

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

佐藤慶之介

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 に示した蓬田村、平内町小湊地先において、2022 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、2022 年 8 月の稚貝採取時にホタテガイをサンプリングし、生貝及び死貝数からへい死率を求め、生貝 50 個体及び死貝の殻長を測定した。同年 10 月の稚貝分散時には上記に加え生貝の異常貝率を求めた。さらに、2023 年 3 月の試験終了時にはパールネット 1 連を上・中・下段に分けてそれぞれ 30 個体ずつ計 90 個体の生貝の殻長、全重量、軟体部重量と死貝の殻長を測定し、分散時と同様にへい死率、異常貝率を求めた。なお、稚貝分散時と試験終了時の死貝は、障害輪の有無によって、採取または分散直後と成長後に分けて測定した。



図 1. モニタリング地点

また、稚貝採取時から試験終了時まで、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、さらにパールネットの最下段上部にもメモリー式加速度計を取り付け、1 時間間隔で流向、流速、水温及び水深を、5 分間隔で鉛直方向の加速度を測定した。なお、平内町小湊では 2022 年 10 月 30 日～11 月 5 日の流向、流速、水温、水深及び加速度は漁業者の都合により欠測となっている。

得られた結果を、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、養殖施設への設置物を表 3 に示した。作業時期は前年度と比較すると稚貝採取は 9 日間遅く、稚貝分散は 2 日間遅かった。選別時の目合いは前年度と同じであった。

表 1. 養殖作業の時期 (蓬田村)

稚貝採取	稚貝分散	試験終了
2022.8.8	2022.10.9	2023.3.23

表 2. 養殖施設の基本構造 (蓬田村)

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	
36m	24m	12m	100m	100m	110kg	片側1丁	無

表 3. 養殖施設への設置物（蓬田村）

	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	10個	2分	10段	400連	130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	2個	4箇所	ABS製1尺3寸	17個	3分	10段	400連	25個体/段	鉛50匁または下段太枠	選別機の目合6分

2022年度の測定結果を表4に、2007年度から2021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2～5に示した。稚貝採取時の育成状況は、へい死率が0.4%と2007～21年度平均(以下「蓬田平均値」)の5.5%より低かった。また、殻長が12.4mmと蓬田平均値9.4mmより大きかった。稚貝分散時は、成長後へい死率が1.5%と蓬田平均値17.4%よりかなり低く、異常貝は見られなかった。また、殻長は20.1mmで平均値23.3mmよりやや小さかった。試験終了時は、成長後へい死率が0.7%と蓬田平均値11.3%よりかなり低く、異常貝率が1.1%と蓬田平均値11.2%よりかなり低く、成長後へい死率は過去1番目に低く、異常貝率は過去3番目に低かった。また、殻長は55.3mmと蓬田平均値61.3mmよりやや小さく、全重量が19.4gと蓬田平均値23.9gより小さく、軟体部重量が8.0gと蓬田平均値10.1gより小さかった。

表 4. ホタテガイの測定結果（蓬田村）

調査年月日	作業内容	サンプリング方法	生貝(枚)	死貝(枚)	成長後死貝 ^{*2} (枚)	へい死率(%)	成長後へい死率 ^{*2} (%)	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
2022.8.8	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜パールネット ^{*1}	240	1	—	0.4	—	0.0	12.4 ± 2.0	—	—
2022.10.9	稚貝分散	(未分散)1段分パールネット ^{*1}	195	5	3	2.5	1.5	0.0	20.1 ± 2.4	—	—
2023.3.23	試験終了	パールネット ^{*1} 1連(10段)	286	10	2	3.4	0.7	1.1	55.3 ± 5.5	19.4 ± 5.3	8.0 ± 2.3

*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。

*2 成長後死貝及び成長後へい死率は採取または分散直後の死貝を除いた値

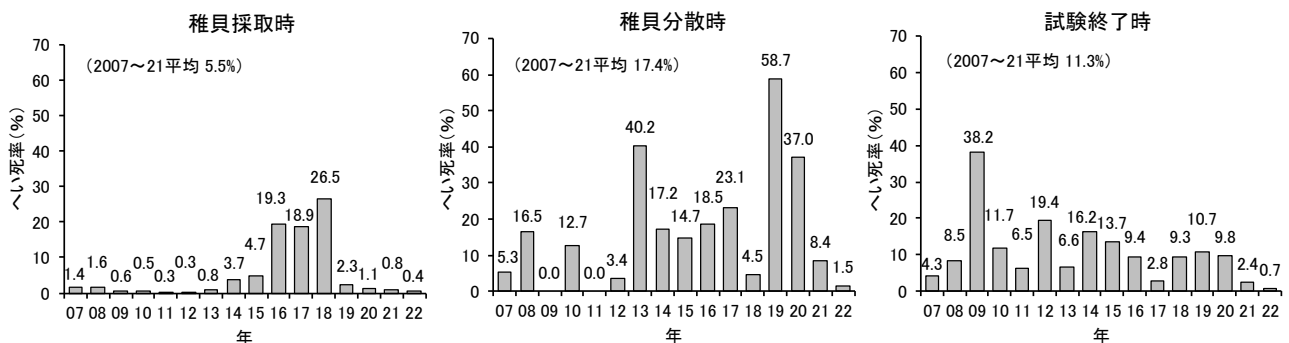


図 2. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（2012年の稚貝分散時のへい死率はサンプル数が少ないため参考値。稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値）（蓬田村）

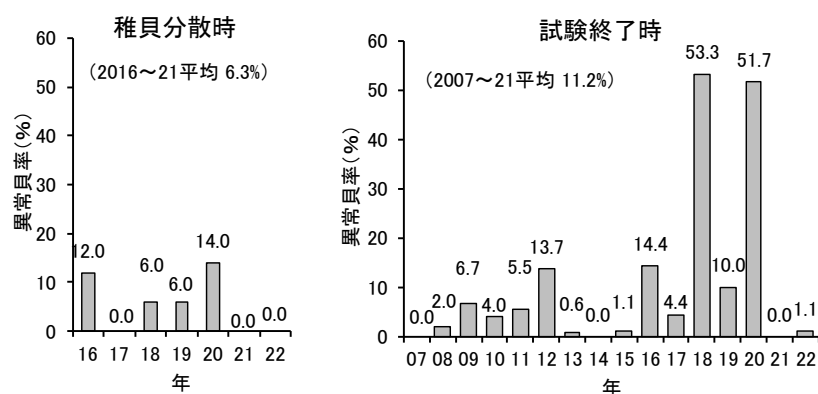


図 3. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移
(2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加) (蓬田村)

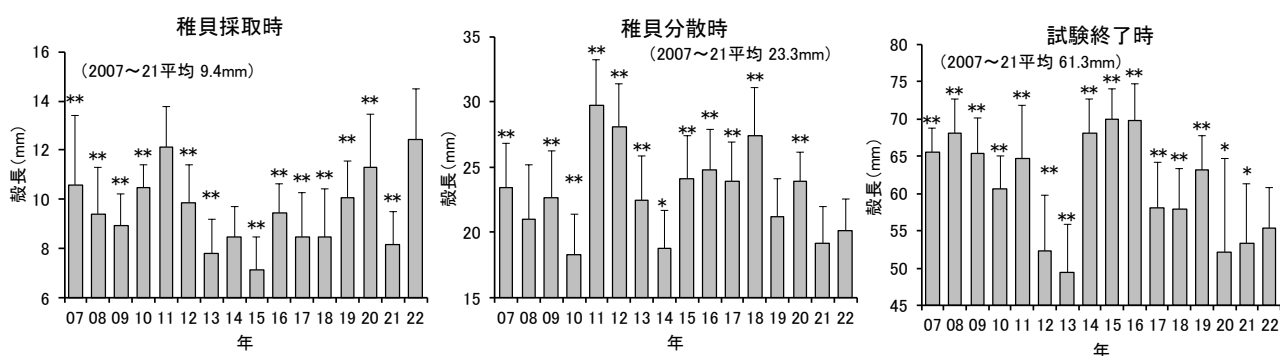


図 4. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移 (バーは標準偏差、2022 年と比較して**は有意水準 1%、*は有意水準 5%で有意差があることを示す) (蓬田村)

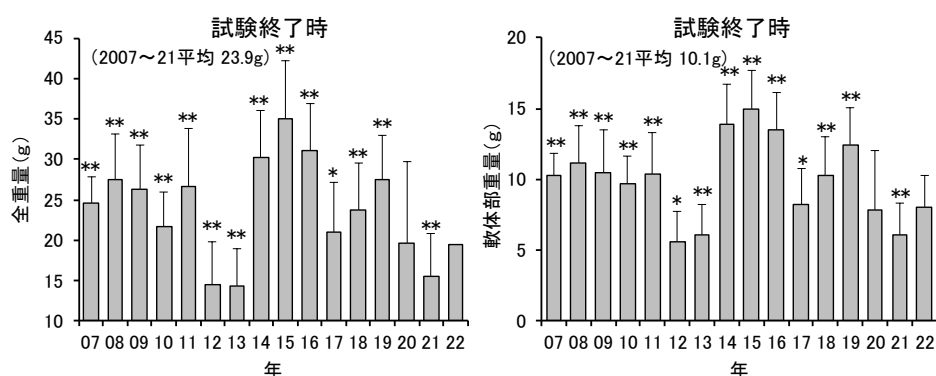


図 5. 年別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移 (バーは標準偏差、2022 年と比較して**は有意水準 1%、*は有意水準 5%で有意差があることを示す) (蓬田村)

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝及び成長後死貝の殻長組成を図 6 に示した。稚貝分散時に採集された死貝は 3 個体で殻長に明確なピークは見られず、稚貝採取直後及び稚貝採取後 2mm 未満成長した後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成長後の死貝は 2 個体で殻長に明瞭なピークはみられず、稚貝分散後に 8~10 mm 成長した後にへい死したものと考えられる。また、試験終了時の生貝の殻長は 54 mm と 58 mm に弱いピークが見られ、40~70mm の範囲でばらつきがみられた。

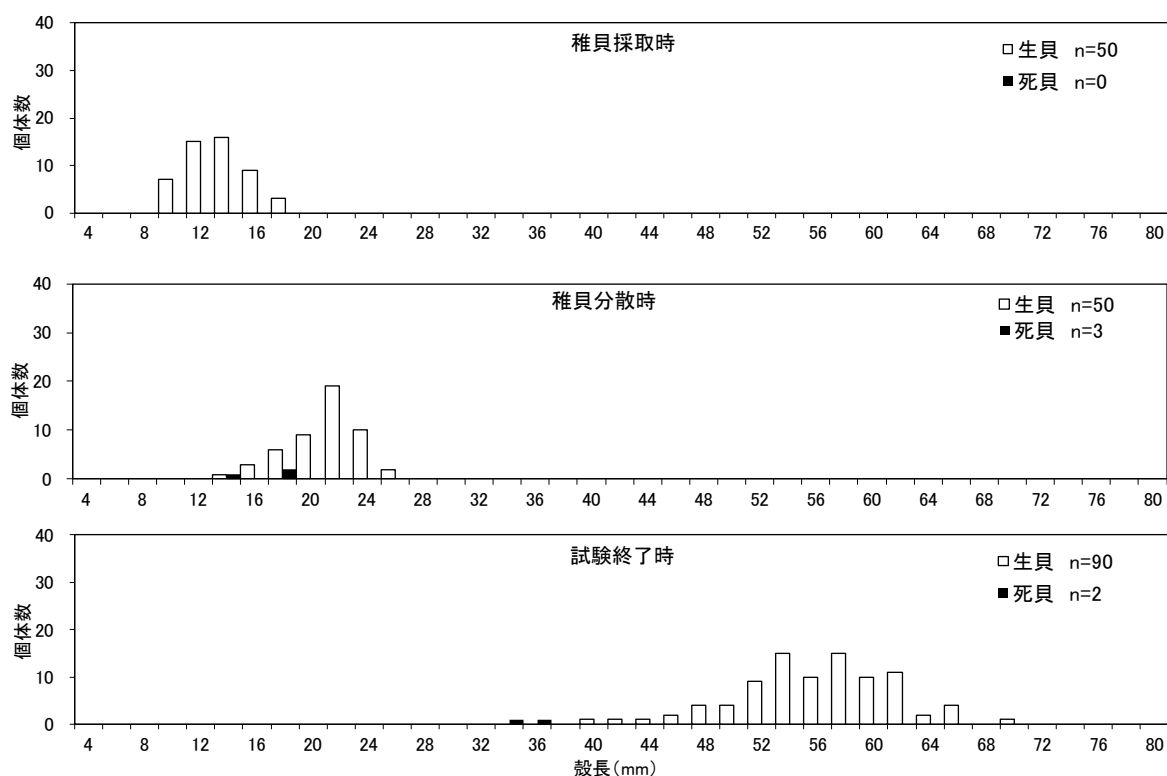


図 6. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成（蓬田村）

養殖施設における毎時水温の推移を図 7 に示した。2022 年度の毎時水温は、稚貝採取時が 18.4～25.1℃で、2022 年 8 月 22 日 18 時の 25.1℃がピークであった。稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移を図 8 に示した。高水温期を迎えるまでに 23℃以下の水温帯で育成した日数や、高水温期が継続した日数がへい死率に大きく影響すること²⁾、高水温期以降、23℃以下の水温帯で育成した日数がホタテガイの育成に大きく影響すること²⁾が分かっている。また、稚貝の成長が鈍化する目安は 23℃であり、それを超える日平均水温は、8 月中旬～9 月上旬に観測された。日平均水温が 23℃を超えた日数は稚貝採取から稚貝分散までに 27 日で、2007～21 年度平均の 17 日より多かった。23℃を下回った後の日平均水温が 23℃未満だった日数は稚貝採取から稚貝分散までに 32 日で、2007～21 年度平均の 29 日よりやや多かった。

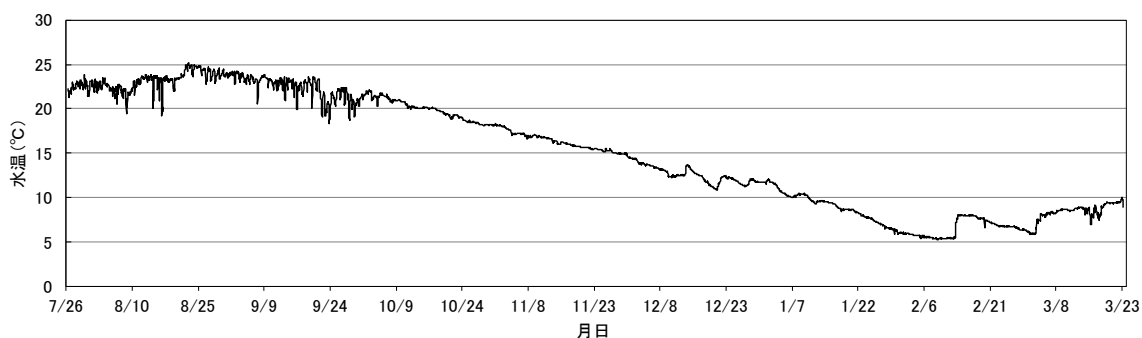


図 7. 養殖施設の毎時水温の推移（蓬田村）

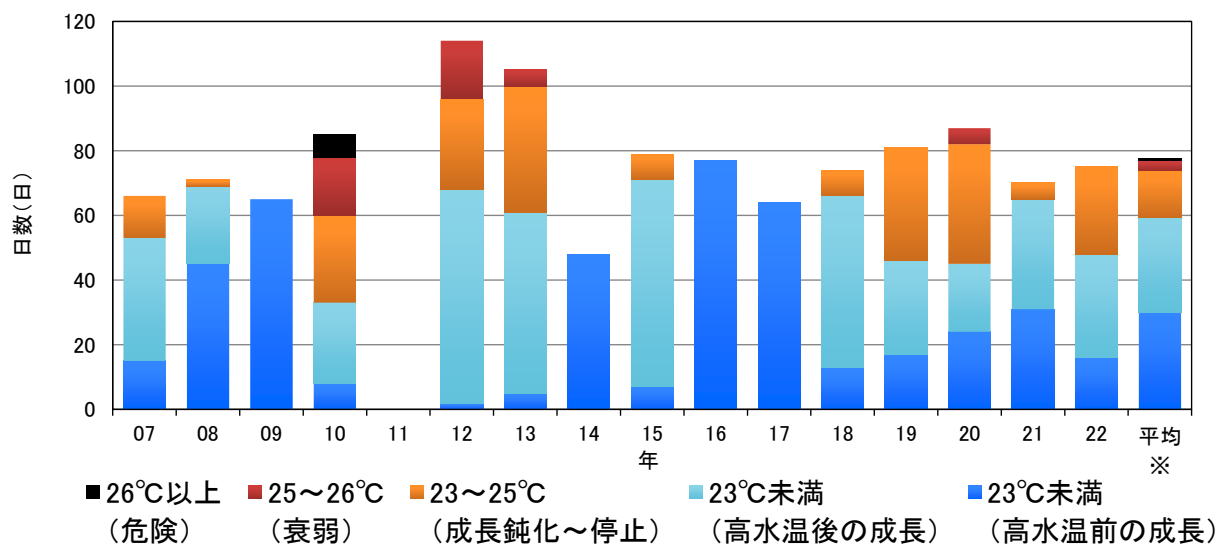


図 8. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移 (※2007~21 年平均、2011 年は欠測)
(蓬田村)

養殖施設の幹綱水深の変化を図 9 に示した。稚貝採取から稚貝分散までの幹綱水深は 6~30m で推移し、8 月中旬~9 月中旬に 4m 前後の深度変化が 41 日間みられ、漁業者による幹綱水深の変更は 7 月下旬から 8 月上旬にかけて段階的に 21m 台まで下げる操作が 3 回確認され、10 月 5 日に 14m 台に上げる操作が 1 回確認された。稚貝分散から試験終了までの幹綱水深は 2~25m で推移し、10 月及び 3 月に数回、4m 前後の一時的な沈み込み、11~1 月に数回、2m 前後の一時的な沈み込みが見られたが、それ以外は安定しており、貝の成長に伴い沈み込んだ施設に対する漁業者の幹綱水深の操作は、稚貝分散から試験終了までに 4 回確認された。

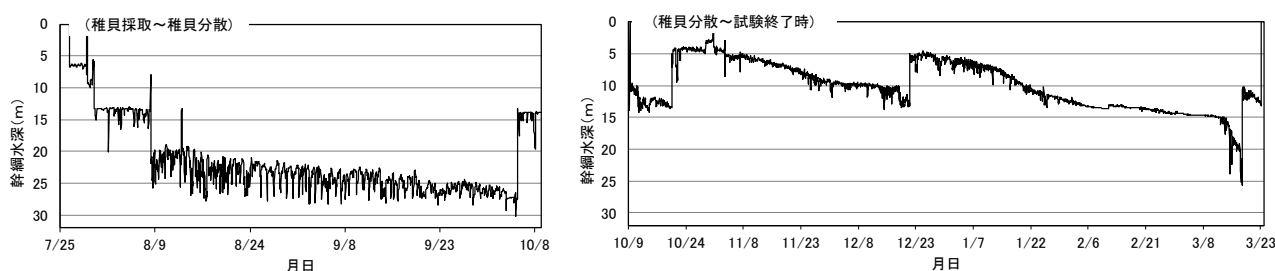


図 9. 養殖施設の幹綱水深の変化 (蓬田村)

養殖施設における加速度の推移を図 10-1 及び 10-2 に示した。稚貝採取から稚貝分散までの幹綱及びパールネットの加速度は $\pm 0.5 \text{ m/s}^2$ を超えず、概ね安定した状態であったと考えられた。稚貝分散から試験終了までの幹綱の加速度は $\pm 0.5 \text{ m/s}^2$ を超えず、稚貝分散から試験終了までのパールネットの加速度も 10 月 31 日 3 時台の 1 回を除き $\pm 0.5 \text{ m/s}^2$ を超えることはなく、概ね安定した状態であったと考えられた。

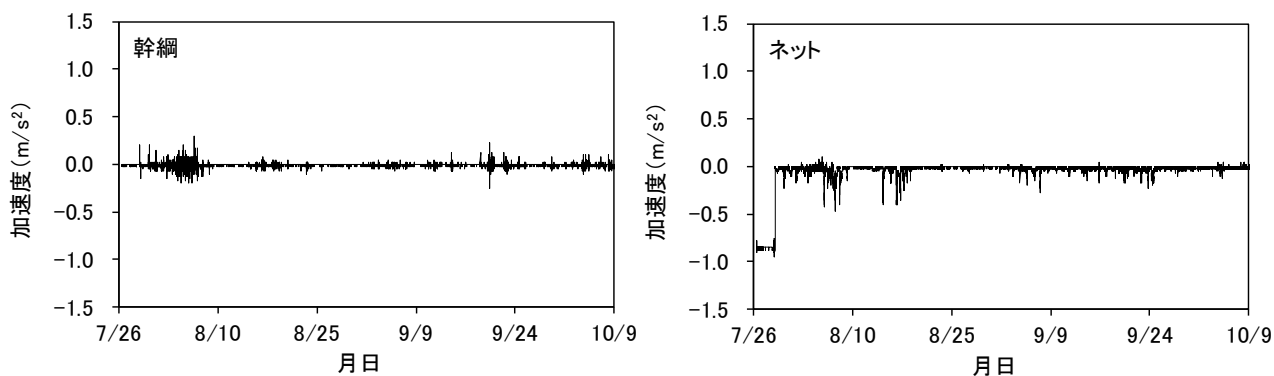


図 10-1. 養殖施設における加速度の推移(稚貝採取～稚貝分散) (蓬田村)

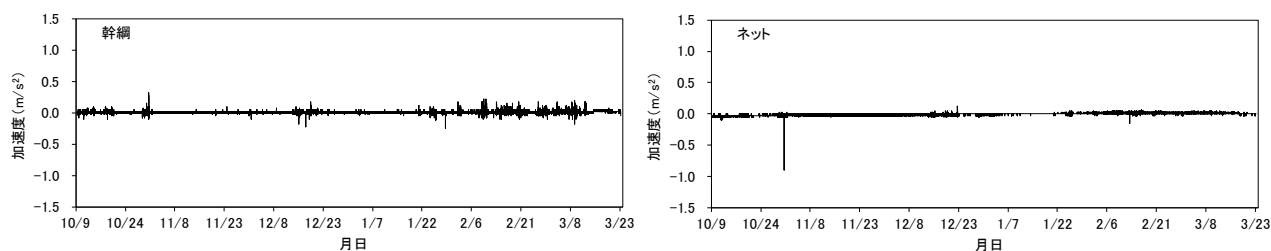


図 10-2. 養殖施設における加速度の推移(稚貝分散～試験終了時) (蓬田村)

養殖施設の流向流速の推移を図 11 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 に示した。7～10 月は比較的潮の流れが速く、8 月 7 日には期間中最高の 0.44m/s の流れを観測した。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 593 回で蓬田平均値 301 回より多く、0.2m/s 以上の出現数は 124 回で蓬田平均値 39 回よりかなり多く、0.3m/s 以上の出現数は 17 回で蓬田平均値 6 回よりかなり多く、いずれも過去 1 番目に多かった。これらのことから 2022 年度は比較的潮の流れが速かったと考えられる。

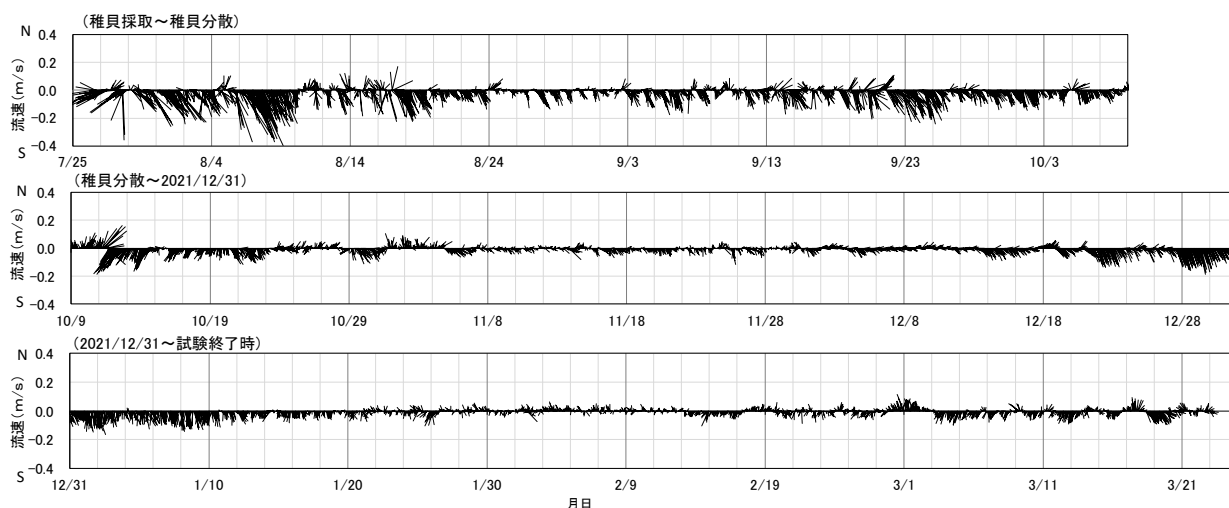


図 11. 養殖施設の流向流速の推移 (蓬田村)

表 5. 最高流速と流速別出現数(稚貝採取～稚貝分散) (蓬田村)

年	07	08	09*	10	11*	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	07-21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	0.27	0.37	0.32	0.44	0.34
流速別出現数																	
流速0.3m/s以上(回)	6	5	8	0	-	2	0	0	25	2	15	7	0	9	1	17	6
流速0.2m/s以上(回)	60	37	39	10	-	6	16	1	114	43	35	67	6	66	42	124	39
流速0.1m/s以上(回)	338	271	433	187	-	150	361	104	367	427	220	296	196	546	319	593	301
全流速(回)	1,562	1,665	2,023	2,012	-	2,712	2,495	1,132	1,873	1,822	1,517	1,892	1,924	2,074	1,658	1,798	1,883

*2009年7/31～8/4及び2011年は欠測

稚貝採取から稚貝分散までは稚貝分散時の成長後へい死率及び異常貝率が低かった。これらは、流向流速計の結果から比較的潮の流れが速く、高水温期が継続した日数が多かったものの、加速度計の結果から稚貝を収容したパールネットの振動が少なく、貝同士の噛み合わせやぶつかり合いが起これにくい状況だったことが要因と考えられた。一方、稚貝分散時に貝がやや小さかったのは、23℃以上の日数が多かったことが要因として考えられた。

また、稚貝分散から試験終了時までは試験終了時の成長後へい死率は過去1番目に低く、異常貝率は過去3番目に低かった。これらは、流向流速計及び加速度計の結果から比較的成育環境が安定していたことと、貝の成長が比較的遅く、潮流や振動で貝同士のかみ合わせやぶつかり合いが起これにくい状況であったことが要因と考えられた。

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を表7に、養殖施設への設置物を表8に示した。作業時期は前年度と比較して稚貝採取は11日遅く、稚貝分散は30日遅かった。選別時の目合いは前年度と同じであった。

表 6. 養殖作業の時期(平内町小湊)

稚貝採取	稚貝分散	試験終了
2022.8.10	2022.10.29	2023.3.15

表 7. 養殖施設の基本構造(平内町小湊)

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	
36m	20m	10m	200m	100m	80kg	片側2丁	50kg 3個

表 8. 養殖施設への設置物(平内町小湊)

	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	31個	1.5分	8段	650連	80個体/段	鉛50匁	篩の目合1.5分
分散時	ABS製1尺3寸	2個	4箇所	ABS製1尺3寸	31個	3分	8段	230連	25個体/段	鉛50匁	選別機の目合6分

2022年度の測定結果を表9に、2006年度から2022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12～15に示した。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が0.4%と2006～21年度平均(以下「小湊平均値」)の1.6%よりかなり低かった。また、殻長が9.1mmと小湊平均値9.3mmと大きな差は見られなかった。稚貝分散時は、成長後へい死率が1.2%と小湊平均値3.9%よりかなり低く、異常貝は見られなかった。また、殻長は21.0mmで小湊平均値24.8mmよりやや小さかった。試験終了時は、成長後のへい死は見られず、異常貝率が1.1%と小湊平均値8.5%よりかなり低かった。また、殻長は59.3mmと小湊平均値65.6mmよりやや小さく、全重量が20.8gと小湊平均値32.0gより小さく、軟体部重量が9.1gと小湊

平均値 14.1g より小さく、殻長、全重量及び軟体部重量は過去 3 番目に小さかった。

表 9. ホタテガイの測定結果（平内町小湊）

調査年月日	作業内容	サンプリング 方法	生貝 (枚)	死貝 (枚)	成長後 死貝*2(枚)	へい死 率(%)	成長後へい 死率*2(%)	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
2022.8.10	稚貝採取	選別後の 稚貝を適宜	240	1	-	0.4	-	0.0	9.1 ± 1.4	-	-
2022.10.29	稚貝分散	パールネット*1 (未分散)1段分	160	7	2	4.2	1.2	0.0	21.0 ± 3.1	-	-
2023.3.15	試験終了	パールネット*1 1連(8段)	205	10	0	4.7	0.0	1.1	59.3 ± 4.9	20.8 ± 4.9	9.1 ± 2.2

*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8に同じ。

*2 成長後死貝及び成長後へい死率は採取または分散直後の死貝を除いた値

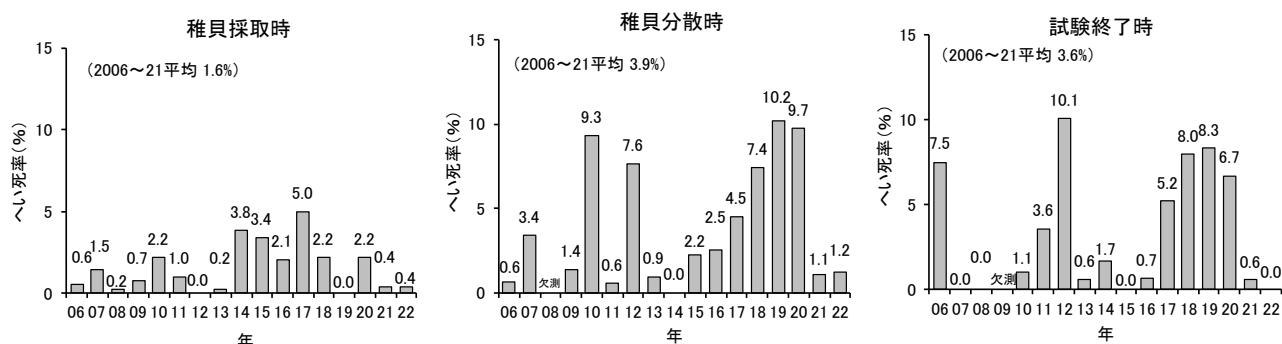


図 12. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移(稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値)（平内町小湊）

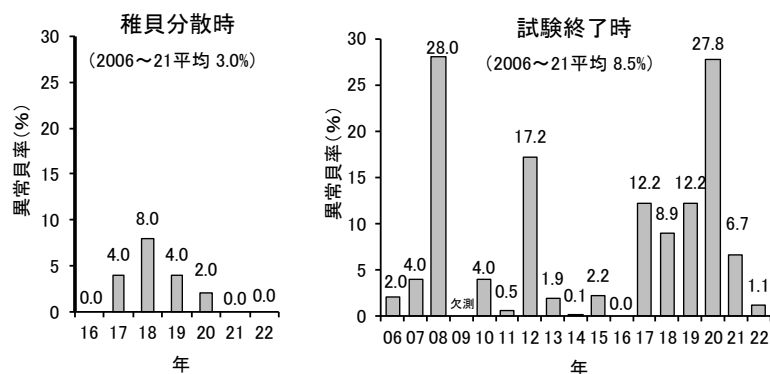


図 13. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移（2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加）（平内町小湊）

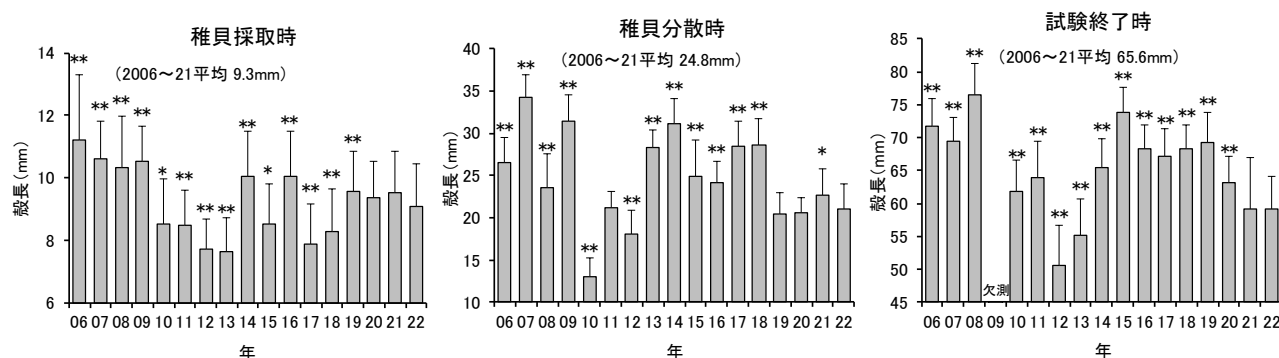


図 14. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移(バーは標準偏差、2022 と比較して**は有意水準 1%、*は有意水準 5%で有意差があることを示す。)（平内町小湊）

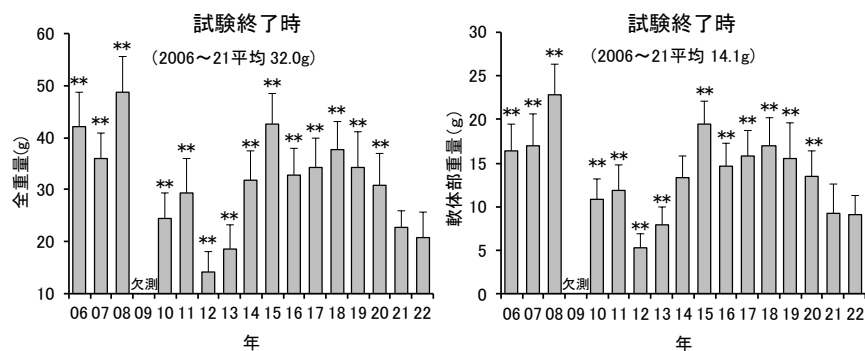


図 15. 年別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移（バーは標準偏差、2022 年と比較して**は有意水準 1%で有意差があることを示す。）（平内町小湊）

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝及び成長後死貝の殻長組成を図 16 に示した。稚貝分散時に採集された成長後の死貝は 2 個体で殻長に明瞭なピークはみられず、稚貝採取から 5～7mm 成長した後にへい死したと考えられる。また、試験終了時の生貝の殻長は 62 mm にピークが見られ、40～70mm の範囲でばらつきがみられた。

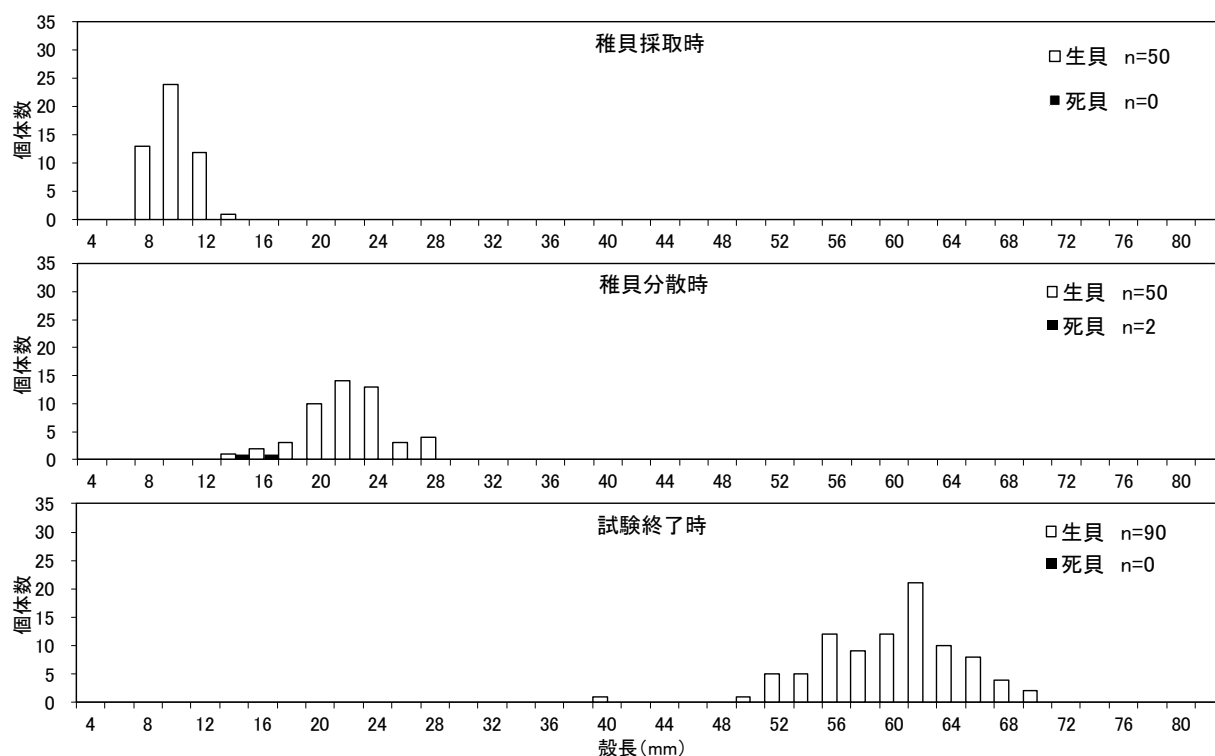


図 16. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成（平内町小湊）

養殖施設における毎時水温の推移を図 17 に示した。2022 年度の毎時水温は、稚貝採取時が 23℃ 台で、2022 年 8 月 27 日に観測された 24.5℃ がピークであり、稚貝の成長が鈍化する目安の 23℃ を超える日平均水温は、8 月中旬～9 月中旬に観測された。稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移を図 17 に示した。日平均水温が 23℃ を超えた日数は稚貝採取から稚貝分散までに 38 日で、2006～21 年度平均の 18 日より多かった。23℃ を下回った後の日平均水温が 23℃ 未満だった日数は稚貝採取から稚貝分散までに 38 日で、2006～21 年度平均の 29 日より多かった。

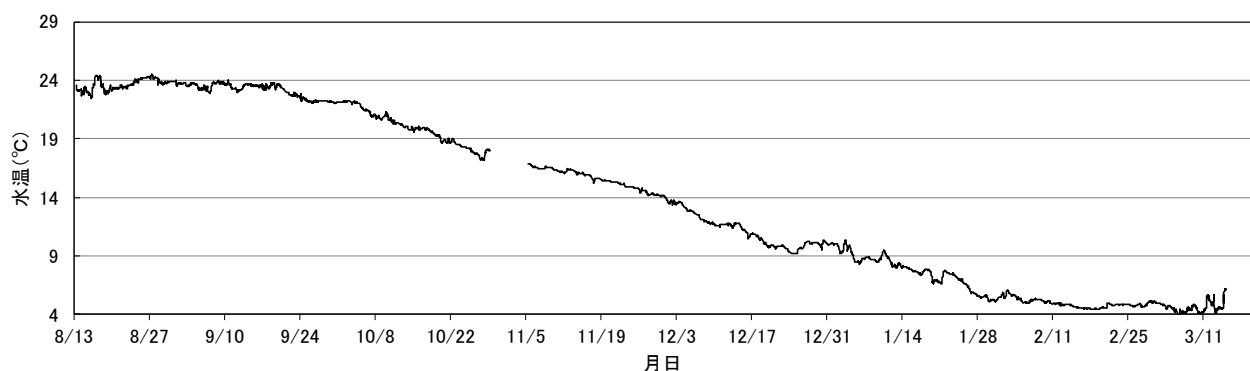


図 17. 養殖施設の毎時水温の推移（平内町小湊）

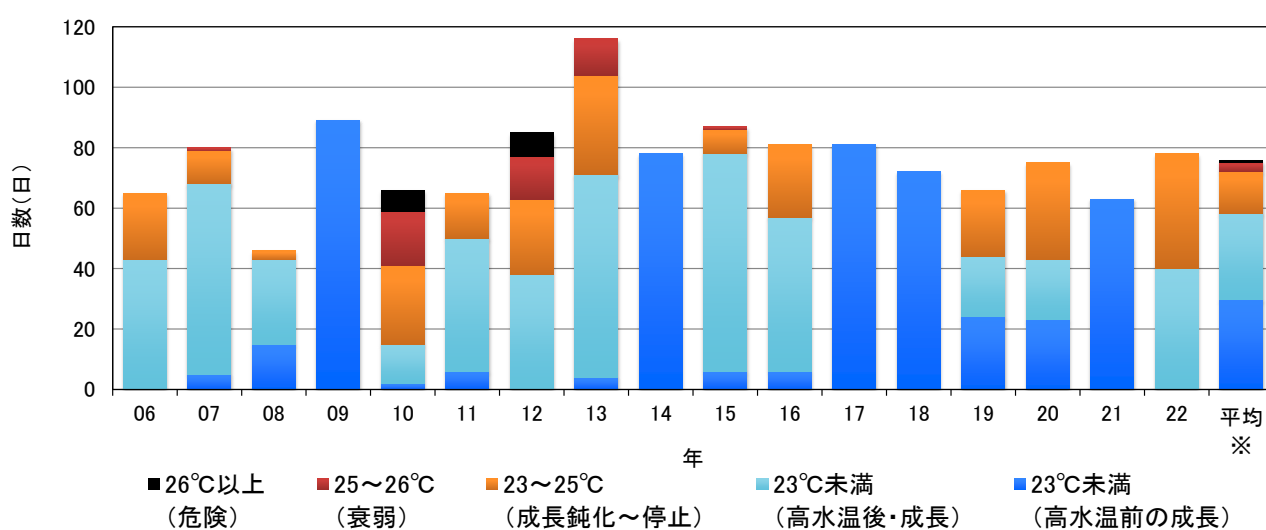


図 18. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移（※2006～21年平均）（平内町小湊）

養殖施設の幹綱水深の変化を図 19 に示した。稚貝採取から稚貝分散までの幹綱水深は 10～16m で推移し、8 月下旬から 9 月上旬に 1～3m の深度変化がみられ、漁業者による幹綱水深の変更は 10 月上旬及び中旬に水深を上げる操作が 2 回確認された。稚貝分散から試験終了までの幹綱水深は 11～29m で推移し、1 月下旬及び 2 月下旬に数回、4～12m 前後の一時的な沈み込みが見られたが、それ以外は安定しており、貝の成長に伴い沈み込んだ施設に対する漁業者の幹綱水深の操作は、稚貝分散から試験終了までに 3 回確認された。

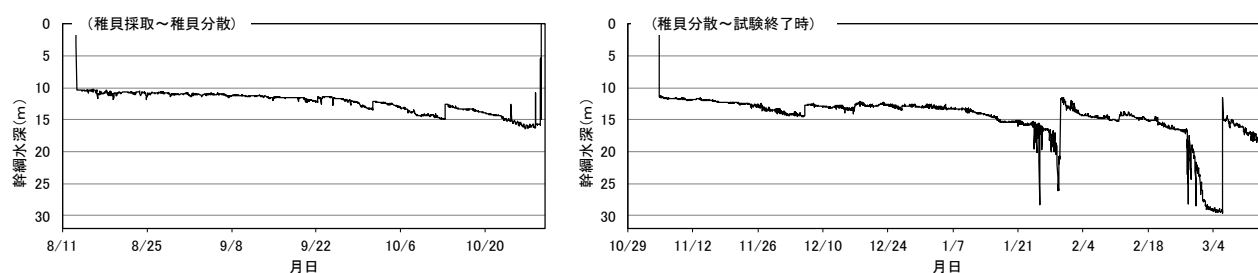


図 19. 養殖施設の幹綱水深の変化（平内町小湊）

幹網及びパールネット下段の加速度を図 20-1 及び 20-2 に示した。幹網及びパールネットは稚貝採取から試験終了までの期間を通じて目立った振動は確認されず概ね安定していた。

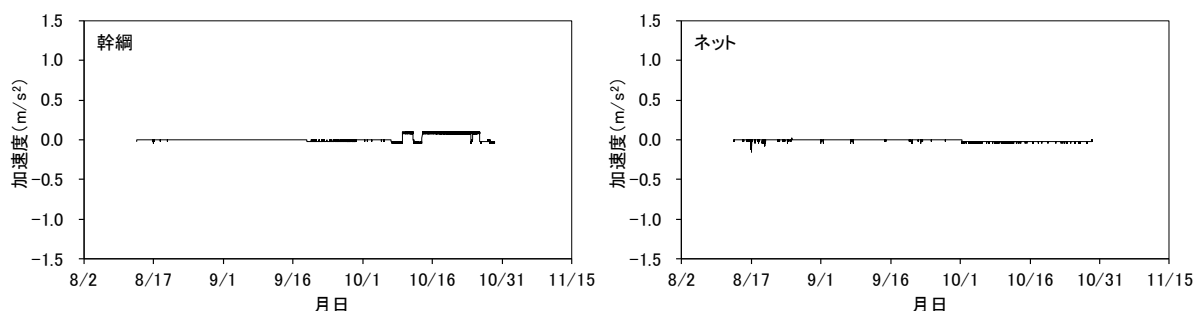


図 20-1. 養殖施設の加速度の推移(稚貝採取～稚貝分散) (平内町小湊)

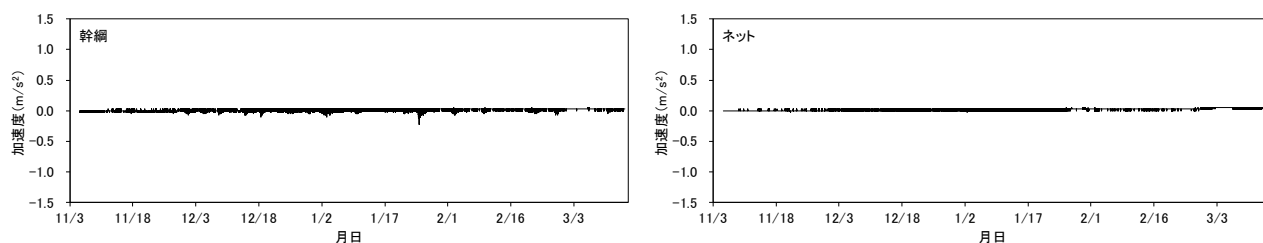


図 20-2. 養殖施設における加速度の推移(稚貝分散～試験終了時) (平内町小湊)

養殖施設の流向流速の推移を図 21 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 に示した。8 月は比較的潮の流れが速く、8 月 17 日には期間中最高の 0.21m/s の流れを観測した。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 104 回で小湊平均値 243 回よりかなり少なく、0.2m/s 以上の出現数は 3 回で小湊平均値 35 回よりかなり少なく、0.3m/s 以上の出現はなかった。これらのことから 2022 年度は速い潮流が比較的少なかったと考えられる。

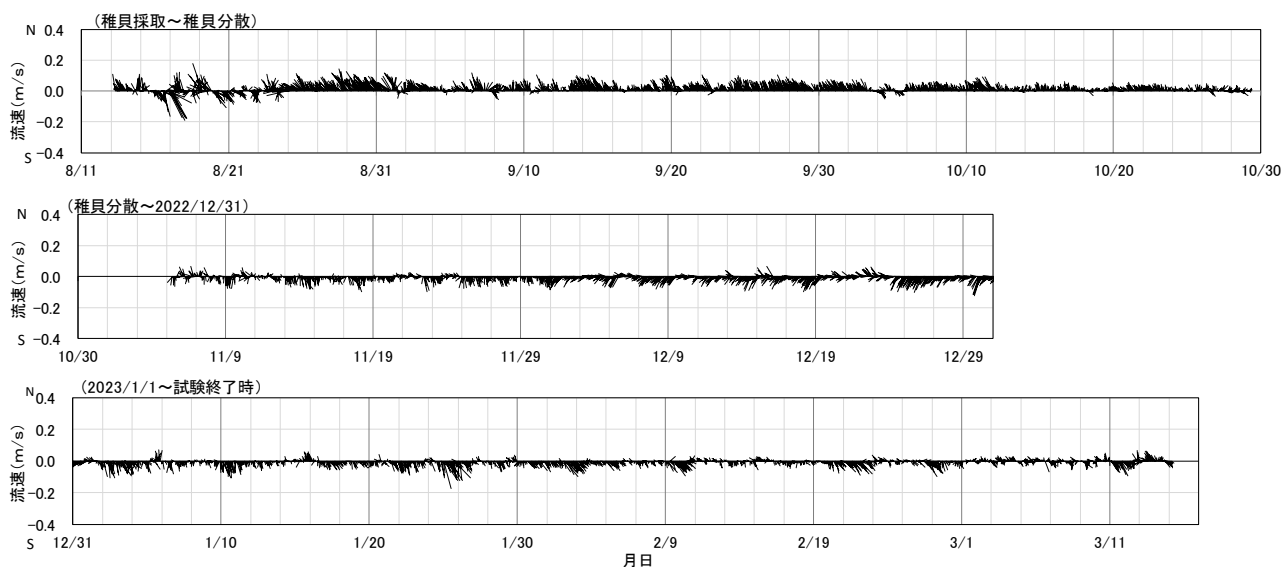


図 21. 養殖施設の流向流速の推移 (平内町小湊)

表 10. 最高流速と流速別出現数（平内町小湊）

年	06	07	08*	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	06-21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	0.24	0.44	0.24	0.21	0.30
流速別出現数																		
流速0.3m/s以上(回)	0	2	4	0	0	1	0	0	3	0	0	39	0	0	48	0	0	6
流速0.2m/s以上(回)	0	25	16	7	12	4	0	6	33	0	31	235	4	4	177	3	3	35
流速0.1m/s以上(回)	140	211	184	176	337	161	114	303	174	222	440	481	174	155	442	176	104	243
全流速(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	1,562	1,776	1,487	1,850	1,785

*2008年 9/11～14は欠測

稚貝採取から稚貝分散までは稚貝分散時の成長後へい死率が低く異常貝が見られなかった。これらは、高水温期が継続した日数が多かったものの、流向流速計の結果から速い潮流が平年よりも少なく、加速度計の結果から稚貝を収容したパールネットは概ね安定しており、貝同士の噛み合わせやぶつかり合いが起これにくい状況だったことが要因と考えられた。一方、稚貝分散時にはやや小さい殻長となったのは、23℃以上の日数が多かったことが要因として考えられた。

また、稚貝分散から試験終了時までは試験終了時の成長後へい死が見られず異常貝率が低く、これらは、流向流速計及び加速度計のデータから比較的成育環境が安定していたことと、貝の成長が比較的遅く、潮流や振動で貝同士のかみ合わせやぶつかり合いが起これにくい状況であったことが要因と考えられた。

(3) まとめ

2022年度は漁業者らが水温の動向をみながら高水温や冬季波浪を避けて養殖施設を沈め、適度な玉付けにより施設を安定化させる等の対策をとったことが稚貝採取から試験終了までのへい死率と異常貝率を低減できた要因として考えられる。

文 献

- 1) 佐藤慶之介(2022) 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. 2021年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 286-298.
- 2) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要(2015) ほたてがい高水温被害回避対策事業 高水温時の養殖技術の開発. 平成25年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 350-371.