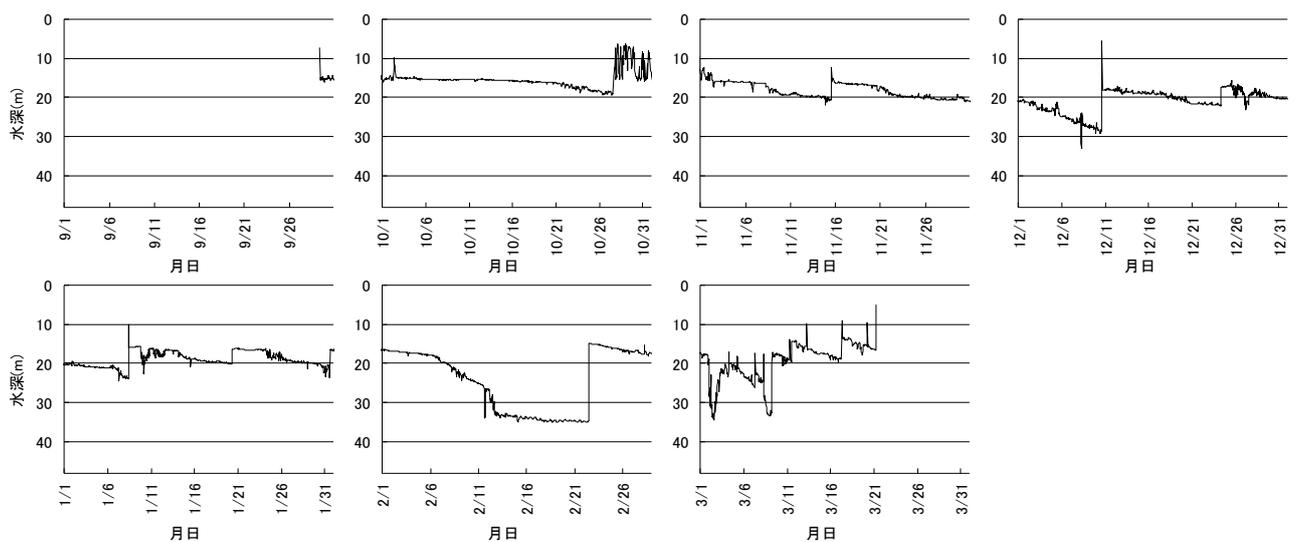


図 22. 平内町浦田地区の養殖施設③の幹綱水深（9月分散）

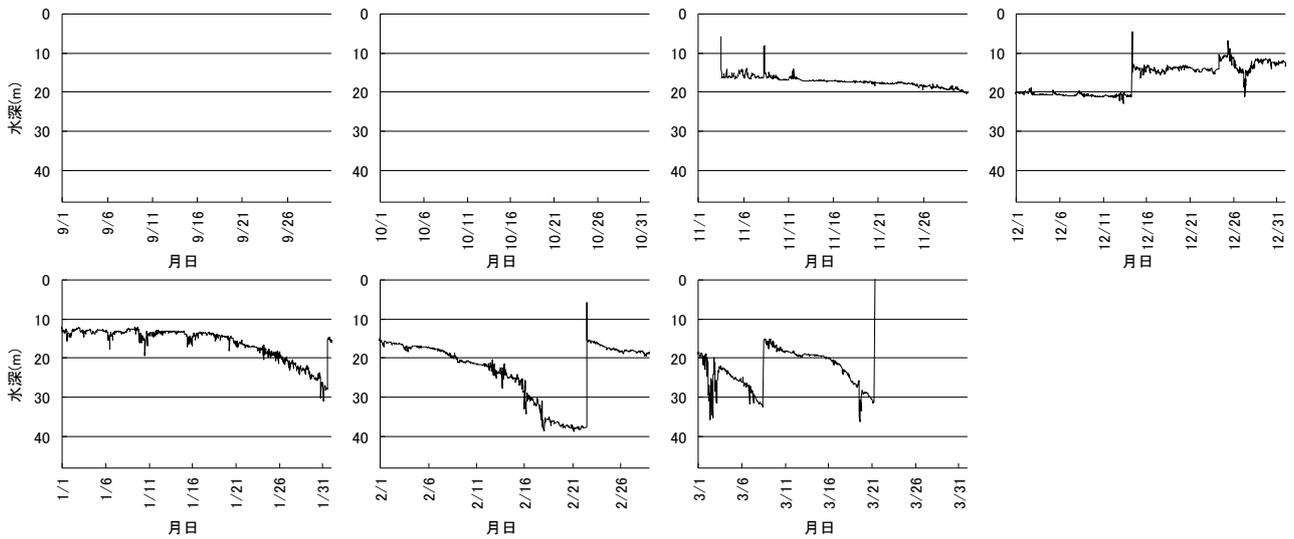


図 23. 平内町浦田地区の養殖施設④の幹綱水深（11月分散）

(4) 幹綱及びパールネットの動揺

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の幹綱とパールネット下段の加速度を図 24～28 に示した。ほとんどの養殖施設の加速度は概ね $\pm 0.2\text{m/s}^2$ と小さかったが、茂浦の養殖施設①の幹綱で 1m/s^2 を超える大きな値が見られた。

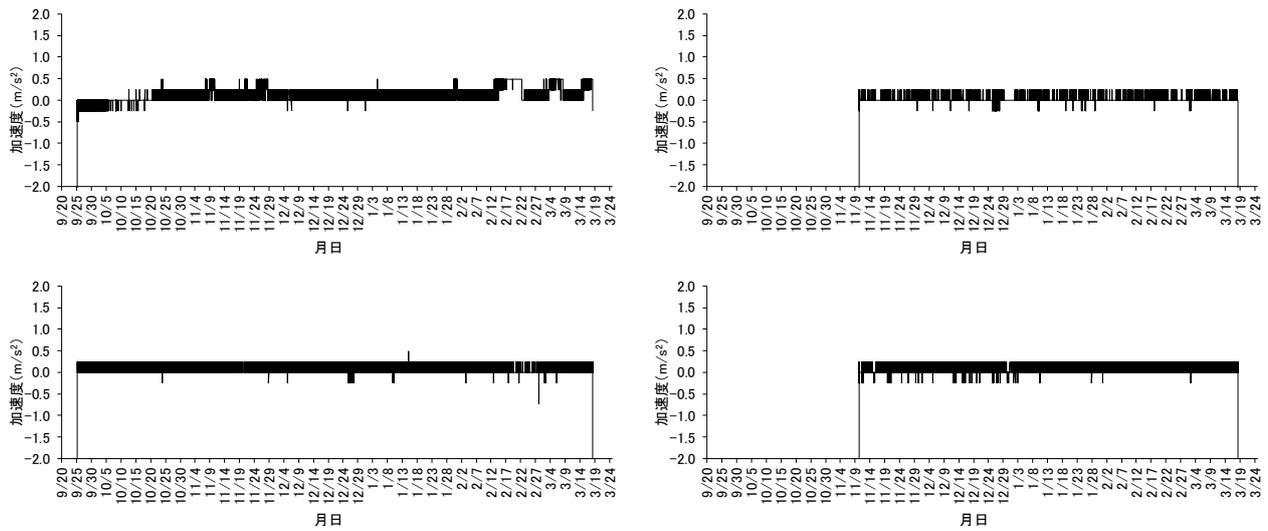


図 24. 平内町土屋地区の養殖施設①、②の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度
（左が 9 月分散の養殖施設①、右が 11 月分散の養殖施設②、上が幹綱、下はパールネット）

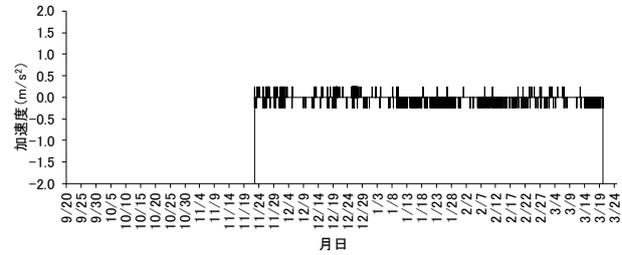
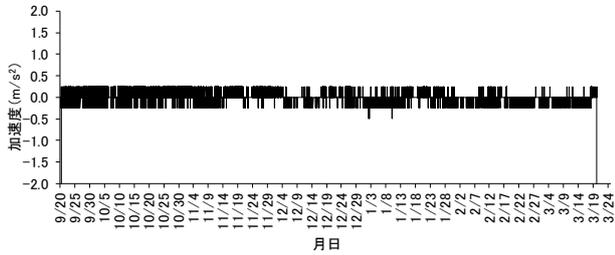
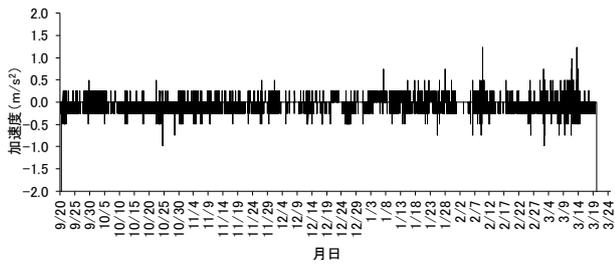


図 25. 平内町茂浦地区の養殖施設①の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度
(左が9月分散、右が11月分散、上が幹綱、下はパールネット)

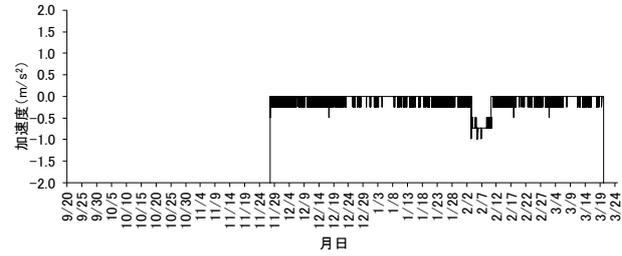
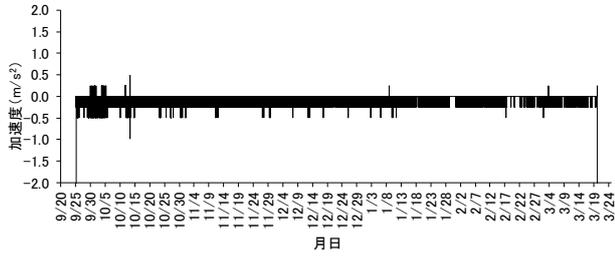
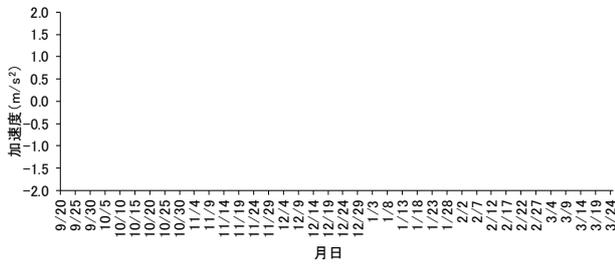


図 26. 平内町茂浦地区の養殖施設②のパールネット下段の垂直方向における加速度
(左が9月分散、右が11月分散、上が幹綱で欠測、下はパールネット)

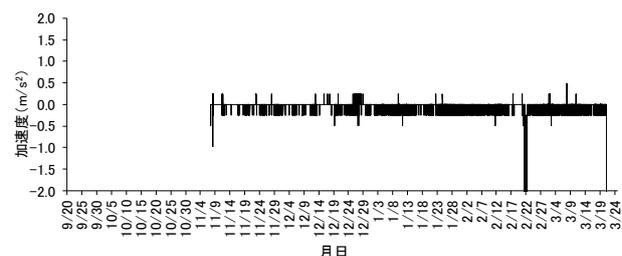
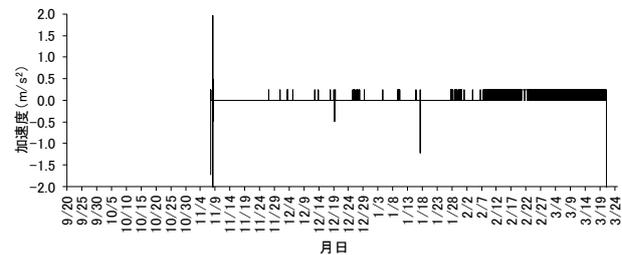
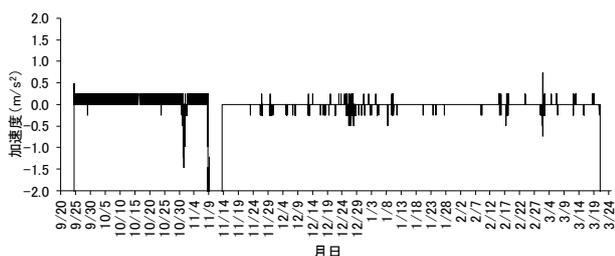
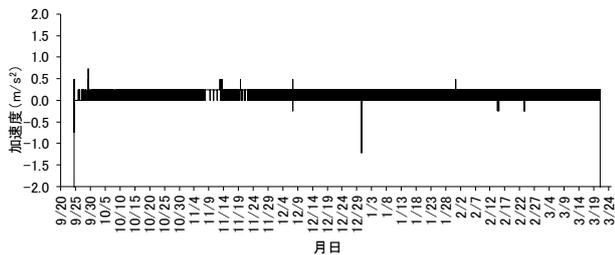


図 27. 平内町浦田地区の養殖施設①、②の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度
(左が9月分散の養殖施設①、右が11月分散の養殖施設②、上が幹綱、下はパールネット)

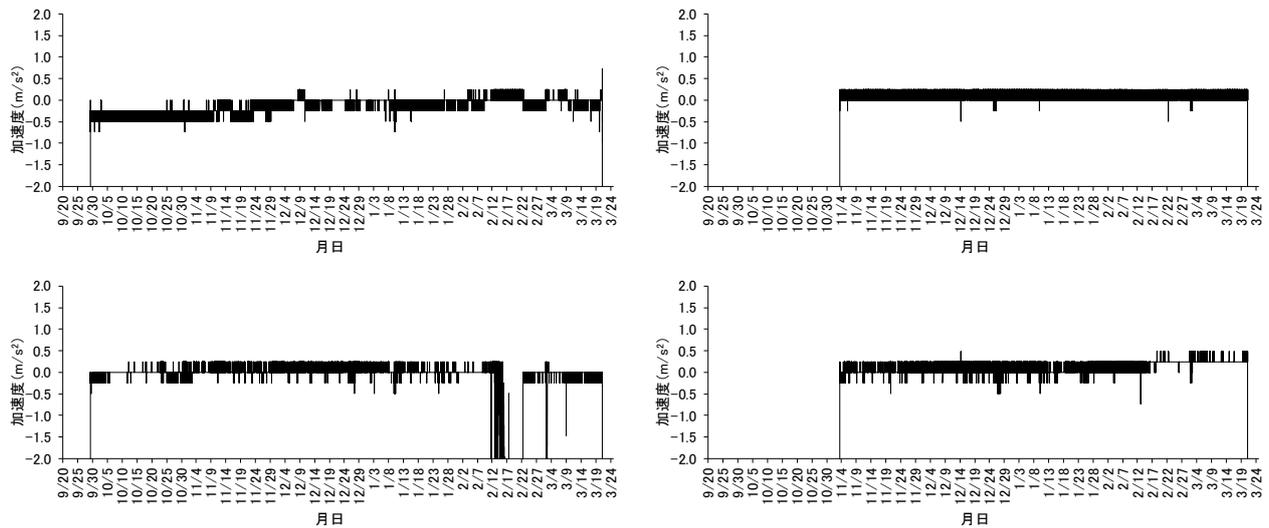


図 28. 平内町浦田地区の養殖施設③、④の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度
(左が9月分散の養殖施設③、右が11月分散の養殖施設④、上が幹綱、下はパールネット)

(5) 流向・流速

平成 29 年 11 月から試験終了時までの期間における養殖施設の流向流速の推移を図 29～35 に示した。各月の最高流速は 11 月が 0.14m/s、12 月が 0.20m/s、1 月が 0.23m/s、2 月が 0.14m/s、3 月が 0.18m/s であった。地点別、月別で見ると、浦田の養殖施設③（9 月分散）の 1 月の 0.23m/s が最も速く、次いで浦田の養殖施設②（11 月分散）の 3 月の 0.18m/s、土屋の養殖施設②の 1 月の 0.17m/s の順となっている。

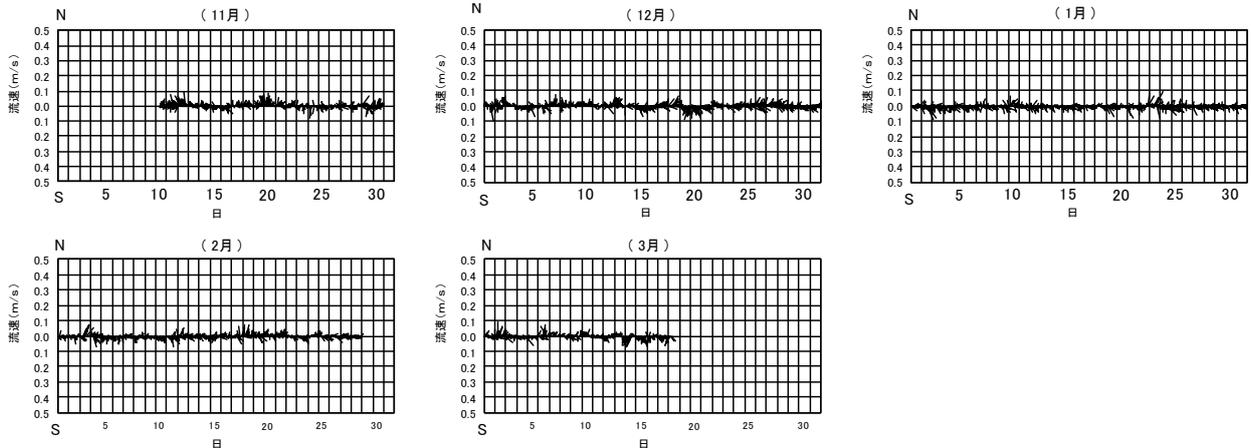


図 29. 平内町土屋地区の養殖施設②の流向流速

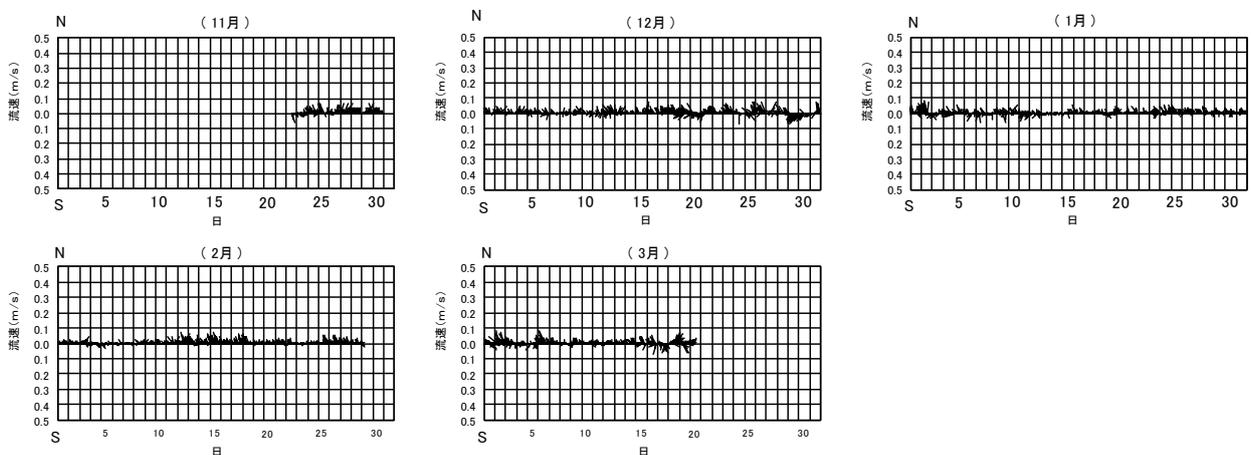


図 30. 平内町茂浦地区の養殖施設①の流向流速

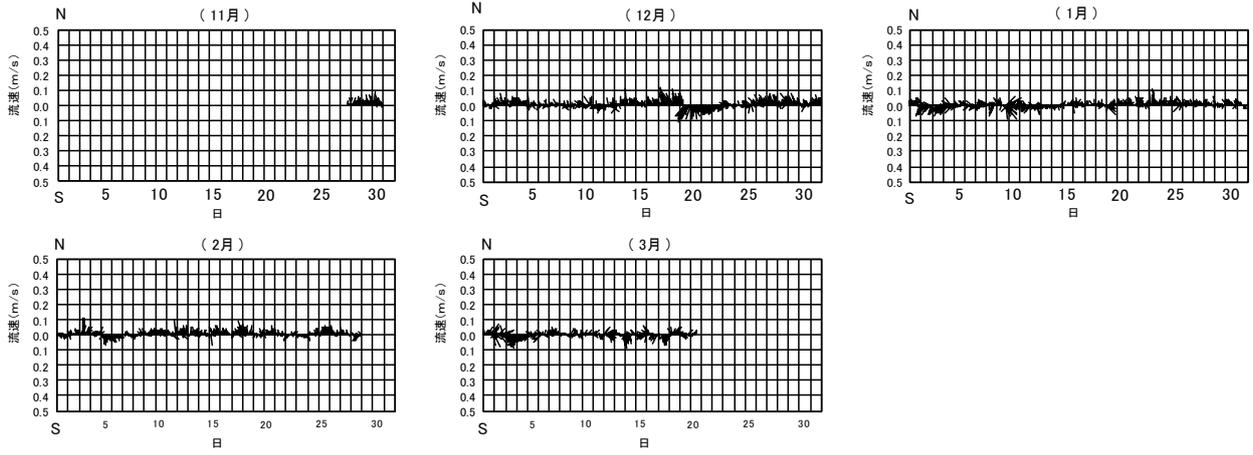


図 31. 平内町茂浦地区の養殖施設②の流向流速

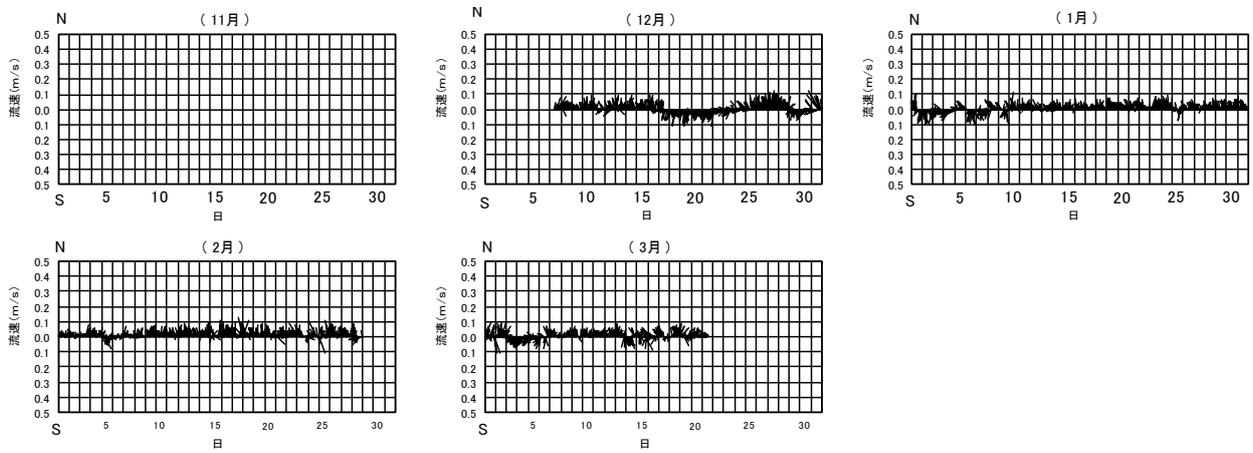


図 32. 平内町浦田地区の養殖施設①の流向流速 (9月分散)

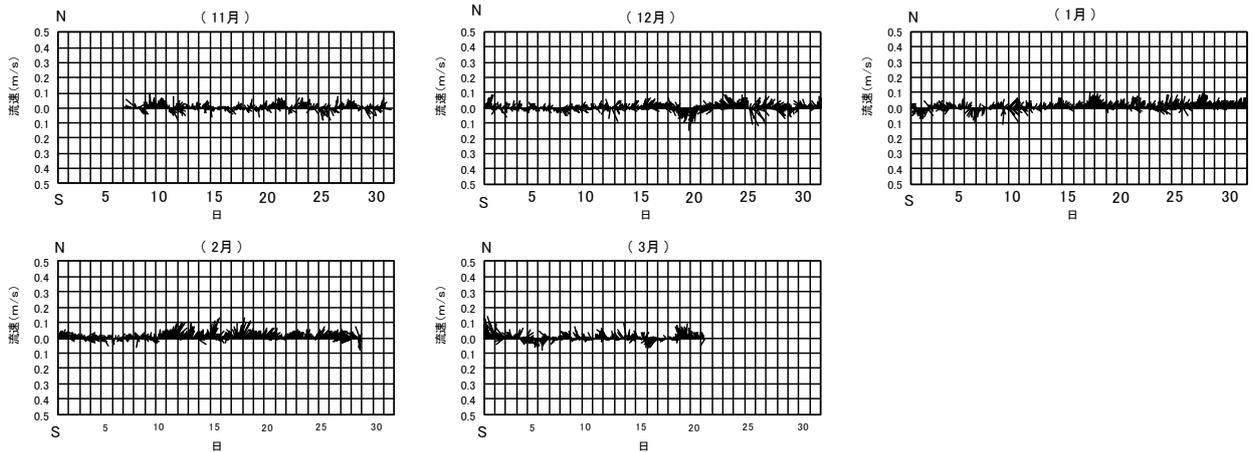


図 33. 平内町浦田地区の養殖施設②の流向流速 (11月分散)

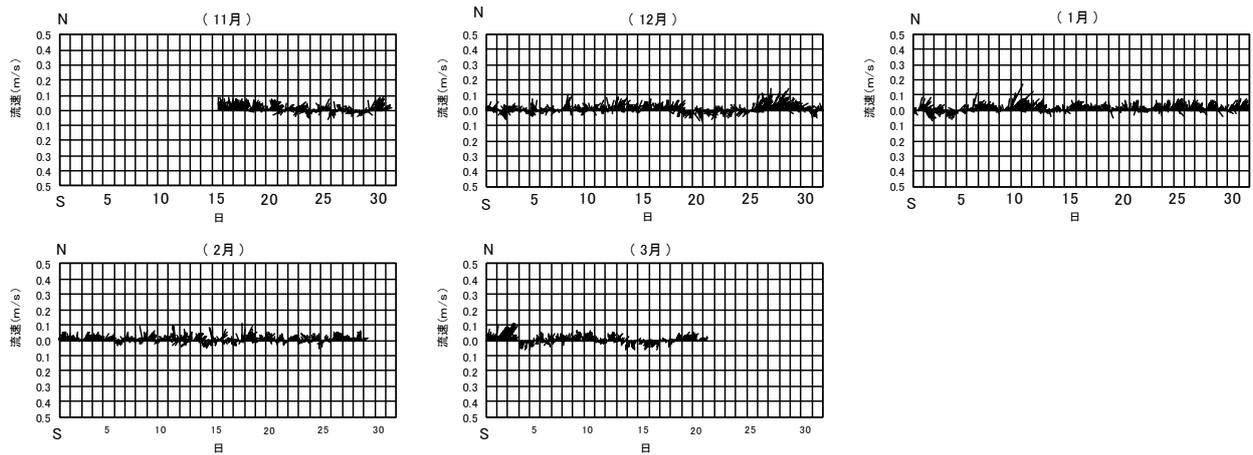


図 34. 平内町浦田地区の養殖施設③の流向流速（9月分散）

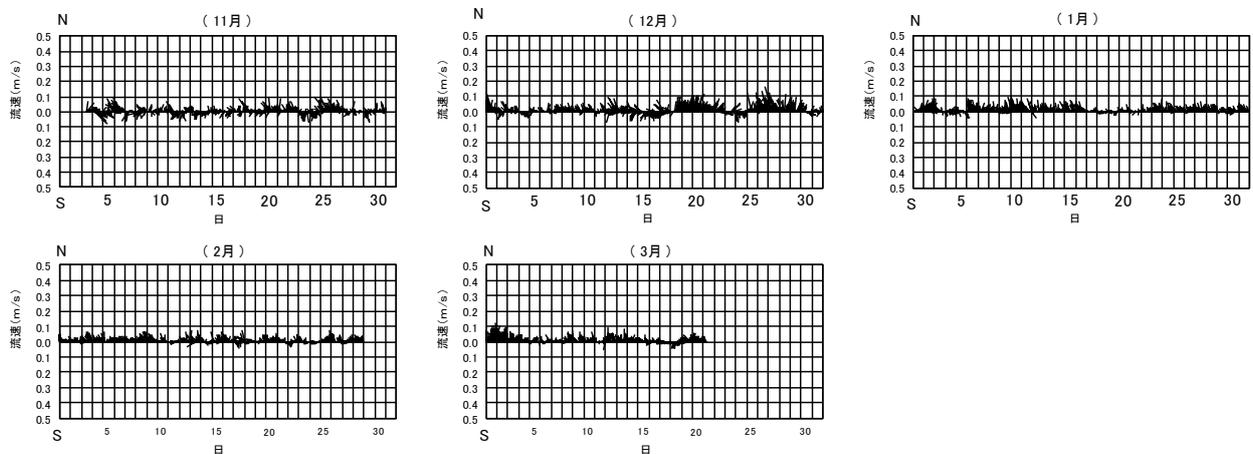


図 35. 平内町浦田地区の養殖施設④の流向流速（11月分散）

(6) 水温

平成 29 年 11 月から試験終了時までの期間における養殖施設の水温の推移を図 36～38 に示した。全ての施設において、11 月に 15℃ 台だった水温が平成 30 年 3 月上旬にかけて 6℃ 前後まで低下した後、徐々に上昇した。



図 36. 平内町土屋地区の養殖施設②の水溫

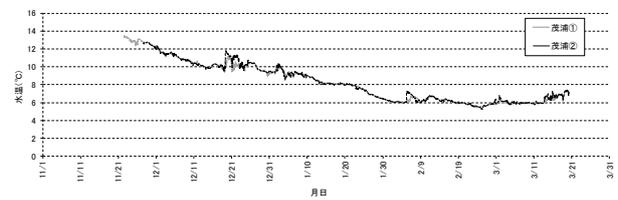


図 37. 平内町茂浦地区の養殖施設①、②の水溫



図 38. 平内町浦田地区の養殖施設①、②、③、④の水溫

(7) 考察

稚貝分散時におけるへい死率、異常貝率は、9月分散より11月分散が高かった。これはホタテガイ稚貝の成長に伴いパールネット内で過密状態となり、稚貝同士の噛み合わせやパールネットに擦れ易くなるためと考えられた。

試験終了時における稚貝分散直後の死貝を除くへい死率及び異常貝率は、浦田の養殖施設③、④以外はいずれも9月分散より11月分散が高かった。図22の幹綱水深の変化を見ると、浦田の養殖施設③は平成29年10月27日の玉付け後に激しい深度変化が4日間見られたことから、この影響があったものと考えられた。

試験終了時における分散直後の稚貝のへい死率は、茂浦の養殖施設①を除いて、11月分散より9月分散が高かった。これは平成29年7月27日から8月21日にかけて約1ヶ月間続いたヤマセによる流れの影響¹⁾と考えられた。

稚貝分散時における殻長は、9月分散より11月分散が大きかったが、試験終了時における殻長は、11月分散より9月分散が大きかった。これは半成貝の成長を決定する要因²⁾として、稚貝分散時の殻長より、分散時期の影響が大きいためである。

以上の結果をまとめると、へい死を軽減し、成長の良いホタテガイを生産するためには、稚貝分散を早めに行い、へい死率や異常貝率が低い稚貝を用いることが重要と考えられた。なお、収容枚数が少ない場合は、11月分散であってもへい死率、異常貝率が低かったことから、稚貝分散が遅れる場合は収容枚数を少なくすることが有効と考えられた。また、平成29年のようなヤマセが多い年³⁾は速い流れが生じやすく、パールネット内で稚貝同士が噛み合わせしたり、パールネットに擦れたりして、稚貝に外傷が生じている可能性がある。そのような場合に、稚貝がまだ小さく、種苗の良し悪しの判別が付き難い9月に稚貝分散すると、分散直後のへい死が増え、耳吊り時や成貝向けの入替え作業時に稚貝不足を来したり、1連当りの半成貝出荷重量の低下に繋がる可能性があることから、稚貝分散時の収容枚数には注意が必要である。

2. へい死率を低減するための養殖方法の開発

(1) 錘比較試験

1) ホタテガイの測定結果

試験終了時の測定結果を表8に、へい死率を図39-1、39-2に、異常貝率を図40に、平均殻長、平均全重量、平均軟体部重量を図41～43に示した。

9月分散の試験終了時における分散直後の死貝を除いたへい死率は、錘なし区、太枠区、鉛100匁区がそれぞれ2.4%、1.2%、0.5%、稚貝分散直後のへい死率は、錘なし区、太枠区、鉛100匁区がそれぞれ11.6%、13.3%、6.6%であり、いずれも鉛100匁区より、錘なし区、太枠区が高かった。

11月分散の試験終了時における分散直後の死貝を除いたへい死率は、錘なし区、太枠区、鉛100匁区がそれぞれ9.2%、5.9%、12.2%で太枠区が低く、稚貝分散直後のへい死率は、錘なし区、太枠区、鉛100匁区がそれぞれ7.0%、10.1%、9.0%で太枠区が高かった。

異常貝率は9月分散、11月分散ともに明瞭な差は見られなかった。

成長については、錘なし区と比較した場合、9月分散の鉛100匁区の全重量、軟体部重量が有意(全重量 $P<0.05$ 、軟体部重量 $P<0.01$)に小さかったほか、11月分散の鉛100匁区の軟体部重量が有意($P<0.05$)に大きかった。

表 8. 錘比較試験の試験終了時におけるホタテガイの測定結果

地区	分散時期	錘の種類	生貝(枚)	死貝(枚)	*死貝(枚)	異常貝(枚)	へい死率(%)	**へい死率(%)	異常貝率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部指数	
茂浦	9月	錘なし	上	57	10	2	2	14.9	3.4	6.7	71.7 ± 4.1	40.1 ± 6.6	18.2 ± 2.6	45.5
			中	59	7	0	0	10.6	0.0	0.0	71.5 ± 4.3	38.9 ± 6.6	17.8 ± 3.1	45.8
			下	48	9	2	4	15.8	4.0	13.3	69.3 ± 4.6	37.1 ± 7.3	17.2 ± 3.4	46.3
			全段	164	26	4	6	13.7	2.4	6.7	70.9 ± 4.3	38.7 ± 6.8	17.8 ± 3.0	45.9
		太枠	上	66	10	1	3	13.2	1.5	10.0	72.2 ± 4.2	39.0 ± 6.1	17.2 ± 2.9	44.2
			中	33	7	1	3	17.5	2.9	10.0	71.2 ± 4.3	38.6 ± 5.7	17.2 ± 2.5	44.5
			下	69	11	0	0	13.8	0.0	0.0	69.8 ± 3.3	35.7 ± 5.0	16.2 ± 2.4	45.2
			全段	168	28	2	6	14.3	1.2	6.7	71.1 ± 3.9	37.8 ± 5.6	16.9 ± 2.6	44.6
		鉛100匁	上	56	8	0	3	12.5	0.0	10.0	69.5 ± 5.4	35.3 ± 8.4	15.7 ± 3.9	44.5
			中	73	5	1	0	6.4	1.4	3.3	70.3 ± 3.7	37.1 ± 5.9	17.0 ± 2.9	45.8
			下	55	1	0	1	1.8	0.0	3.3	70.3 ± 2.7	36.7 ± 3.9	17.0 ± 1.7	46.2
			全段	184	14	1	4	7.1	0.5	5.6	70.0 ± 3.9	36.3 ± 6.0	16.5 ± 2.8	45.5
	11月	錘なし	上	53	9	5	0	14.5	8.6	0.0	62.9 ± 4.0	26.6 ± 4.9	12.0 ± 2.1	45.0
			中	67	10	5	4	13.0	6.9	13.3	62.0 ± 4.6	25.6 ± 4.9	11.6 ± 2.2	45.2
			下	48	12	7	2	20.0	12.7	6.7	61.3 ± 6.1	25.1 ± 6.2	11.7 ± 3.0	46.6
			全段	168	31	17	6	15.6	9.2	6.7	62.1 ± 4.9	25.8 ± 5.4	11.7 ± 2.4	45.6
		太枠	上	59	4	0	3	6.3	0.0	10.0	62.6 ± 4.6	26.4 ± 5.9	11.4 ± 2.6	43.4
			中	63	17	0	3	21.3	0.0	10.0	61.9 ± 5.1	25.5 ± 6.0	11.2 ± 2.7	43.8
			下	54	11	11	2	16.9	16.9	6.7	64.0 ± 4.1	27.3 ± 5.3	11.9 ± 2.4	43.8
			全段	176	32	11	8	15.4	5.9	8.9	62.8 ± 4.6	26.4 ± 5.8	11.5 ± 2.6	43.6
		鉛100匁	上	50	14	9	4	21.9	15.3	13.3	61.8 ± 5.7	25.2 ± 5.7	11.8 ± 2.8	46.8
			中	67	13	7	2	16.3	9.5	6.7	62.7 ± 5.3	26.8 ± 6.1	12.4 ± 3.0	46.2
			下	42	13	6	0	23.6	12.5	0.0	65.6 ± 4.1	29.6 ± 5.6	13.4 ± 2.4	45.2
			全段	159	40	22	6	20.1	12.2	6.7	63.4 ± 5.0	27.2 ± 5.8	12.5 ± 2.7	46.0

*死貝は分散直後の死貝を除いた値

**へい死率=(死貝数-分散直後の死貝数)÷(生貝数+死貝数-分散直後の死貝数)

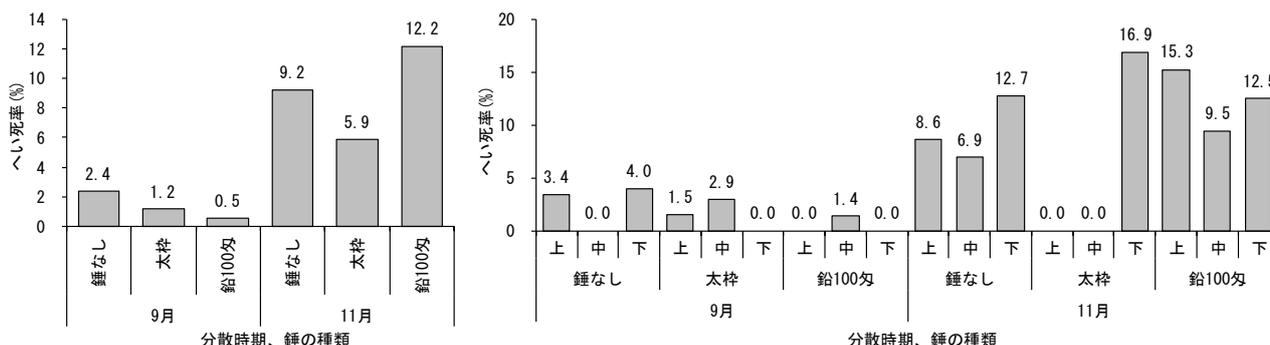


図39-1. 錘比較試験の試験終了時におけるへい死率（左は全段、右は段別、分散直後の死貝を除く）

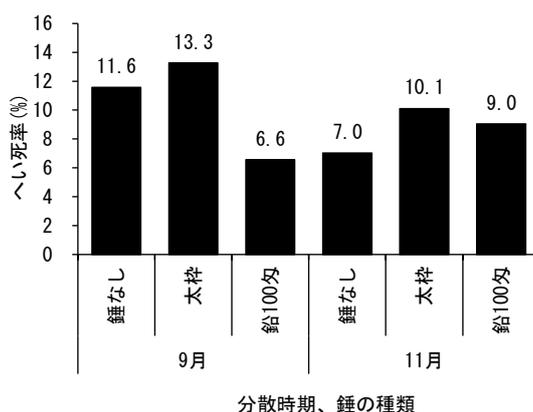


図 39-2. 錘比較試験の試験終了時のへい死率（分散直後の死貝）

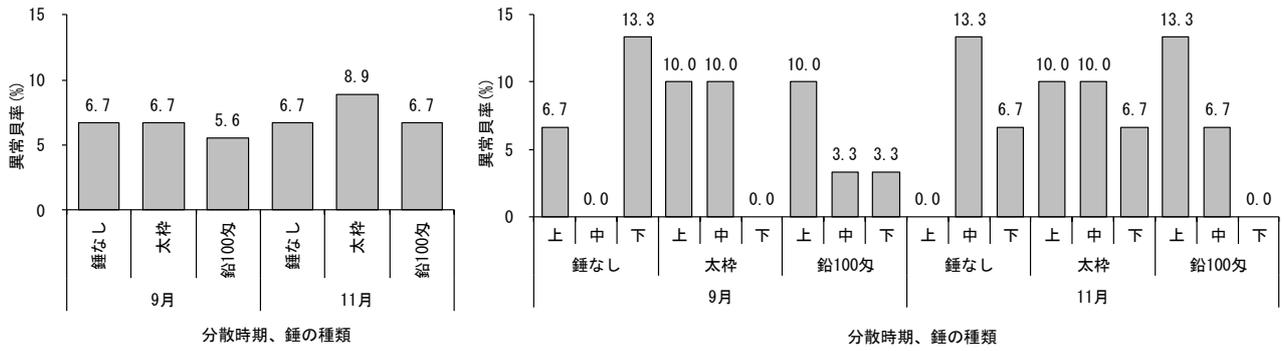


図40. 錘比較試験の試験終了時における異常貝率（左は全段、右は段別）

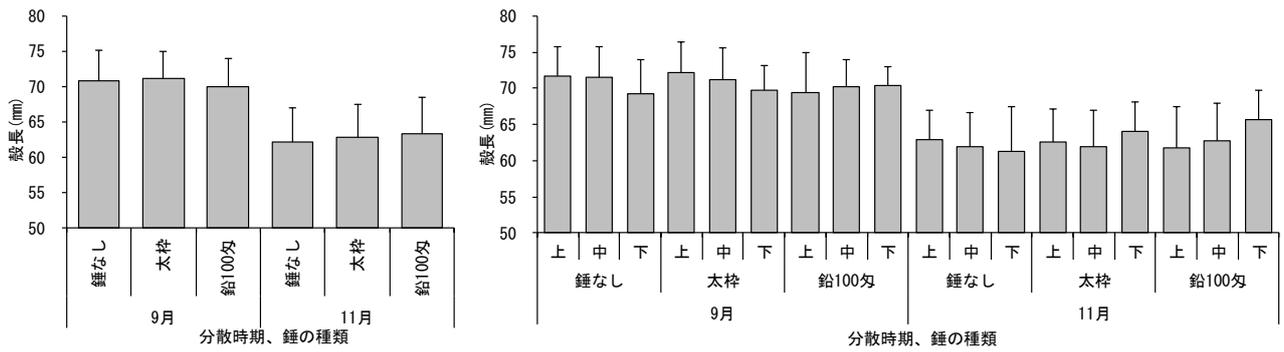


図41. 錘比較試験の試験終了時における平均殻長（バーは標準偏差、左は1連平均、右は段別）

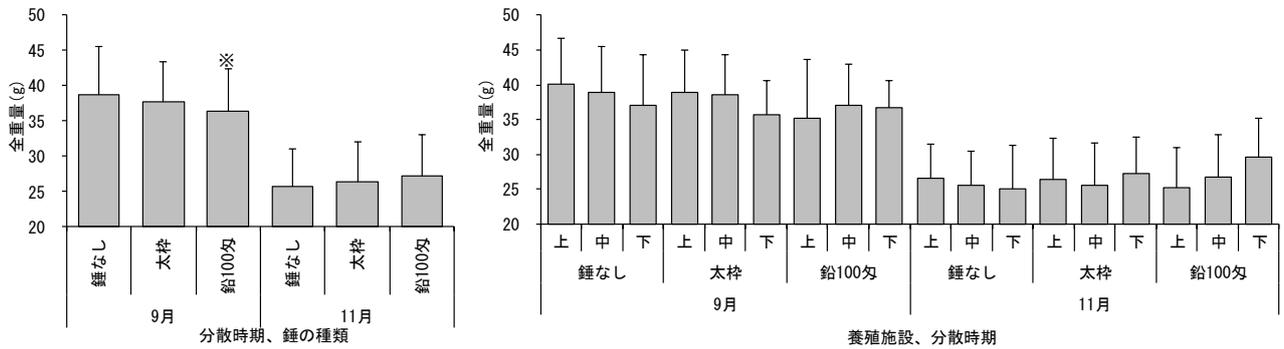


図42. 錘比較試験の試験終了時における平均全重量（バーは標準偏差、左は1連平均で錘なし区と比較して※はP<0.05で有意差あり、右は段別）

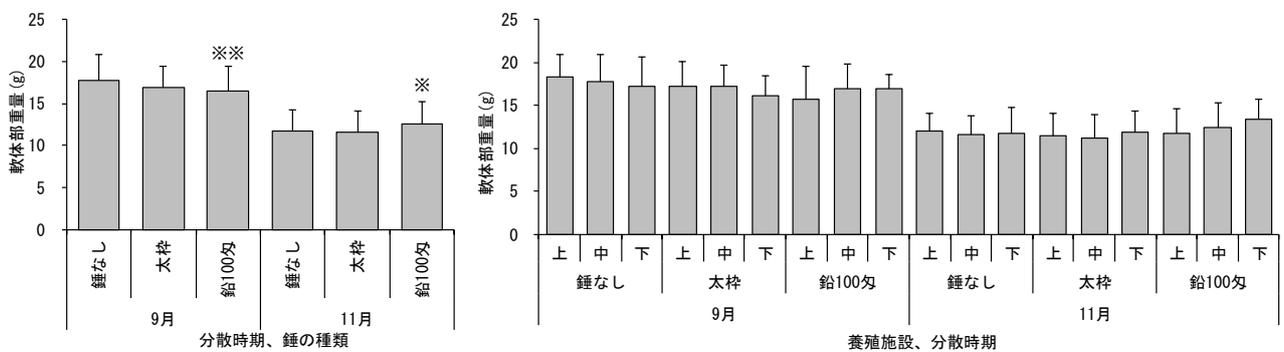


図43. 錘比較試験の試験終了時における平均軟体部重量（バーは標準偏差、左は1連平均で錘なし区と比較して※※はP<0.01、※はP<0.05で有意差あり、右は段別）

稚貝分散時及び試験終了時の殻長組成を図 44～46 に示した。9 月分散の鍾なし区と太枠区は稚貝分散後に数 mm から 1cm ほど成長してへい死した死貝が多かったが、それ以外のサンプルでは稚貝分散時とほぼ変わらない殻長の死貝が試験終了時に多く見られたことから、へい死は稚貝分散直後に集中していたと考えられる。

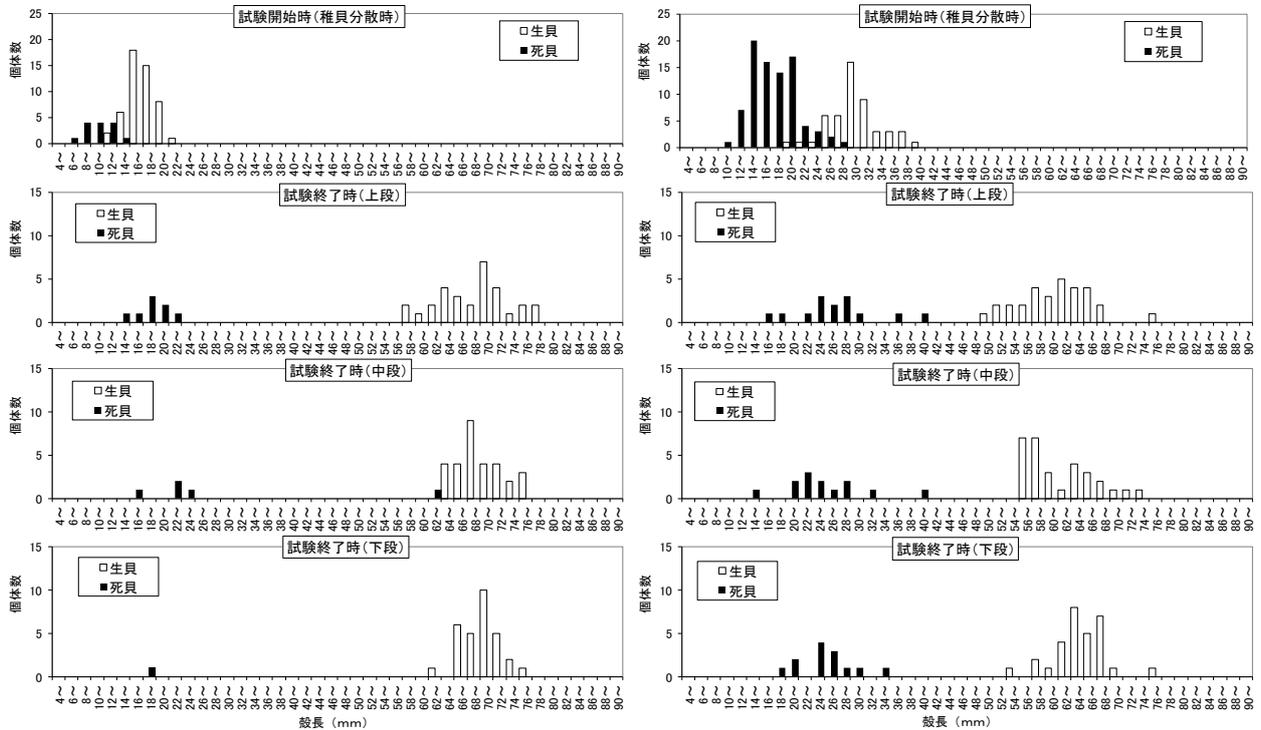


図 44. 鍾比較試験における平内町茂浦地区の養殖施設①の稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成（パールネットの鍾は鉛 100 匁、左が 9 月分散、右が 11 月分散）

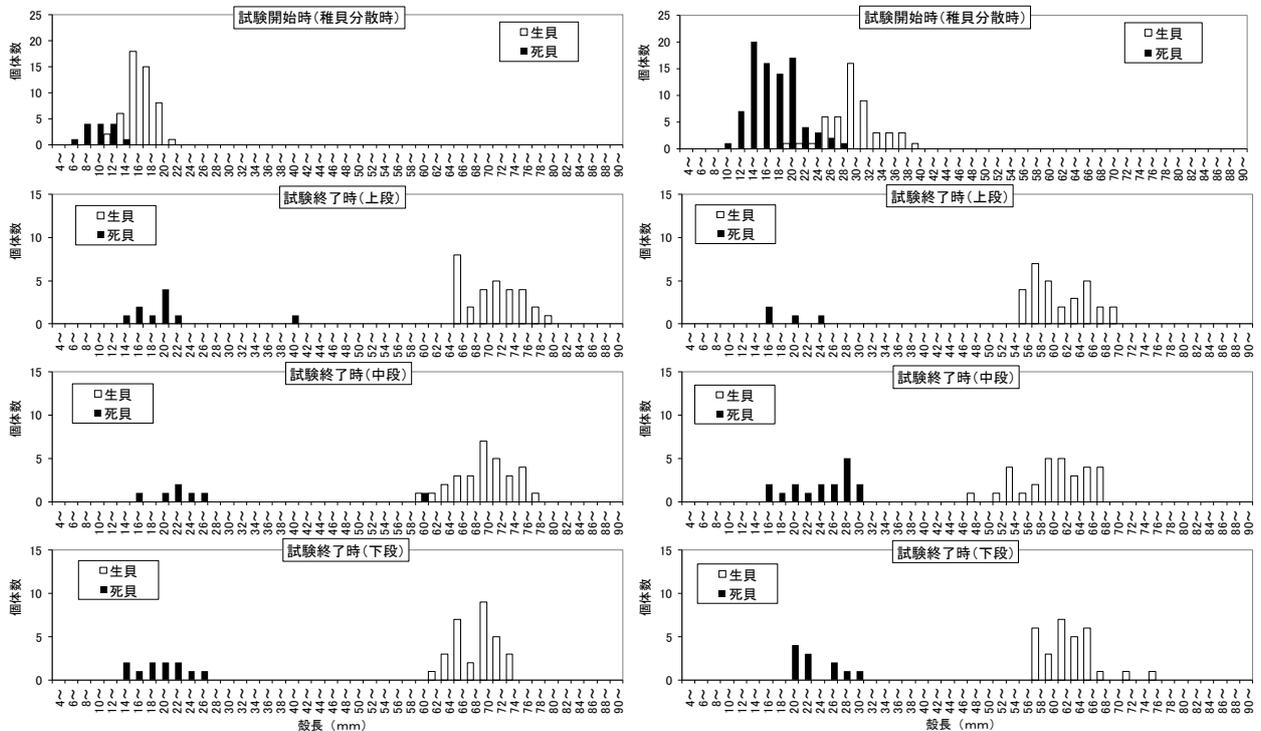


図 45. 鍾比較試験における平内町茂浦地区の養殖施設①の稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成（パールネットの鍾は太枠、左が 9 月分散、右が 11 月分散）

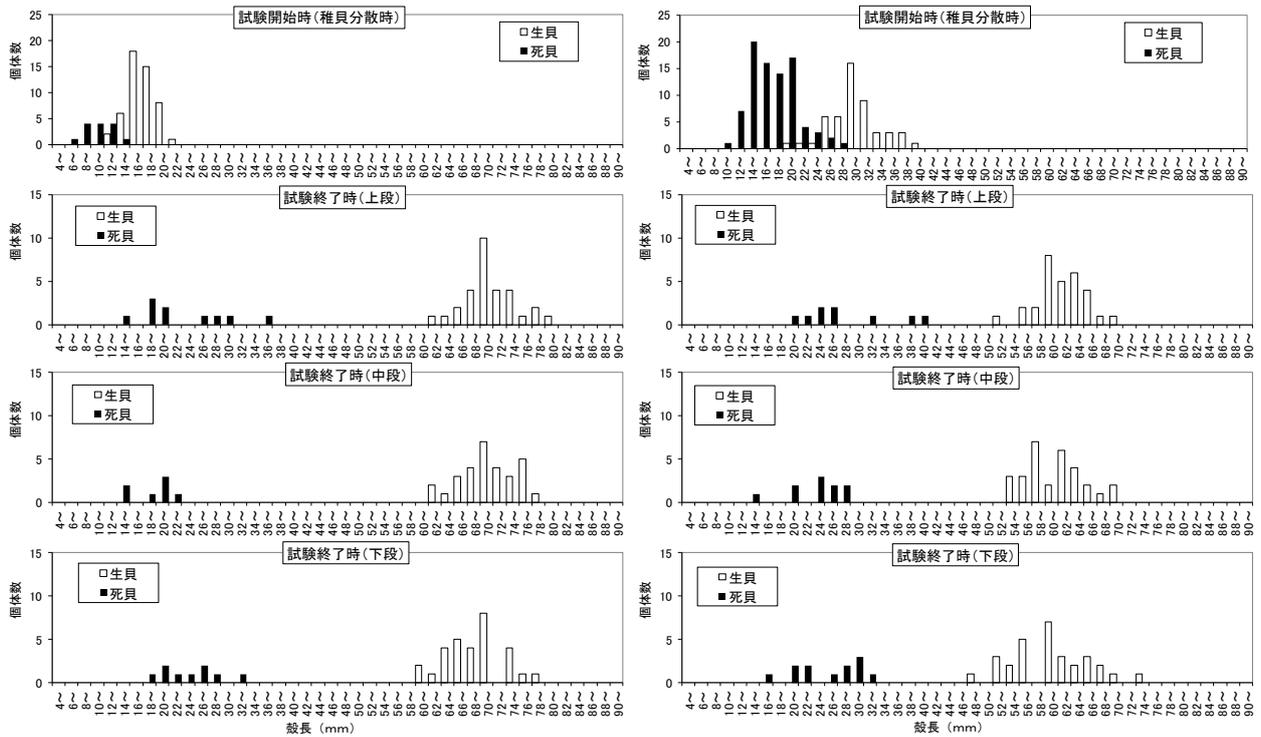


図 46. 鍾比較試験における平内町茂浦地区の養殖施設①の稚貝分散時及び試験終了時の生死貝の殻長組成（パールネットの鍾なし、左が9月分散、右が11月分散）

2) パールネットの動揺

パールネット下段の鉛直方向における加速度の推移を図 47 に示した。鉛 100 匁区は $\pm 0.2\text{m/s}^2$ 程度であったが、太枠区は -0.7m/s^2 の値が時々見られ、鍾なし区は $\pm 1.0\text{m/s}^2$ 以上の値が頻繁に見られた。

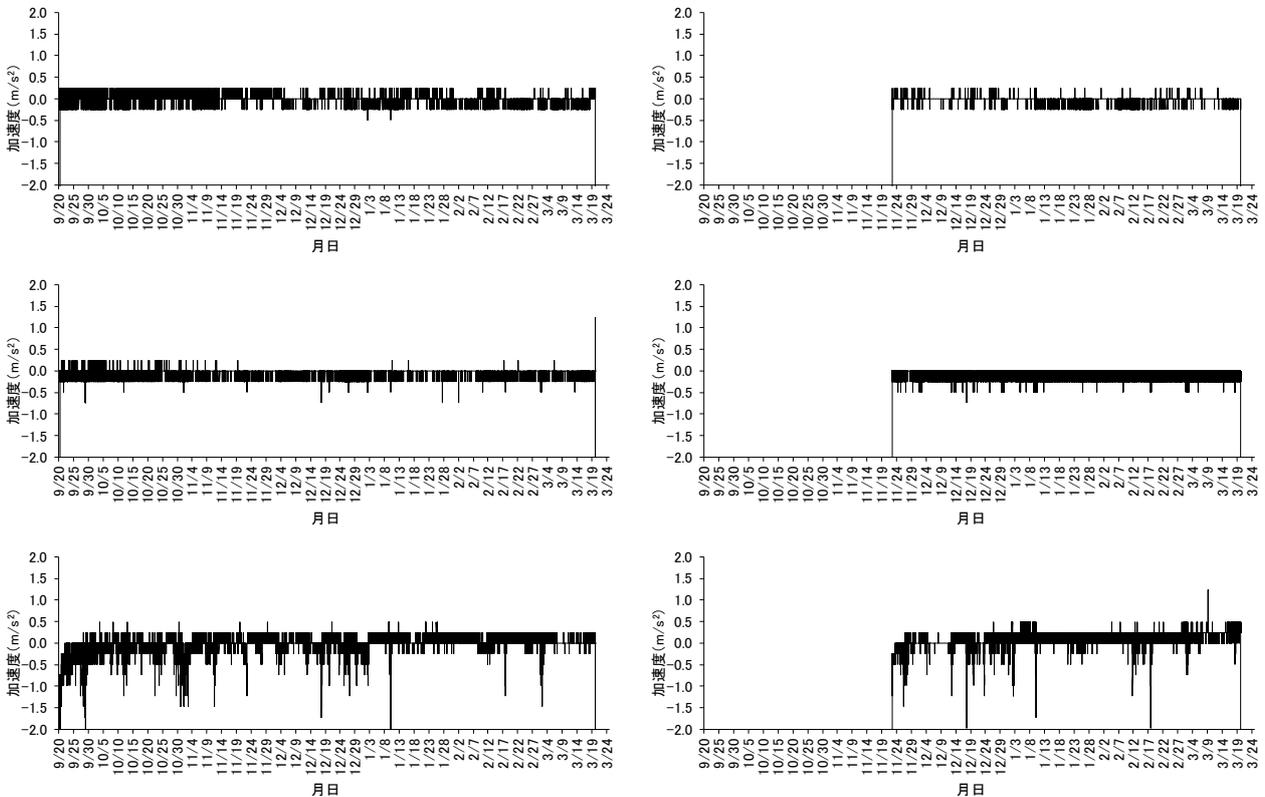


図 47. 鍾比較試験におけるパールネット下段の垂直方向における加速度（左が9月分散、右が11月分散、上から鉛 100 匁区、太枠区、鍾なし区）

3) 考察

9月分散は鉛100匁区より、錘なし区と太枠区のへい死率が高かったが、これは稚貝が小さく、パールネット全体の重量も軽いことから、流れの影響を受けやすかったためと考えられた。全重量や軟体部重量は、錘なし区と太枠区より、鉛100匁区が小さかったが、これは錘なし区と太枠区の収容枚数が鉛100匁区より1割少なかったためと考えられた。

11月分散は錘の種類との関係ははっきりと見られなかったが、これは①稚貝の成長に伴い、パールネット全体の重量も重くなり、流れの影響を受けにくくなったこと、②錘の影響よりも、稚貝分散の遅れの影響が大きかったことによるものと考えられた。

(2) 収容枚数比較試験

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表9に、養殖施設の基本構造を表10に、養殖施設の構造等を表11に示した。

表9. 養殖作業及びホタテガイの測定時期

地区	施設名	稚貝分散 (初期)	稚貝分散 (終期)	試験終了
浦田	⑤	H29.9.22	-	欠測
	⑥	-	H29.11.4	H30.3.21

表10. 養殖施設の基本構造

地区	施設名	漁場 水深	幹綱 水深	幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵
						重量	個数	
浦田	⑤	52m	15m	200m	200m	90kg	両側片爪3丁	無
	⑥	48m	15m	200m	200m	100kg	両側片爪2丁	無

表11. 養殖施設の構造等

地区	施設名	分散 時期	調整玉			底玉		パールネット				選別機の目合	
			種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数		錘
浦田	⑤	9月	ABS製1尺2寸*	2個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	53個	3分	9段	1600連	20個体/段	最下段に太枠ネット	3分5厘
	⑥	11月	ABS製1尺2寸*	2個	6ヶ所	ABS製1尺3寸	60個	3分	9段	1800連	20個体/段	最下段に太枠ネット	4分5厘輪っか

* 両端はABS製UFO型1個、その他はABS製1尺2寸1個と1尺3寸1個の連結

1) ホタテガイの測定結果

稚貝分散時のへい死率は9月が6.3%、11月が17.1%、異常貝率は9月が4.0%、11月が2.0%、平均殻長は9月が16.4mm、11月が25.4mmであった(表12)。

試験終了時の11月分散の各試験区の測定結果を表13に、へい死率を図48に、異常貝率を図49に、平均殻長を図50に、平均全重量を図51に、平均軟体部重量を図52に示した。なお、9月分散のサンプルは回収できなかった。生貝と死貝の合計数は15枚区が202枚、25枚区が203枚、35枚区が204枚となっており、いずれも1段当たり約20枚であることから、試験区の設定ミスが認められた。

表12. 収容枚数比較試験の稚貝分散時のホタテガイの測定結果

地区	施設名	分散 時期	生貝 (枚)	死貝 (枚)	合計 (枚)	異常貝 (枚)	へい死 率(%)	異常貝 率(%)	殻長(mm) 平均値±SD
浦田	⑤	9月	354	24	378	2	6.3	4.0	16.4 ± 2.9
	⑥	11月	150	31	181	1	17.1	2.0	25.4 ± 3.2

表13. 収容枚数比較試験の11月分散の試験終了時におけるホタテガイの測定結果

地区	分散 時期	収容 枚数	生貝 (枚)	死貝 (枚)	*死貝 (枚)	異常貝 (枚)	へい死 率(%)	**へい死 率(%)	異常貝 率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部 指数	
														浦田
			中	77	4	4	0	4.9	4.9	0.0	67.8 ± 3.7	32.0 ± 5.0	14.2 ± 2.5	44.5
			下	51	8	5	3	13.6	8.9	10.0	68.4 ± 6.8	33.8 ± 4.8	15.0 ± 2.1	44.3
			全段	186	16	10	6	7.9	5.1	6.7	68.1 ± 4.6	32.7 ± 4.9	14.5 ± 2.2	44.4
		25枚	上	48	10	3	0	17.2	5.9	0.0	64.7 ± 3.5	29.7 ± 4.5	12.6 ± 1.9	42.3
			中	71	12	4	4	14.5	5.3	13.3	66.7 ± 4.5	31.0 ± 5.8	13.4 ± 2.5	43.4
			下	57	5	2	1	8.1	3.4	3.3	66.1 ± 4.8	30.9 ± 6.5	13.2 ± 3.1	42.7
			全段	176	27	9	5	13.3	4.9	5.6	65.8 ± 4.3	30.5 ± 5.6	13.1 ± 2.5	42.8
		35枚	上	54	8	0	4	12.9	0.0	13.3	64.9 ± 3.4	30.2 ± 4.5	12.5 ± 2.0	41.5
			中	70	10	3	0	12.5	4.1	0.0	66.5 ± 3.7	32.0 ± 4.8	13.2 ± 1.9	41.3
			下	53	9	3	1	14.5	5.4	3.3	68.1 ± 5.0	33.3 ± 6.2	14.1 ± 2.8	42.2
			全段	177	27	6	5	13.2	3.3	5.6	66.5 ± 4.0	31.9 ± 5.2	13.3 ± 2.2	41.7

*死貝は分散直後の死貝を除いた値

**へい死率=(死貝数-分散直後の死貝数)÷(生貝数+死貝数-分散直後の死貝数)

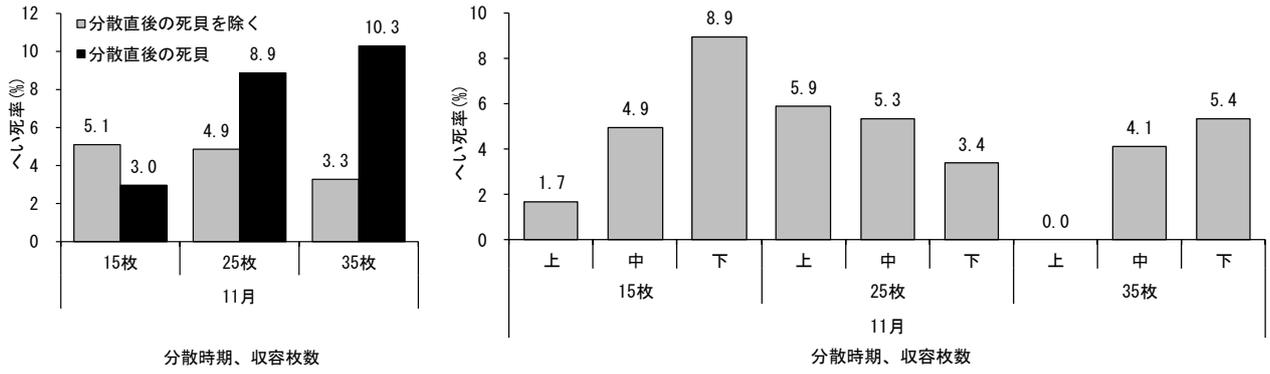


図 48. 収容枚数比較試験の 11 月分散の試験終了時におけるへい死率（左は全段、右は段別）

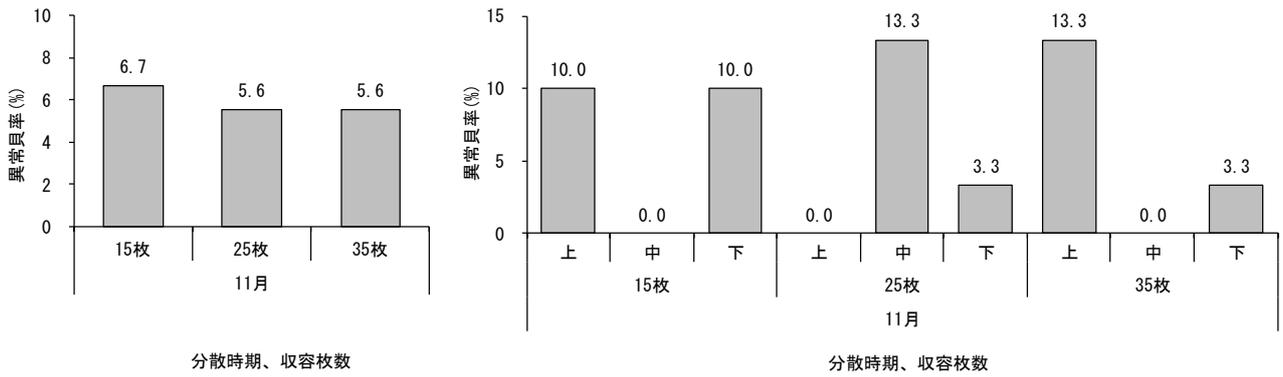


図 49. 収容枚数比較試験の 11 月分散の試験終了時における異常貝率（左は全段、右は段別）

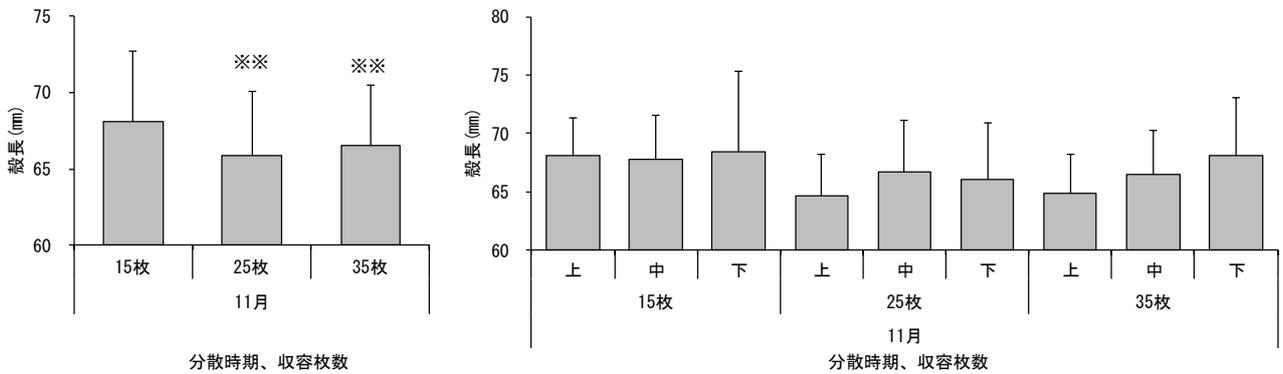


図 50. 収容枚数比較試験の 11 月分散の試験終了時における平均殻長（バーは標準偏差、左は 1 連平均で**は 15 枚区と比較して $P < 0.01$ で有意差あり、右は段別）

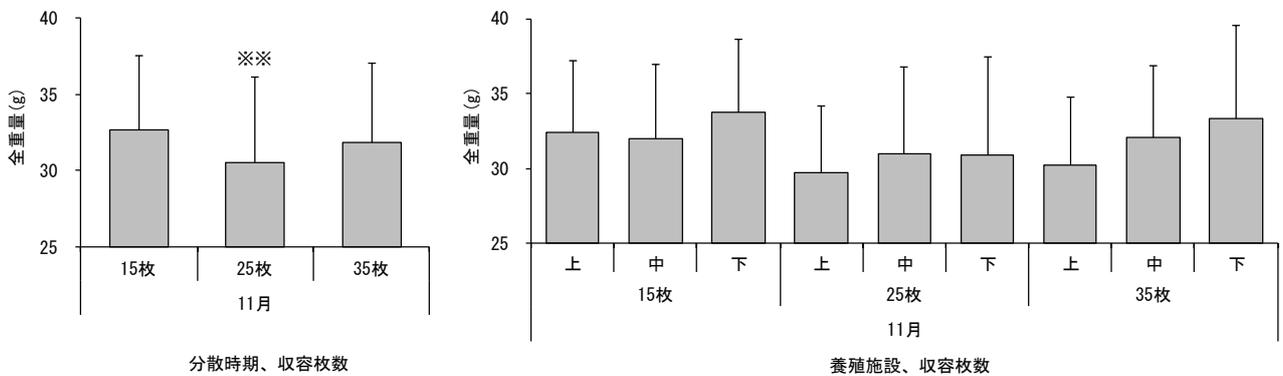


図 51. 収容枚数比較試験の 11 月分散の試験終了時における平均全重量（バーは標準偏差、左は 1 連平均で**は 15 枚区と比較して $P < 0.01$ で有意差あり、右は段別）

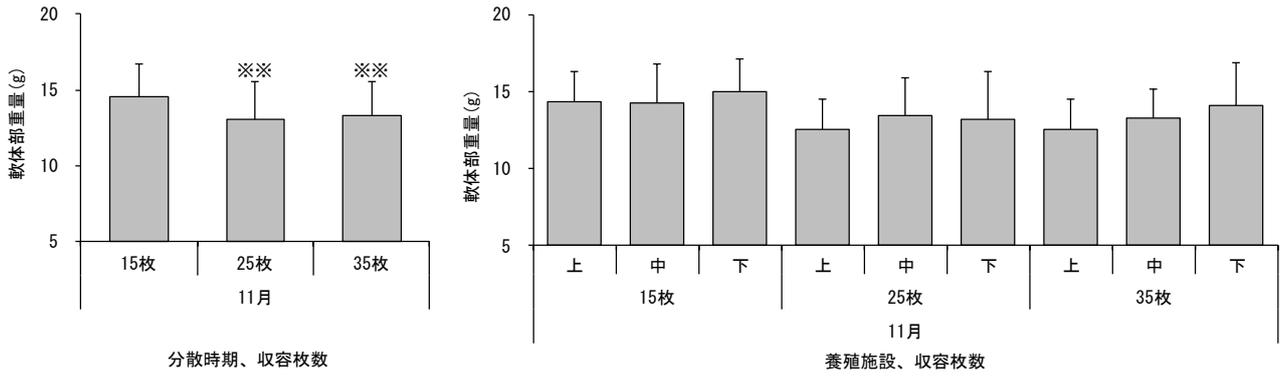


図 52. 収容枚数比較試験の 11 月分散の試験終了時における平均軟体部重量（バーは標準偏差、左は 1 連平均で**は 15 枚区と比較して $P < 0.01$ で有意差あり、右は段別）

2) 幹綱水深の変化

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の幹綱水深の変化を図 53～54 に示した。両施設とも、ホタテガイや付着生物の成長で施設が徐々に沈んでいるのが確認されたが、養殖施設⑤は稚貝分散直後から平成 29 年 10 月 19 日まで深度変化が大きかった。

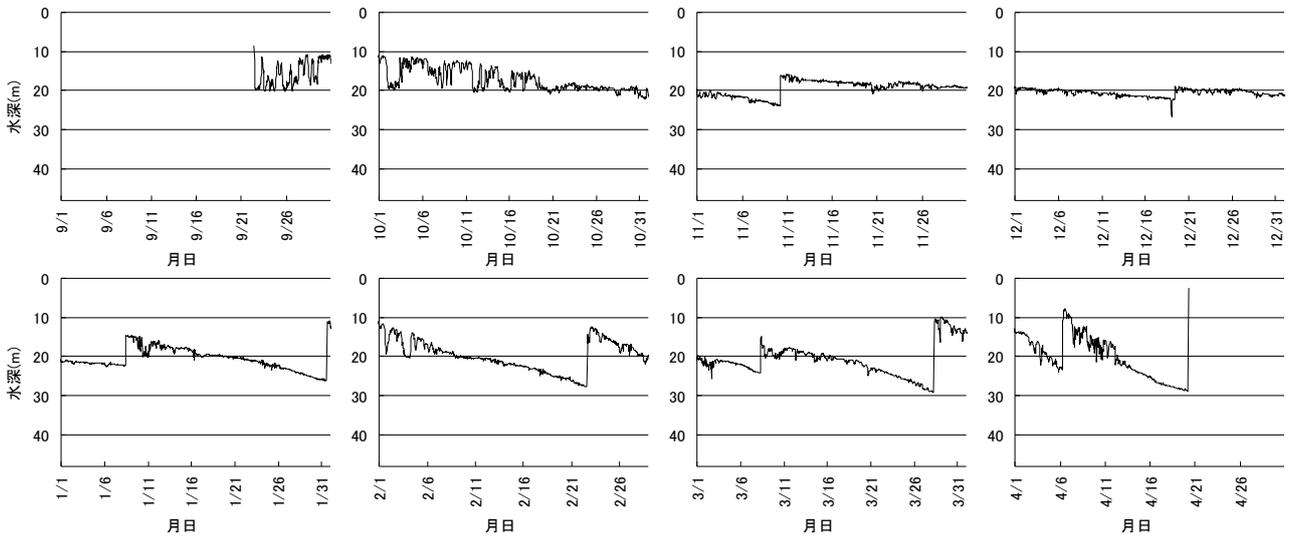


図 53. 収容枚数比較試験における平内町浦田地区の養殖施設⑤の幹綱水深（9 月分散）

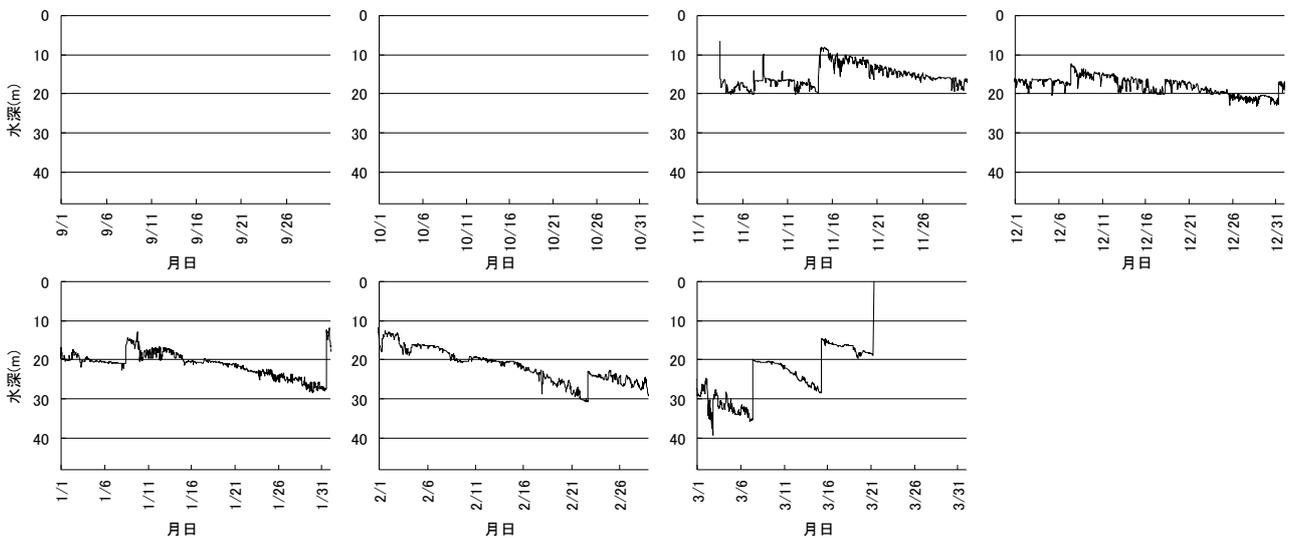


図 54. 収容枚数比較試験における平内町浦田地区の養殖施設⑥の幹綱水深（11 月分散）

3) 幹網及びパールネットの動揺

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の幹網とパールネット下段の加速度を図 55 に示した。養殖施設⑥より養殖施設⑤の加速度の変化が大きく、特に養殖施設⑤の 25 枚区で -2m/s^2 を超える大きな値が見られた。

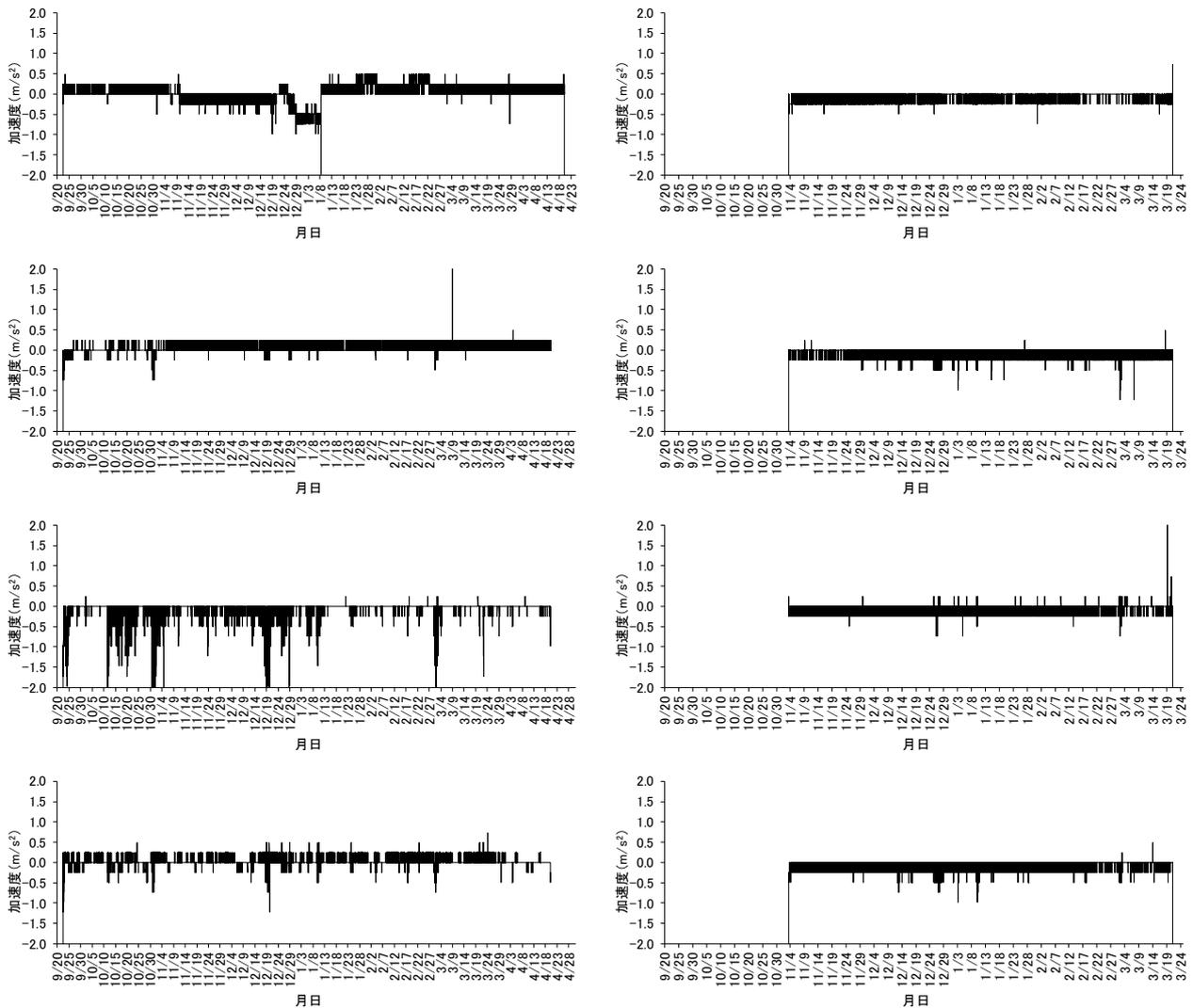


図 55. 収容枚数比較試験における平内町浦田地区の養殖施設の幹網及びパールネット下段の垂直方向における加速度(左が 9 月分散の養殖施設⑤、右が 11 月分散の養殖施設⑥、上から幹網、15 枚区、25 枚区、35 枚区)

4) 流向・流速

平成 29 年 11 月から試験終了時までの期間における養殖施設の流向流速の推移を図 56～57 に示した。各月の最高流速は養殖施設⑤の 11 月が 0.13m/s 、12 月が 0.13m/s 、1 月が 0.15m/s 、2 月が 0.10m/s 、3 月が 0.14m/s 、養殖施設⑥の 11 月が 0.12m/s 、12 月が 0.13m/s 、1 月が 0.14m/s 、2 月が 0.10m/s 、3 月が 0.12m/s で概ね同じ値であった。

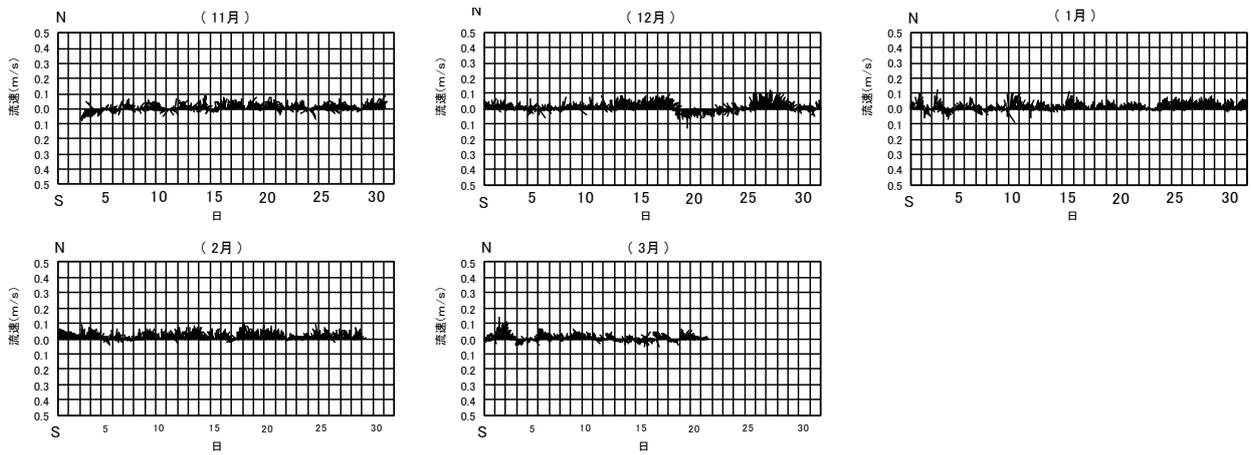


図 56. 収容枚数比較試験における平内町浦田地区の養殖施設⑤の流向流速（9月分散）

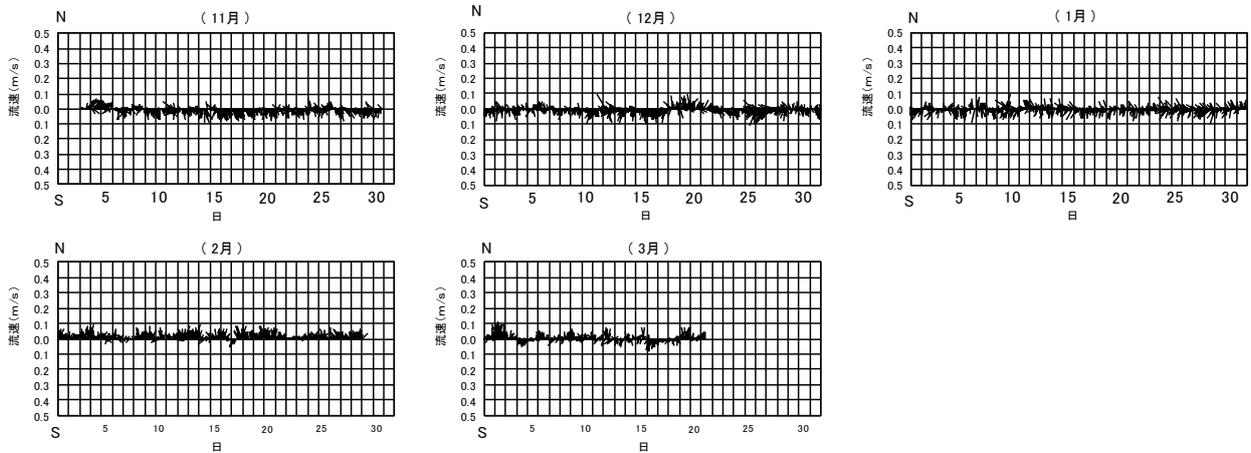


図 57. 収容枚数比較試験における平内町浦田地区の養殖施設⑥の流向流速（11月分散）

5) 考察

試験終了時に9月分散のホタテガイが回収されなかったこと、11月分散の各試験区の1段当たりの収容枚数が全て20枚であったことから、収容枚数の影響を今回の試験では明らかにすることができなかった。

謝 辞

漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ成育状況の集中的モニタリングにつきまして、調査にご協力いただいた平内町土屋地区、茂浦地区、浦田地区の各漁業者並びに漁業協同組合の職員の皆様にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 山内弘子(2019) 採苗器内に落下したホタテガイ稚貝の成育状況調査. 平成29年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 358-361
- 2) 山内弘子・吉田達(2019) ほたてがい輸出拡大推進事業(漁場環境とホタテガイの成長に関する研究). 平成29年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 308-316
- 3) 扇田いずみ(2018) 2017年夏のヤマセと陸奥湾の海況について. 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所・内水面研究所 青森県水産研究情報“水と漁”. 第27号, 5.