

海面養殖業高度化事業 ホタテガイ養殖技術モニタリング事業

秋田佳林・吉田達

目 的

ホタテガイ養殖の現場では、度々潮流や波浪が原因と考えられるホタテガイのへい死が発生していることに加え、温暖化の影響によるへい死も危惧されることから、ホタテガイの成育及び漁場環境をモニタリングし、へい死原因の解明と対策に取り組む。

材料と方法

図 1 に示したとおり蓬田村、平内町小湊地先において、平成 30 年産稚貝の養殖施設各 1 ヶ統を対象に、施設の構造を聞き取りするとともに、稚貝採取時、稚貝分散時及び試験終了時(平成 31 年 3 月)に貝を採取して生貝と死貝の殻長組成とへい死率を求めた。なお、稚貝分散時には、これらに加え生貝の異常貝率を、試験終了時にはこれらに加え生貝の全重量と軟体部重量を測定するとともに、異常貝率を求めた。

また、図 2 に示したとおり稚貝採取時から試験終了時までには、上述の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)、メモリー式深度計(JFE アドバンテック社、DEFI2-D10)及びメモリー式加速度計(Onset Computer 社、HOB0 ペンダント G Logger)を取り付け、パールネットの最下段上部にメモリー式加速度計(同上)を、稚貝分散時から試験終了時までには上述に加えて錨元及び調整玉直下に、メモリー式深度計(同上)及びメモリー式加速度計(同上)を取り付け、1 時間間隔で流向、流速、水温及び水深、5 分間隔で鉛直方向の加速度を測定した。

本結果を、過去に両地先で行った調査結果¹⁾と比較した。

結果と考察

1. 蓬田村

養殖作業の時期を表 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 に示す。作業時期は前年度と比較して稚貝採取は同時期、稚貝分散は 10 日ほど遅く、施設構造を前年度と比較すると漁場水深が 3~5m 浅く、選別機の見合いが稚貝分散時で 5mm ほど小さくなっていった。

表 2. 養殖施設の基本構造

漁場水深		幹綱水深		幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵
採取時	分散時	採取時	分散時			重量	個数	
35m	37m	15m	13m	100m	100m	110kg	片側1丁	無



図 1. モニタリング地点

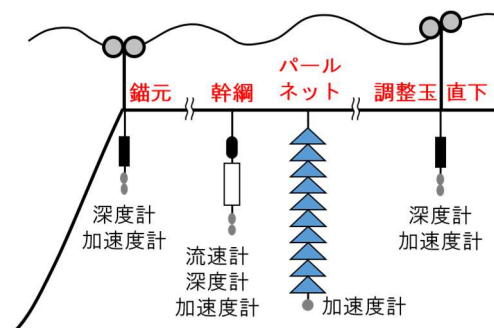


図 2. 観測機器の設置状況(観測機器と試験用パールネット以外の漁業者のパールネットは省略)

表 1. 養殖作業の時期

稚貝採取	稚貝分散
H30.8.24	H30.11.5

表 3. 養殖施設の構造等

	調整玉			底玉		パールネット				備考	
	種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数		錘
採取時	ABS製1尺3寸	2個	3箇所	ABS製1尺3寸	11個	2分	10段	300連	150個体/段	鉛50匁または下段太枠	篩の目合2分
分散時	ABS製1尺3寸	1個	2箇所	ABS製1尺3寸	17個	3分	10段	400連	18個体/段	鉛50匁または下段太枠	篩の目合20mm
	ABS製1尺3寸	2個	2箇所								

平成 30 年度の測定結果を表 4 に、平成 19 年度から平成 30 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 3～6 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 26.5%と平成 19～29 年度平均(以下「蓬田平均値」)の 4.7%より高く、殻長が 8.5mmと蓬田平均値 9.3mmより小さかった。稚貝分散時の成育状況は、稚貝採取直後の死貝を除いたへい死率が 4.5%と蓬田平均値 13.8%より低く、殻長が 27.4mmと平均値 23.4mmより大きかった。稚貝分散時の異常貝率は 6.0%で前年の 0%より高かった。試験終了時の成育状況は、稚貝分散直後の死貝を除いたへい死率が 9.3%と蓬田平均値 12.5%より低く、異常貝率が 53.3%と蓬田平均値 4.8%よりも高く、殻長が 57.9mmと蓬田平均値 62.9mmより小さく、全重量が 23.8gと蓬田平均値 24.8gより軽く、軟体部重量が 10.2gと蓬田平均値 10.4gとほぼ同じだった。

表 4. ホタテガイの測定結果

調査年月日	作業内容	サンプリング方法	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
H30.8.24	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	161	58	-	-	26.5	-	-	8.5 ± 2.0	-	-	-
H30.11.5	稚貝分散	*パールネット(未分散)1段分	105	7	5	3	6.3	4.5	6.0	27.4 ± 3.7	-	-	-
H31.3.28	試験終了	*パールネット1連分(10段)	243	26	25	48	9.7	9.3	53.3	57.9 ± 5.5	23.8 ± 5.7	10.2 ± 2.8	43.1

*サンプリング用パールネットを事前配布して回収した。目合い、段数は表3に同じ。

死貝及びへい死率は採取及び分散直後の死貝を除いた値

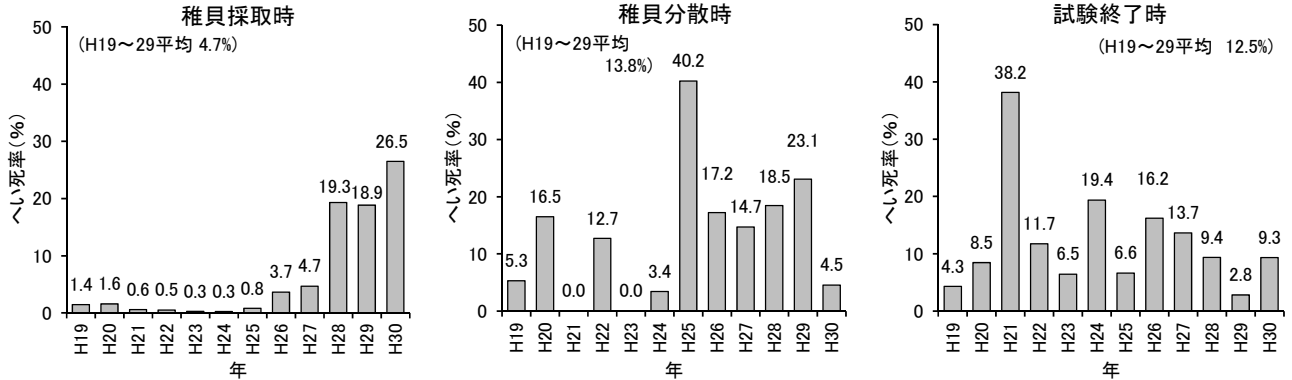


図 3. 年度別、時期別のホタテガイのへい死率の推移 (H24 の稚貝分散時のへい死率はサンプル数が少ないため参考値。稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値)

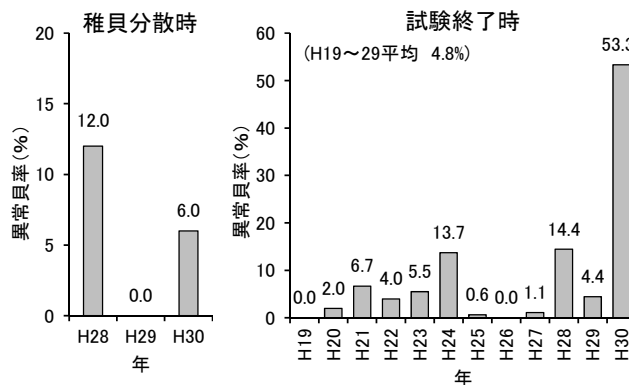


図 4. 年度別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移 (H28 から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加)

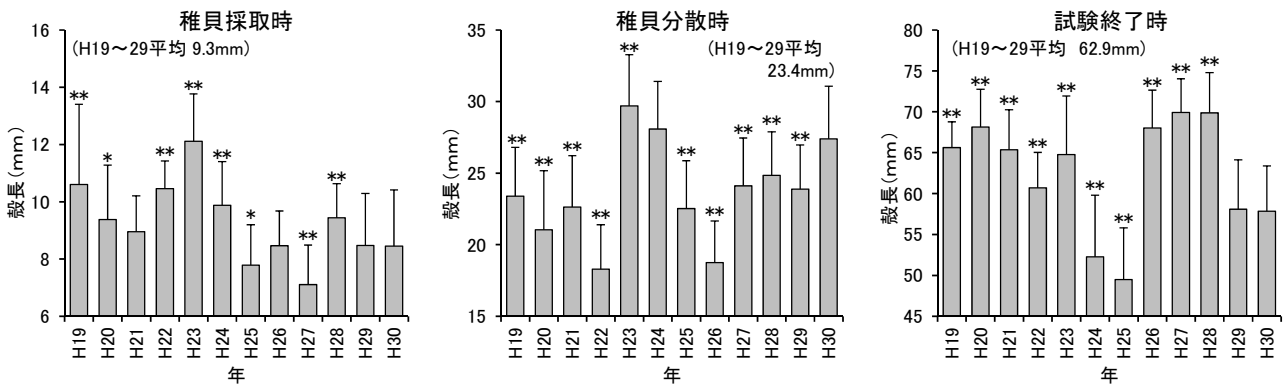


図 5. 年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移(バーは標準偏差、H30と比較して**は有意水準1%、*は有意水準5%で有意差があることを示す。)

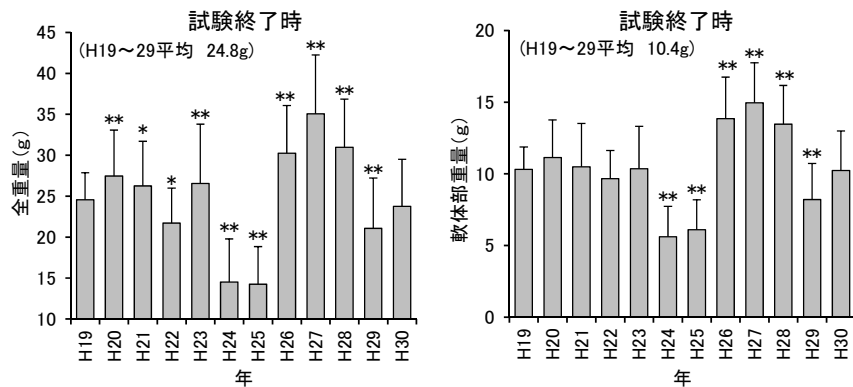


図 6. 年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移(バーは標準偏差、H30と比較して**は有意水準1%、*は有意水準5%で有意差があることを示す。)

試験終了時の異常貝率は平成19年以降最も高い値となった。図7にあるように、通常では右殻の方が成長が早く、殻を閉じた状態で白くはみ出して見えるが、平成30年産貝の異常貝は右殻が成長できず白い部分が見えない状態ものがほとんどだった。また、平成30年産貝で特徴的だったのは、図8のように障害輪が密に形成されて階段状になっている貝が多かったことである。これは右殻だけでなく左殻にも見られた。通常、障害輪と障害輪の間には数mm程度の成長がみられるが、何らかの要因で成長が阻害され、貝殻が階段状になったと考えられる。

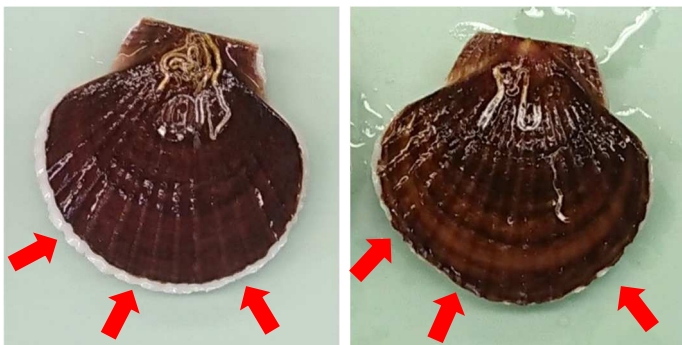


図 7. 正常貝(左)と異常貝(右)



図 8. 障害輪が密集している貝

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図9に示す。稚貝分散時に採集された死貝は、殻長が14~20mmとばらつきが少なく、その多くが稚貝採取後6mm程度成長するまでにへい死したと考えられる。また、試験終了時に採集された死貝のほとんどが、稚貝分散時の生貝の殻長組成と一致することから、稚貝分散直後に多くへい死していたと考えられる。

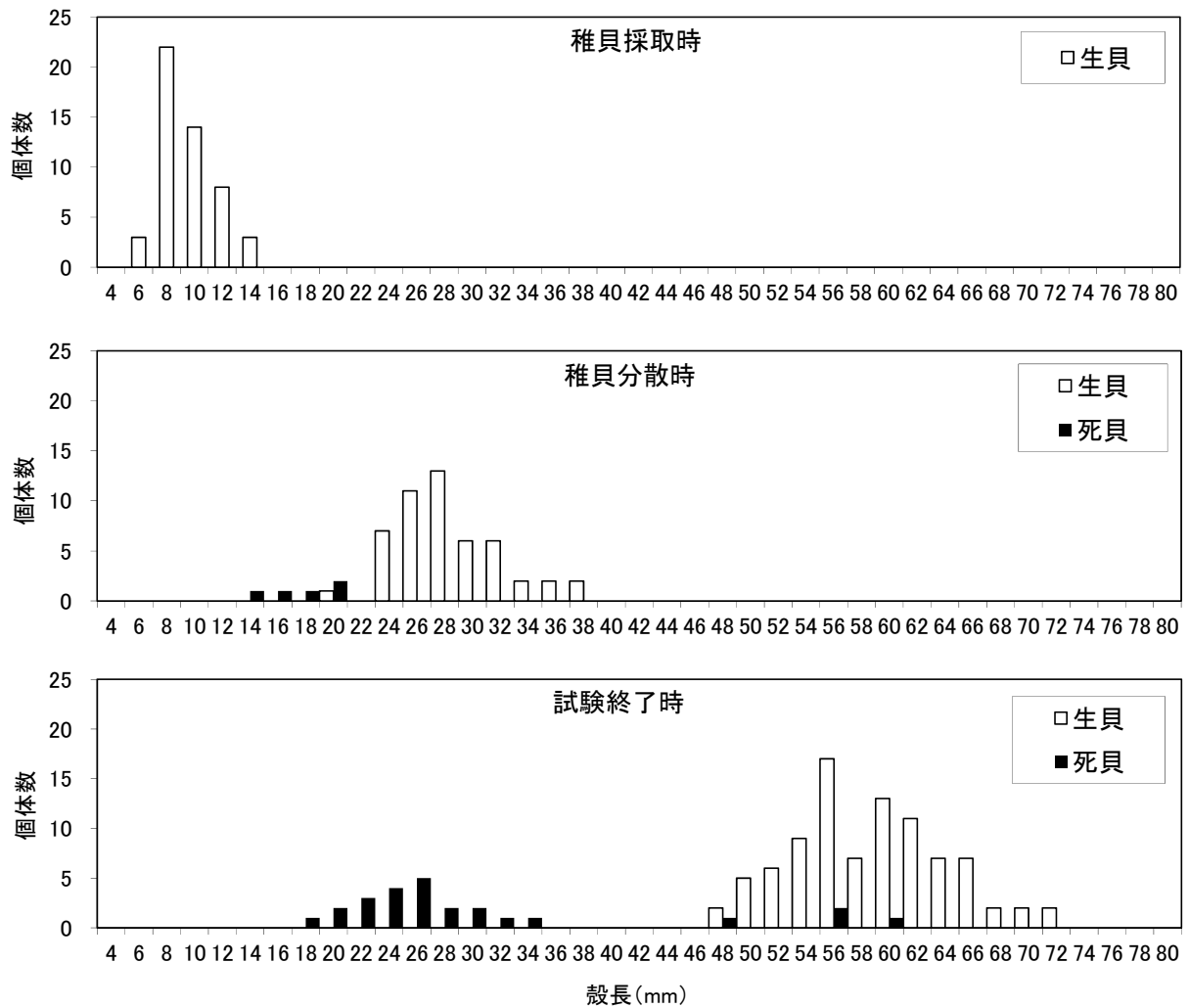


図 9. 時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設における毎時水温の推移を図 10 に示す。平成 30 年度の毎時水温は、稚貝採取時が 22℃台で、平成 30 年 9 月 6 日の 23.7℃をピークに、稚貝の成長が停止する目安の 23℃を超える日が 1 週間程度続いた。

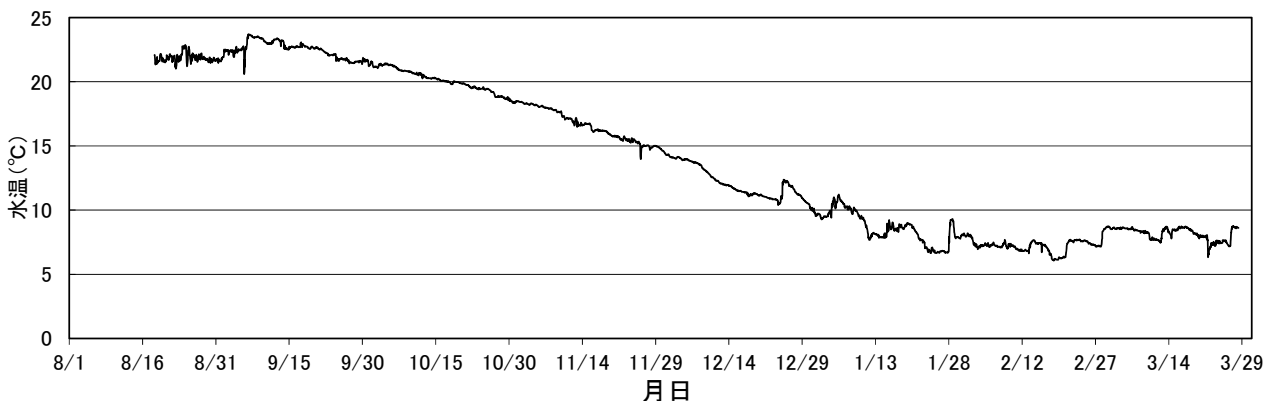


図 10. 養殖施設の毎時水温の推移

養殖施設の水深の変化を図 11 に示す。平成 30 年は幹綱に加えて錨元と調整玉直下にも深度計を設置した。幹綱水深は、稚貝採取から稚貝分散までは 9~20m、稚貝分散から試験終了までは 8~19m であった。稚貝分散から 1 ヶ月ほどは調整玉直下の方が水深が浅かったが、その後は錨元の方が浮いていることが多

かった。幹綱は 100m であり、調整玉は 4ヶ所に設置しているの、均等であれば錨元と調整玉直下は 30m ほどの距離になる。深度計によるとその 2 点の水深差は最大で 4.5m あった。また、幹綱の深度計は、図 2 のとおり調整玉の中間に設置して観測しているが、その水深は錨元、幹綱、調整玉直下が一直線上に並んでいることが多かった。

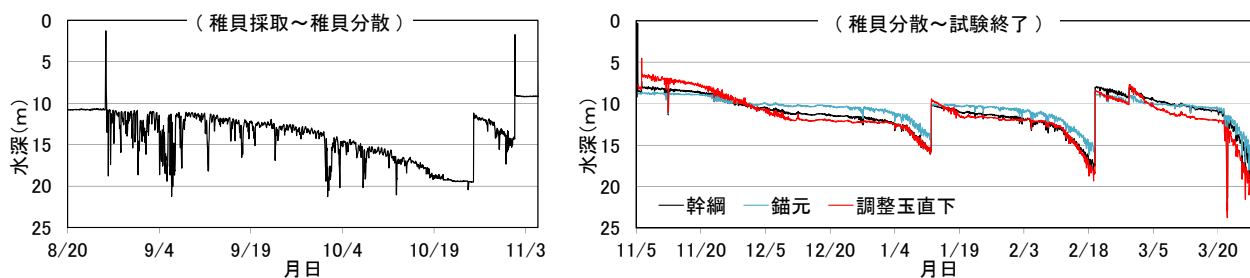


図 11. 養殖施設の水深の変化

加速度の推移を図 12-1 及び 12-2 に示す。平成 30 年の稚貝分散以降は幹綱が比較的安定していたことが分かる。しかし、パールネットでは幅は小さいが長い期間振動していた。また平成 30 年は、錨元と調整玉直下にも加速度計を設置したが、錨元では期間を通じて大きく振動していた。前述の深度計のデータからわかるように、錨元の水深が浅いことが多いためと考えられる。ただし、平成 31 年 1 月 12 日、2 月 19 日の玉付け作業の前と 3 月 28 日の最終測定の前、ホタテガイ稚貝の成長に伴い養殖施設が 3~8m ほど沈み込んでいた数日間は振動がみられなかった。調整玉直下は錨元に比べると振れ幅は小さく、錨元では玉付け作業後すぐに大きく動揺していたのに対して、調整玉直下は数日から 1 ヶ月ほど遅れて動揺が見られた。

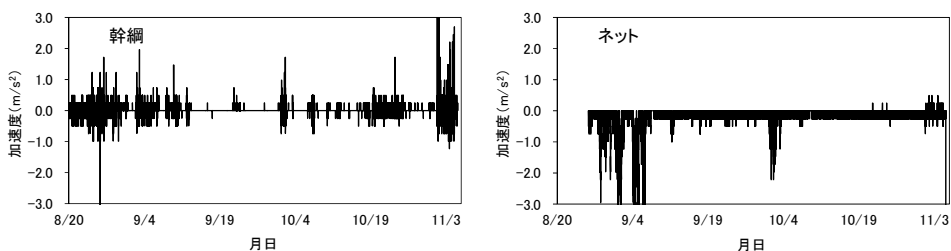


図 12-1. 養殖施設における加速度の推移(稚貝採取～稚貝分散)

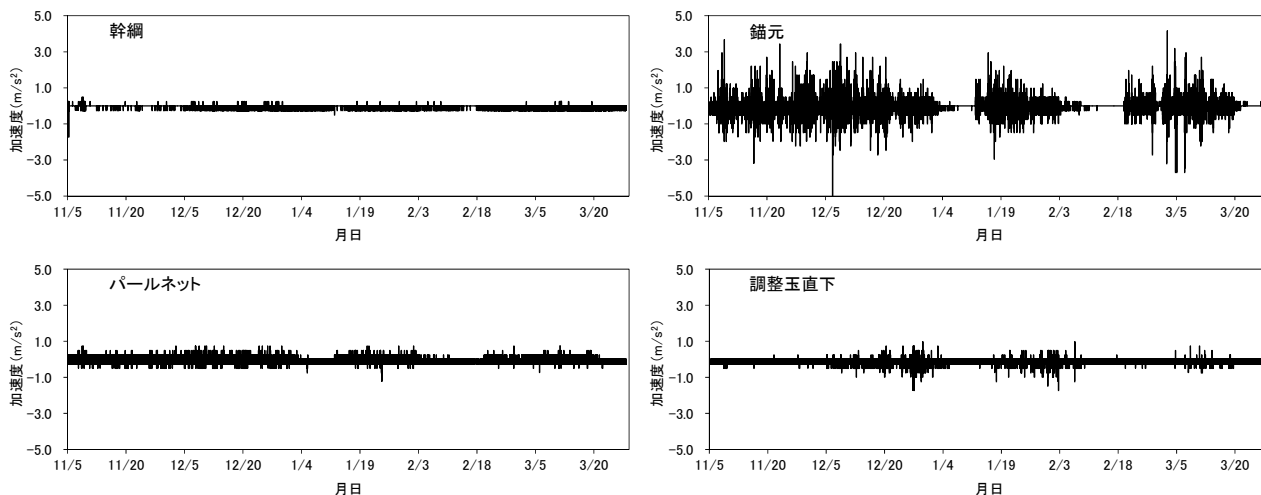


図 12-2. 養殖施設における加速度の推移(稚貝分散～試験終了時)

養殖施設の流向流速の推移を図 13 に、稚貝採取から稚貝分散の期間における最高流速と流速別出現数を表 5 に示す。流速計は稚貝採取よりも 1 週間早く養殖施設に設置されたが、設置直後の平成 30 年 8 月 18 日～9 月 6 日頃まで断続的に速い流れが観測された。8 月 23 日には 0.36m/s の期間中最速の流れを観測している。その後は 10 月 1 日～2 日に北向きの流れ、平成 31 年 3 月 1 日に南向きの流れ、22 日に北向きの流れが観測されたが、いずれも 0.2m/s 以下の流れであり、そのほかの期間は 0.1m/s 以下の流れがほとんどであった。流速別出現数について過去のデータと比較すると、0.1m/s 以上の出現数は 296 回で蓬田平均値 286 回とほぼ同じで、0.2m/s 以上の出現数は 67 回で蓬田平均値 36 回より多く、0.3m/s 以上の出現数は 7 回で蓬田平均値 6 回とほぼ同じであった。

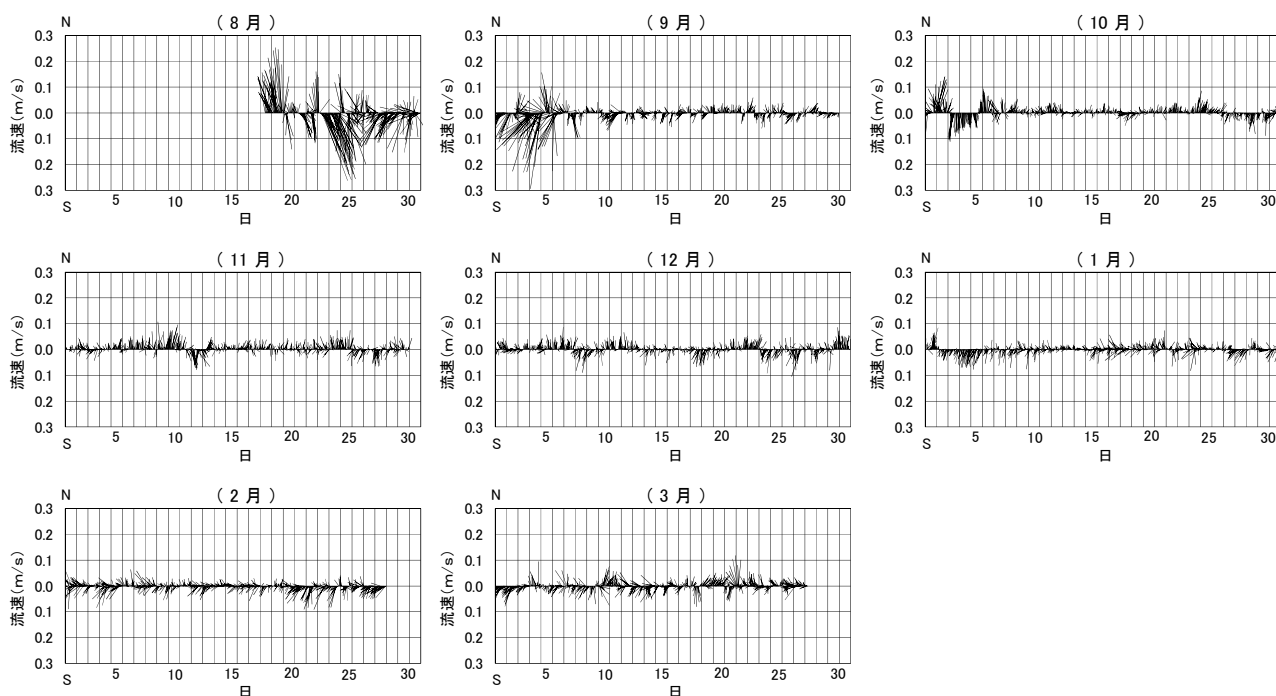


図 13. 養殖施設の流向流速の推移

表 5. 最高流速と流速別出現数

	H19	H20	*H21	H22	*H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H19-29平均
最高流速(m/s)	0.37	0.34	0.33	0.26	-	0.33	0.29	0.21	0.45	0.34	0.55	0.36	0.35
流速0.3m/s以上の出現数(回)	6	5	8	0	-	2	0	0	25	2	15	7	6
流速0.2m/s以上の出現数(回)	60	37	39	10	-	6	16	1	114	43	35	67	36
流速0.1m/s以上の出現数(回)	338	271	433	187	-	150	361	104	367	427	220	296	286
合計(回)	1,562	1,665	2,023	2,012	-	2,712	2,495	1,132	1,873	1,822	1,517	1,892	1,881

*H21 7/31～8/4及びH23は欠測

平成 30 年のへい死率は、稚貝採取時は平均値より高く、稚貝分散時と試験終了時は平均値より低かった。稚貝採取時から 6mm 程度成長するまでにへい死した個体の多くは、採取時から 2 週間の強い流れが確認されていること、施設の幹綱水深が大きく変動していること、幹綱やパールネット下段の加速度も大きかったことから、潮流により施設が大きく動揺すると同時にパールネットも大きく振られ、籠内で貝同士がぶつかり合いを起こすことによりへい死したものと推察された。稚貝分散後から試験終了までは、幹綱水深に大きな変化はなく、強い流速及び加速度も確認出来ないが、パールネットは小さい幅だが振動しており、このことが異常貝の多さの原因となった可能性がある。障害輪から、階段状の貝殻が形成されたのも稚貝分散から最終測定までの期間と考えられる。その後は貝の成長が見られることから、パールネットの小刻みな振動は一時的に貝の成長阻害要因となったが、へい死するほどのダメージではなかったと考えられる。このことは、最終測定の死貝の殻長組成が、稚貝分散時の生貝の殻長組成と重なっていたことと矛盾しない。

2. 平内町小湊

養殖作業の時期を表 6 に、養殖施設の基本構造等を表 7 に、養殖施設の構造等を表 8 に示す。作業時期は前年度と比較して 1 週間遅く、施設構造を前年度と比較すると、稚貝採取時ではパールネットの連数が 125 連多く、選別機のみ合いが 2 厘大きく、稚貝分散時ではパールネットの連数が 110 連少なく、選別機のみ合いが 5 厘小さくなっていった。

表 6. 養殖作業の時期

稚貝採取	稚貝分散
H30.8.12	H30.10.22

表 7. 養殖施設の基本構造

漁場水深	幹綱水深		幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵
	採取時	分散時			重量	個数	
20m	10m	7m	120m	70m	100kg	片側2丁	50kg 3個

表 8. 養殖施設の構造等

	調整玉		底玉		パールネット				備考		
	種類	個数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数			
採取時	ABS製1尺2寸	1個	6箇所	ABS製1尺3寸	20個	2分	8段	625連	200個体/段	鉛75匁	篩のみ合2分
	ABS製1尺3寸	2個	1箇所								
	ABS製1尺3寸	1個	1箇所								
分散時	ABS製1尺2寸	1個	5箇所	ABS製1尺3寸	27個	3分	8段	650連	25個体/段	鉛75匁	選別機のみ合6分5厘
	ABS製1尺2寸	各1個	2箇所								
	ABS製1尺3寸										

ホタテガイの測定結果を表 9 に、平成 18 年度から平成 30 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 14~17 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 2.2%と平成 18~29 年度平均(以下「小湊平均値」)の 1.7%より高く、殻長は 8.3mm と小湊平均値 9.3mm より小さかった。稚貝分散時の成育状況は、稚貝採取直後の死貝を除いたへい死率が 7.4%と小湊平均値 2.8%より高く、殻長は 28.6mm と小湊平均値 25.4mm より大きかった。稚貝分散時の異常貝率は 8.0%で、前年の 4.0%よりも高かった。試験終了時の成育状況は、稚貝分散直後の死貝を除いたへい死率が 8.0%と小湊平均値 2.8%より高く、異常貝率は 8.9%と小湊平均値 6.6%より高く、殻長は 68.3mm と小湊平均値 65.8mm より大きく、全重量が 37.7g と小湊平均値 32.2g より重く、軟体部重量が 17.0g と小湊平均値 14.1g よりも重かった。

表 9. ホタテガイの測定結果

調査年月日	作業内容	サンプリング方法	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
H30.8.12	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	269	6	-	-	2.2	-	-	8.3 ± 1.4	-	-	-
H30.10.22	稚貝分散	*パールネット(未分散)1段分	137	11	11	4	7.4	7.4	8.0	28.6 ± 3.1	-	-	-
H31.3.25	試験終了	*パールネット1連分(8段)	185	16	16	8	8.0	8.0	8.9	68.3 ± 3.7	37.7 ± 5.4	17.0 ± 3.3	45.0

*サンプリング用パールネットを事前配布して回収した。目合い、段数は表8に同じ。

死貝及びへい死率は採取及び分散直後の死貝を除いた値

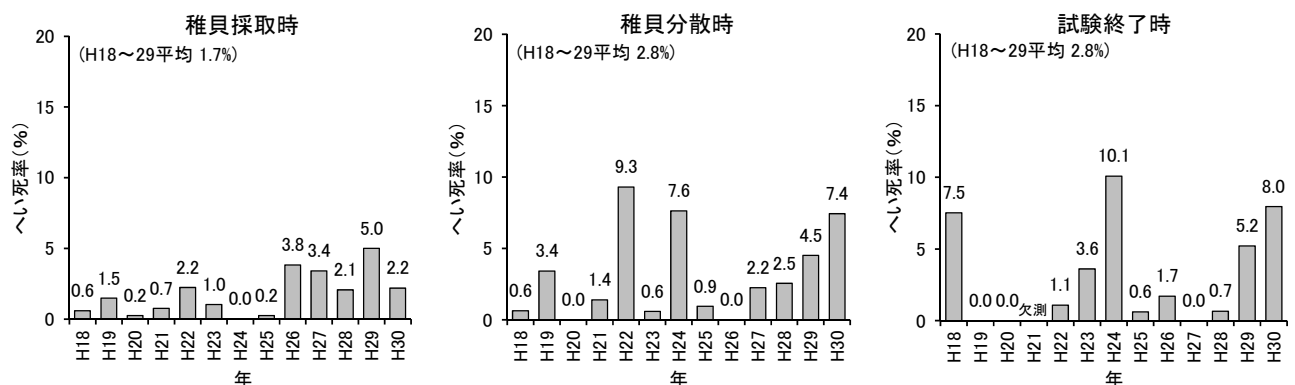


図 14. 年度別、時期別のホタテガイのへい死率の推移(稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値)

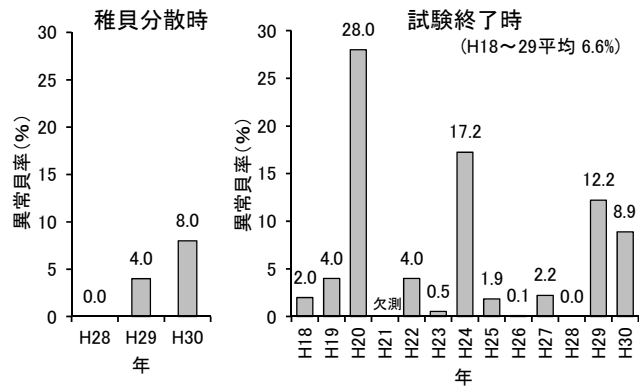


図 15. 年度別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移 (H28 から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加)

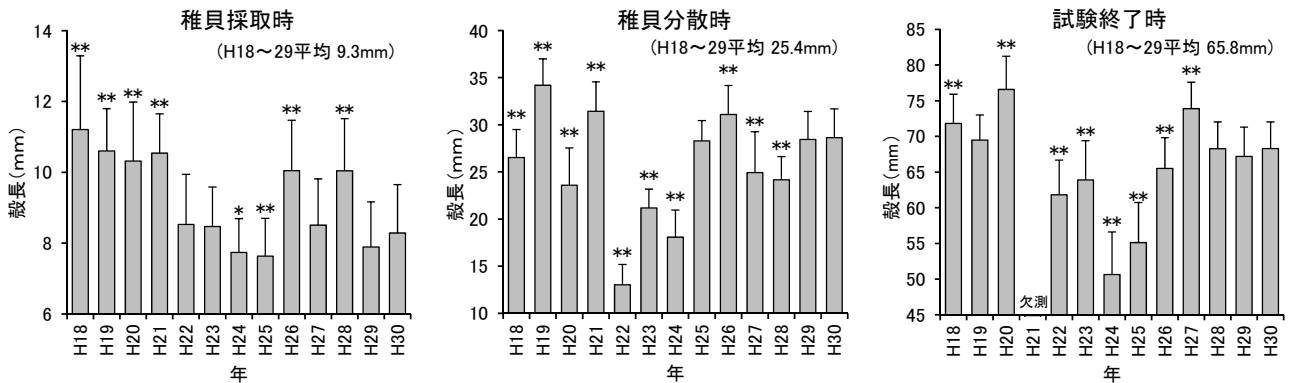


図 16. 年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移 (バーは標準偏差、H30 と比較して**は有意水準 1%、*は有意水準 5% で有意差があることを示す。)

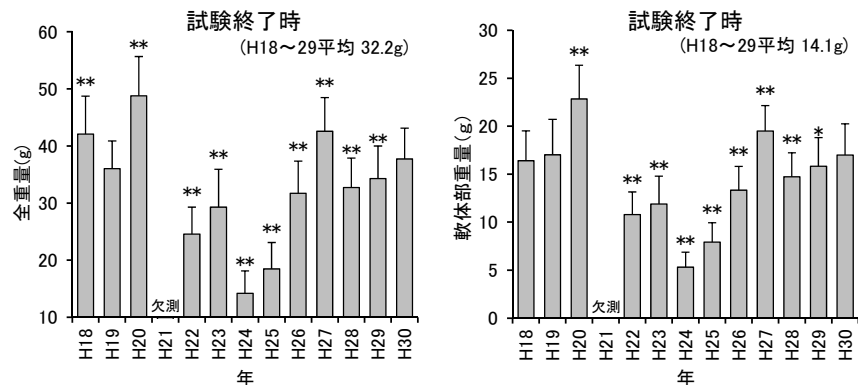


図 17. 年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移 (バーは標準偏差、H30 と比較して**は有意水準 1% で有意差があることを示す。)

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図 18 に示す。稚貝分散時に採集された死貝は、生貝の殻長組成と一部重なっていることから、稚貝採取時から 1 cm 程度成長するまでの間にへい死し、その後も稚貝分散時までへい死が継続していたと考えられる。また、試験終了時に採集された死貝は殻長組成にばらつきが大きく、稚貝分散時から試験終了時にかけてへい死が継続したと考えられる。

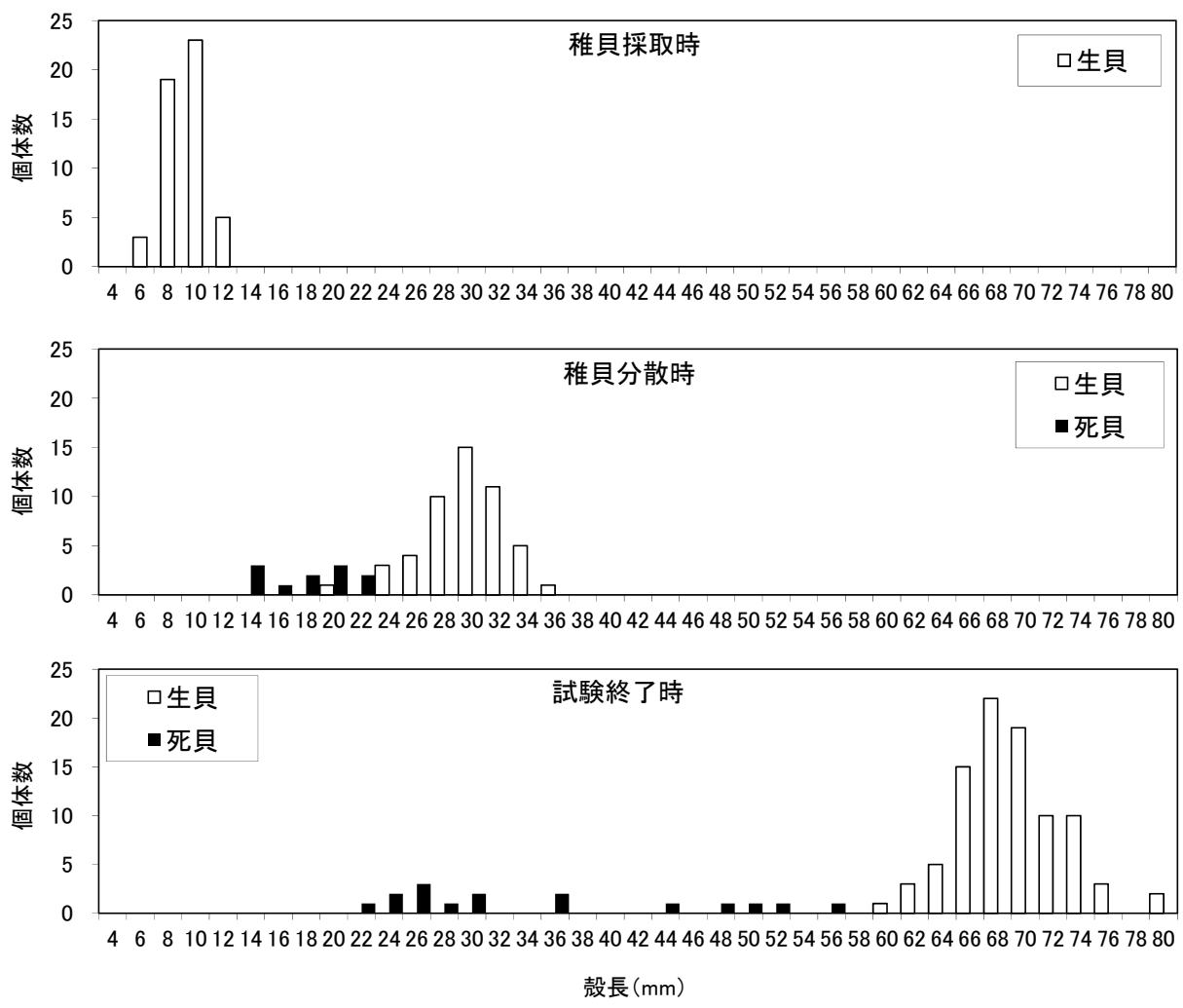


図 18. 時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設における毎時水温の推移を図 19 に示す。平成 30 年度の毎時水温は、稚貝採取時が 21℃ 台で、平成 30 年 9 月 10 日の 22.8℃ をピークになだらかに下降し、稚貝の成長が停止する目安の 23℃ を超える時間帯は見られなかった。

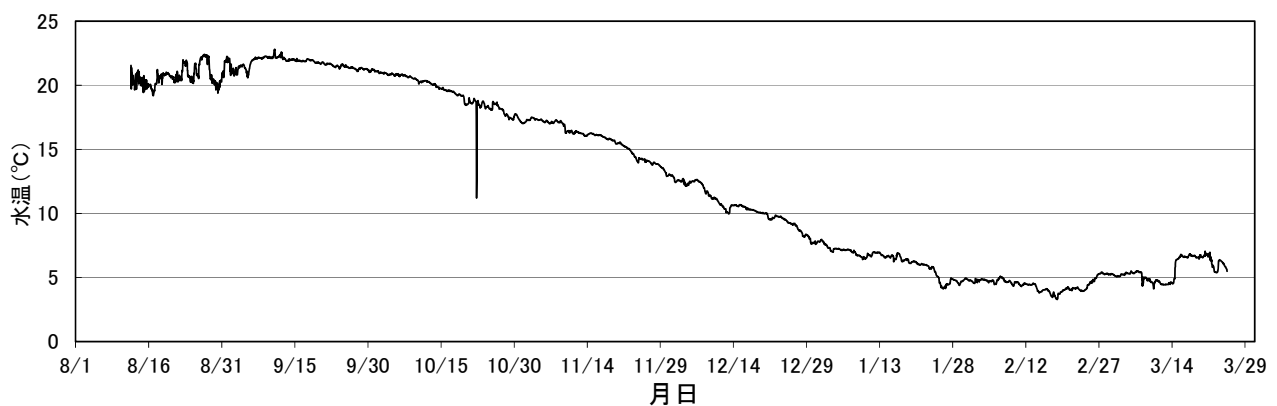


図 19. 養殖施設の毎時水温の推移

養殖施設の幹網水深の変化を図 20 に示す。幹網水深は稚貝採取以降、13~15m と沈めていたが、9 月 14 日に 7m まで浮かせた。稚貝分散以降は平成 31 年 1 月 4 日、2 月 3 日、21 日、3 月 3 日、20 日の計 5 回、玉付け作業が行われており、前年度と同じ回数だった。ホタテガイの成長が良い年は、養殖施設が沈みや

すく、玉付けの回数が多くなる傾向があるが、玉付けの回数が前年度と同じであったことは試験終了時のホタテガイの測定結果が前年度と同程度であったことと一致する。

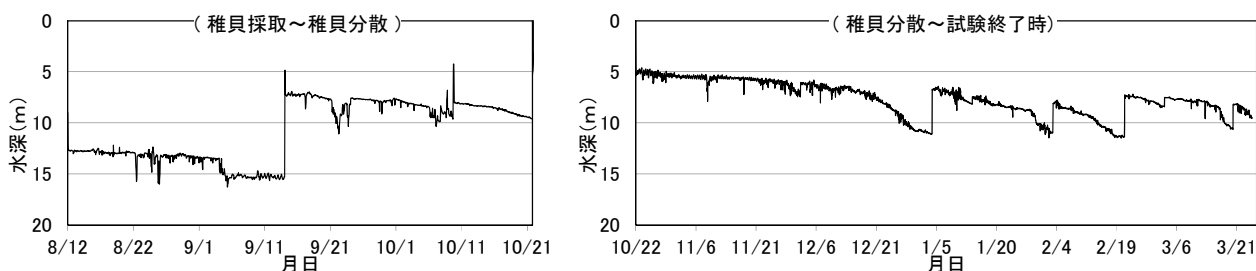


図 20. 養殖施設の幹綱水深の変化

幹綱およびパールネット下段の加速度を図 21-1 及び 21-2 に示す。後述するが、平成 30 年は潮の流れが例年よりも穏やかで、加速度計のデータからも幹綱やパールネットが安定していたことが分かる。ただし、パールネットでは 9 月 6 日に -7m/s^2 を超える加速度が観測された。このとき幹綱では大きな振動は確認されなかったが、水深は 13m から 16m へ沈み込んでおり、流向流速計では最大で 0.17m/s の北向きの流れがみられ、一時的に他のパールネットや隣の養殖施設に絡まっていたことなどが考えられる。稚貝分散以降は幹綱もパールネットも大きな振動は確認されず、特にパールネットは安定していたと考えられる。

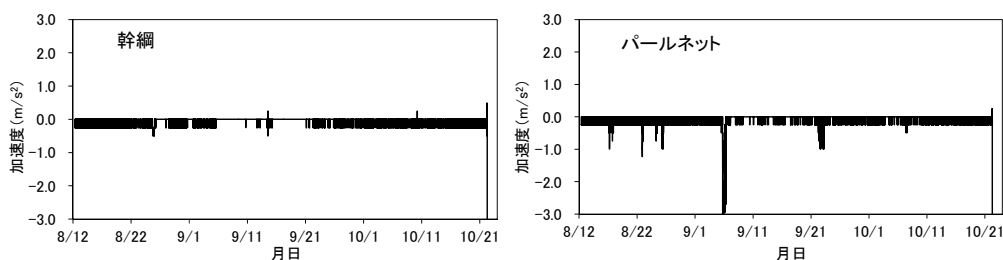


図 21-1. 養殖施設の加速度の推移 (稚貝採取～稚貝分散)

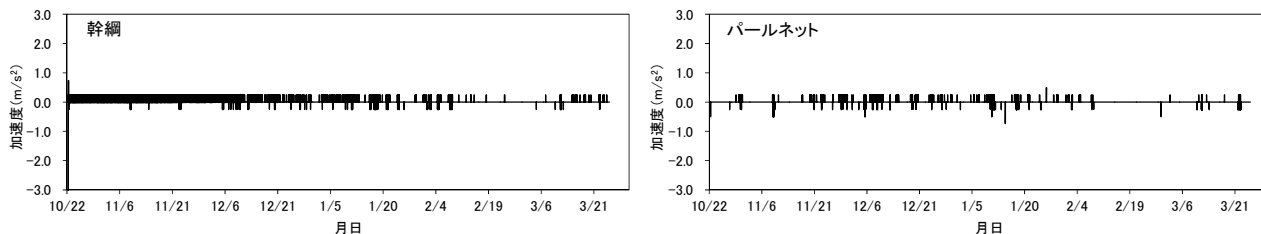


図 21-2. 養殖施設における加速度の推移 (稚貝分散～試験終了時)

養殖施設の流向流速の推移を図 22 に、稚貝採取から稚貝分散の期間における最高流速と流速別出現数を表 10 に示す。8 月下旬、9 月上旬に 0.1m/s を超える流れが見られ、8 月 26 日には期間中最大の 0.22m/s を観測された。その他、10 月 22 日に 0.2m/s を超える流れが観測されたが、それ以外の期間では 0.1m/s 以下の流れがほとんどであった。流速別出現数を過去のデータと比較すると、 0.1m/s 以上の出現数は 174 回で小湊平均値 245 回より少なく、 0.2m/s 以上の出現数は 4 回で小湊平均値 31 回より少なく、 0.3m/s 以上の流れは観測されなかった。

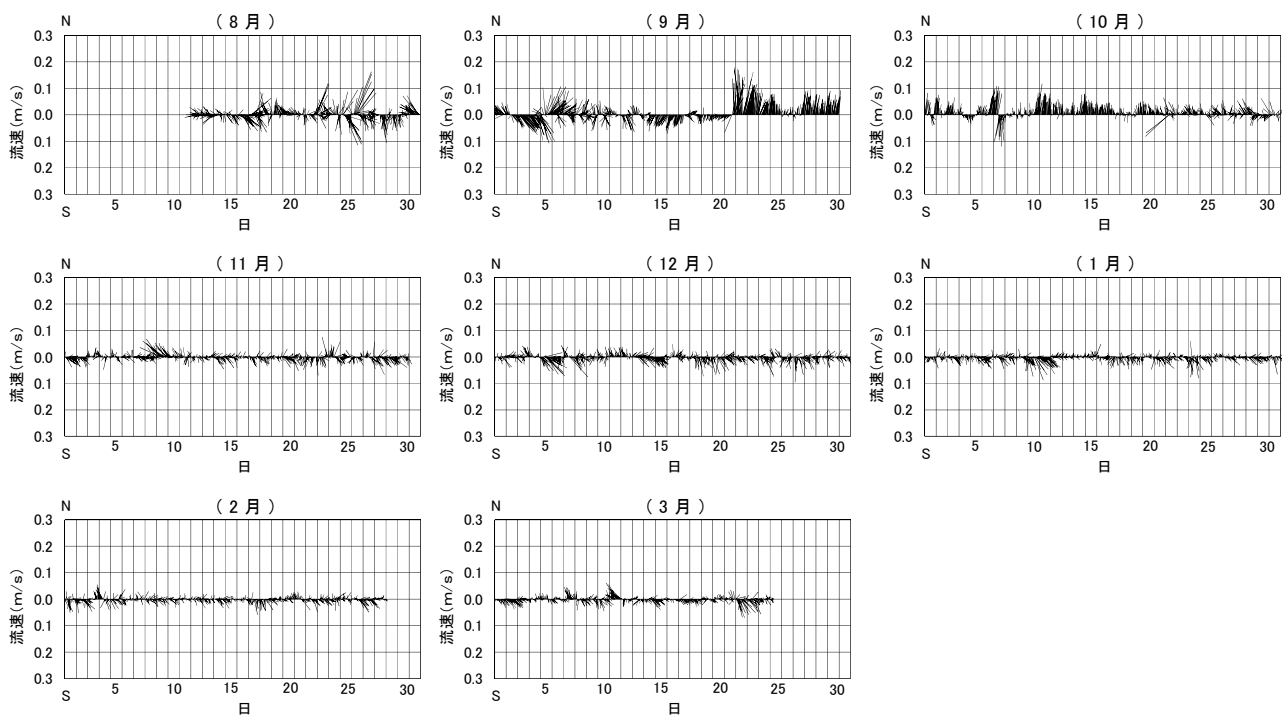


図 22. 養殖施設の流向流速の推移

表 10. 最高流速と流速別出現数

	H18	H19	*H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H18-29平均
最高流速(m/s)	0.19	0.31	0.36	0.22	0.24	0.58	0.18	0.25	0.36	0.20	0.28	0.43	0.22	0.30
流速0.3m/s以上の出現数(回)	0	2	4	0	0	1	0	0	3	0	0	39	0	4
流速0.2m/s以上の出現数(回)	0	25	16	7	12	4	0	6	33	0	31	235	4	31
流速0.1m/s以上の出現数(回)	140	211	184	176	337	161	114	303	174	222	440	481	174	245
合計回数(回)	1,542	1,894	1,018	2,119	1,559	1,541	2,017	2,763	1,824	1,917	1,917	1,919	1,704	1,836

*H20 9/11~14は欠測

平成 30 年は稚貝分散以降、速い潮の流れや養殖施設の動揺は比較的少なかったが、試験終了時のへい死亡率が過去 2 番目に高かったのは、分散時に異常貝の多い稚貝を收容したことによると考えられる。稚貝分散時の異常貝率は過去 3 年分のみのデータであるが、その中では最も高かった。

試験終了時の測定は 8 段のパールネットを 2 段、3 段、3 段と分けて 30 個体ずつ測定しているが、へい死亡率は上段 2.0%、中段 6.7%、下段 13.3%、異常貝率は上段 3.3%、中段 0.0%、下段 23.3%と、ともに下段が高かった。また、最終測定時の死貝殻長は上段 23.7mm、中段 26.6mm、下段 38.7mm と下段は他よりも大きかった。深度計のデータから、幹綱の水深は最も沈んでいた時でも 11m 程度であった。漁場水深は 20m であり、8 段のパールネットの下段が底についていたとは考えにくい。また、速い潮の流れによって隣の施設に被るようなことも深度計のデータからは見られなかった。さらに、流向流速計、加速度計のデータは前述のとおりで、特にパールネット下段に設置した加速度計は分散以降ほとんど振動は確認されていない。また、上中下段の收容枚数は 25 枚/段でほぼ一致している。以上のことから、本試験で収集したデータでは、下段のへい死や異常貝が多かった原因は特定できなかった。下段の死貝や異常貝が 3 段にばらけていたか、1 段に集中していたかは記録していないが、出荷作業時に漁業者のパールネットでも特定の 1 段だけに死貝が多く見られることがある。その原因についても明らかになっていない。

文 献

- 1) 森恭子・吉田達・山内弘子・小谷健二(2019)海面養殖業高度化事業(ホタテガイ養殖技術モニタリング事業). 平成 29 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 255-267.