

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、2021 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、2021 年 7 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 9～10 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、2022 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 2021 年 9 月 30 日～10 月 27 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<sup>1)</sup>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 10 日間遅く、稚貝分散は 7 日間早かった。選別機の場合を前年度と比較すると稚貝採取時は 5 厘小さく、稚貝分散時は同じであった。

表 1. 養殖作業の時期 (蓬田村)

稚貝採取	稚貝分散	試験終了
2021.7.30	2021.10.7	2022.3.25

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

2021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0.8%と2007～20年度平均(以下「蓬田平均値」)の5.8%より低かった。また、殻長が8.1mmと蓬田平均値9.3mmよりやや小さかった。稚貝分散時は、成長後へい死率が8.4%と蓬田平均値18.0%より低く、異常貝は見られなかった。また、殻長は19.2mmで平均値23.6mmよりやや小さかった。試験終了時は、成長後へい死率が2.4%と蓬田平均値11.9%より低く、異常貝率が0.0%と蓬田平均値12.0%より低く、成長後へい死率及び異常貝率は過去1番目に低かった。また、殻長は53.3mmと蓬田平均値61.8mmよりやや小さく、全重量が15.5gと蓬田平均値24.5gより小さく、軟体部重量が6.1gと蓬田平均値10.3gより小さく、全重量及び軟体部重量は過去3番目に小さかった。

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 <sup>*2</sup> (枚)	異常貝(枚)	へい死率(%)	成長後へい死率 <sup>*2</sup> (%)	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
2021.7.30	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	240	2	-	0	0.8	-	0.0	8.1 ± 1.4	-	-
2021.10.7	稚貝分散	パールネット <sup>*1</sup> (未分散)1段分	330	52	16	0	13.6	8.4	0.0	19.2 ± 2.8	-	-
2022.3.25	試験終了	パールネット <sup>*1</sup> 1連(10段)	240	87	6	0	26.6	2.4	0.0	53.3 ± 8.1	15.5 ± 5.4	6.1 ± 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

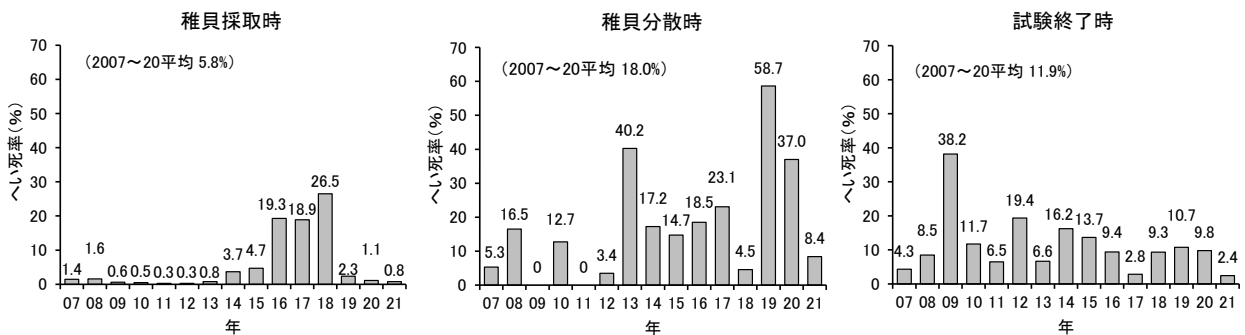


図 2. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（2012年の稚貝分散時のへい死率はサンプル数が少ないため参考値。稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値）（蓬田村）

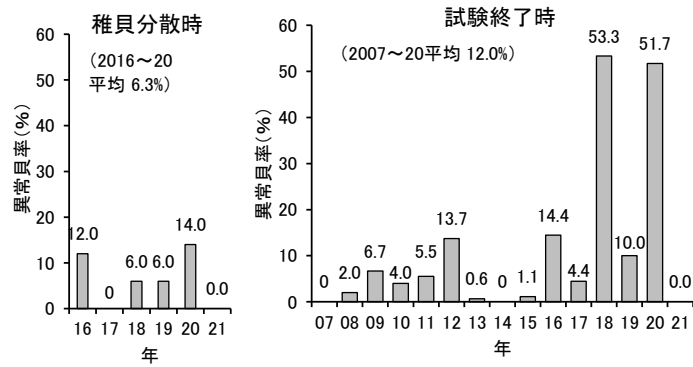


図 3. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移 (2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加) (蓬田村)

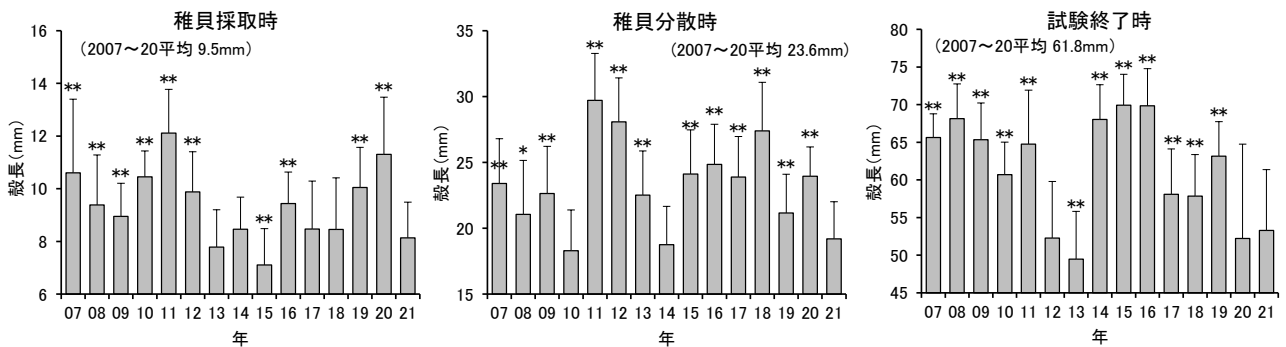


図 4. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移 (バーは標準偏差、2021 年と比較して\*\*は有意水準 1%、\*は有意水準 5%で有意差があることを示す) (蓬田村)

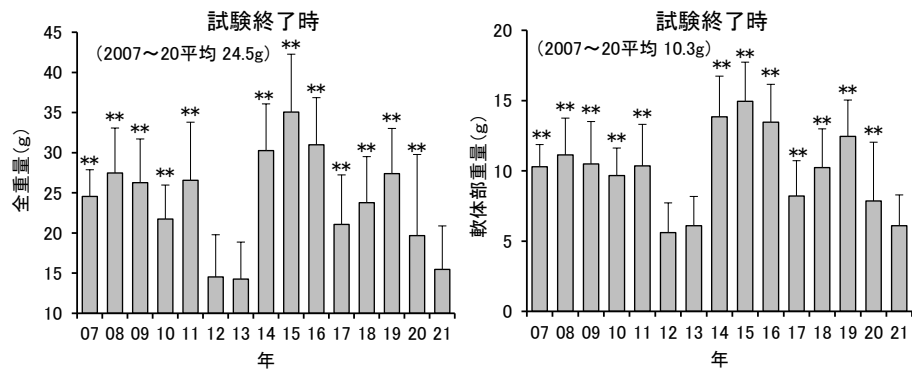


図 5. 年別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移 (バーは標準偏差、2021 年と比較して\*\*は有意水準 1%で有意差があることを示す) (蓬田村)

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成長後の死貝の殻長は 14mm にピークがあり、稚貝採取から 4mm 程度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 6 個体で殻長に明瞭なピークはみられず、42～52 mm の範囲でばらつきがみられ、多くは稚貝分散後に 22 mm 以上成長した後にへい死したのと考えられる。また、試験終了時の生貝の殻長は 52 mm と 58 mm に弱いピークが見られ、28～68mm の範囲でばらつきがみられた。

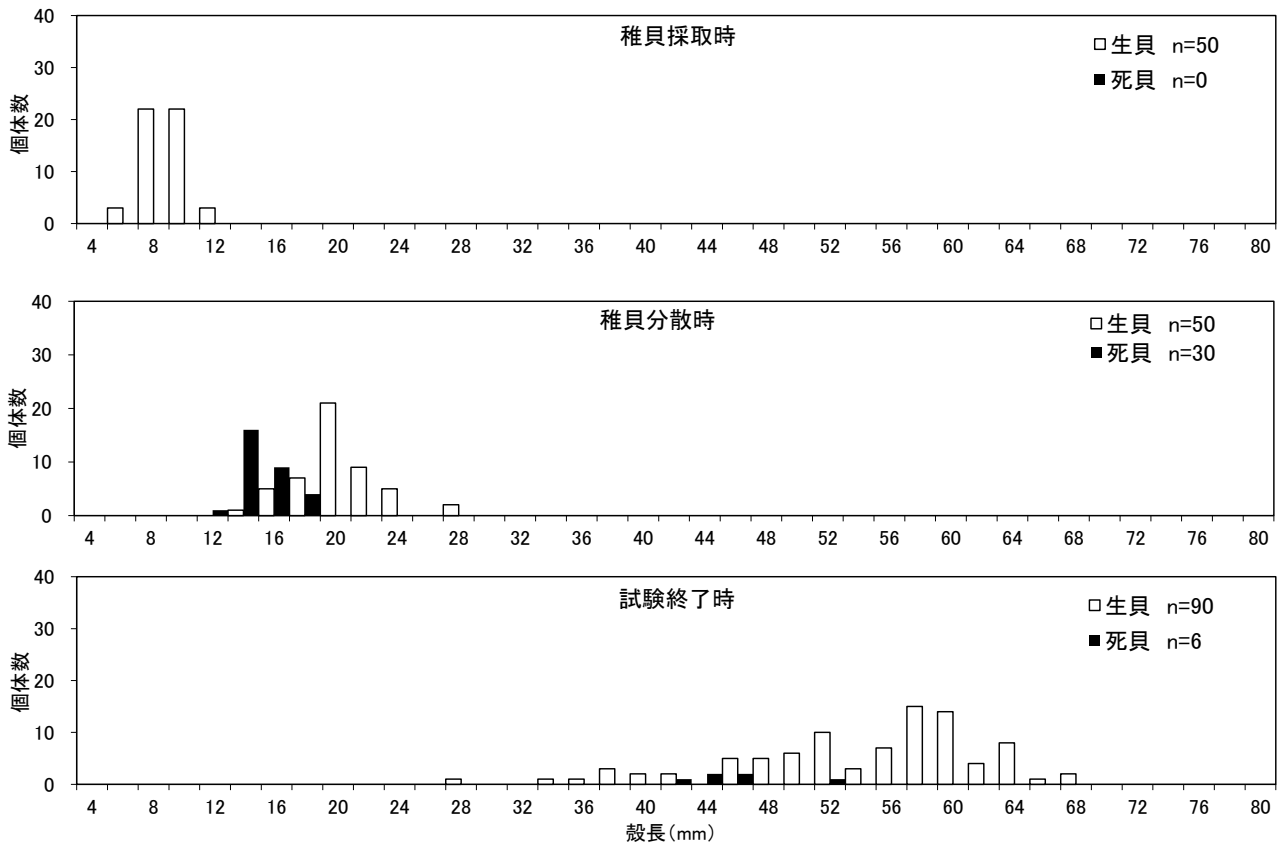


図 6. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成 (蓬田村)

養殖施設における毎時水温の推移を図 7 に示した。2021 年度の毎時水温は、稚貝採取時が 20.9～23.3℃で、2021 年 8 月 9 日 8 時の 25.2℃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比較を図 8 に示した。高水温期を迎えるまでに 23℃以下の水温帯で成育した日数や、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<sup>2)</sup>、高水温期以降、23℃以下の水温帯で成育した日数がホタテガイの成育に大きく影響すること<sup>2)</sup>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 月下旬～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 5 日で、2007～20 年度平均の 19 日より少なかった。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 34 日で、2007～20 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)

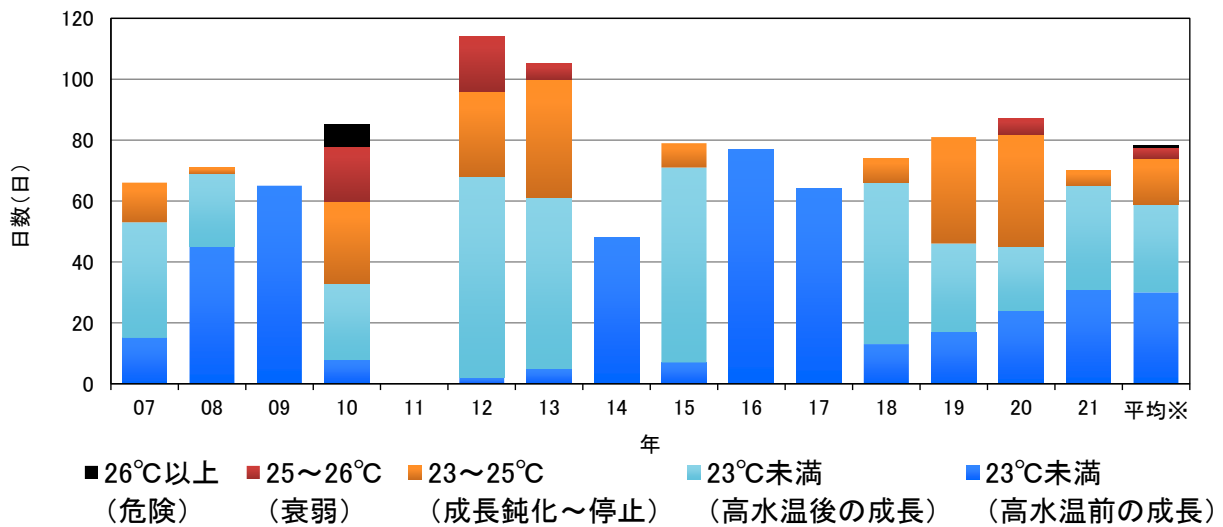


図 8. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移 (※2007~20年平均、2011年は欠測) (蓬田村)

養殖施設の幹網水深の変化を図9に示した。稚貝採取から稚貝分散までの幹網水深は12~26mで推移し、9月下旬に4m前後の深度変化が10日間みられ、漁業者による幹網水深の変更は8月3日に25m台へ下げる操作が1回確認され、9月21日に23m台に上げる操作、10月5日に13m台に上げる操作が1回ずつ確認された。稚貝分散から試験終了までの幹網水深は7~22mで推移し、10~1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網水深の操作は、稚貝分散から試験終了までに4回確認された。

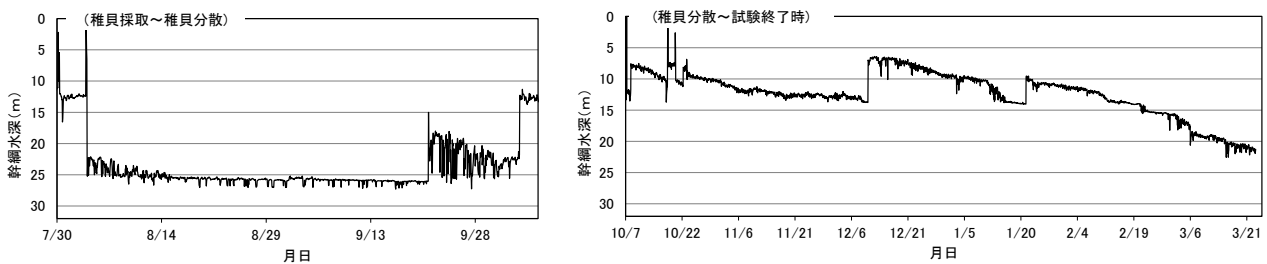


図 9. 養殖施設の幹網水深の変化 (蓬田村)

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網の加速度は8月9日、10日、12日、13日、14日に $\pm 2.0\text{m/s}^2$ を超え、このうち8月9日、10日、12日においてパールネットの加速度は $-4.0\text{m/s}^2$ を下回る値を示し、その他の期間においても頻繁に $-2.0\text{m/s}^2$ を下回る加速度が観測され、パールネットは不安定な状態だったと考えられた。稚貝分散から試験終了までの幹網の加速度は $\pm 2.0\text{m/s}^2$ 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 $\pm 1.0\text{m/s}^2$ 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。

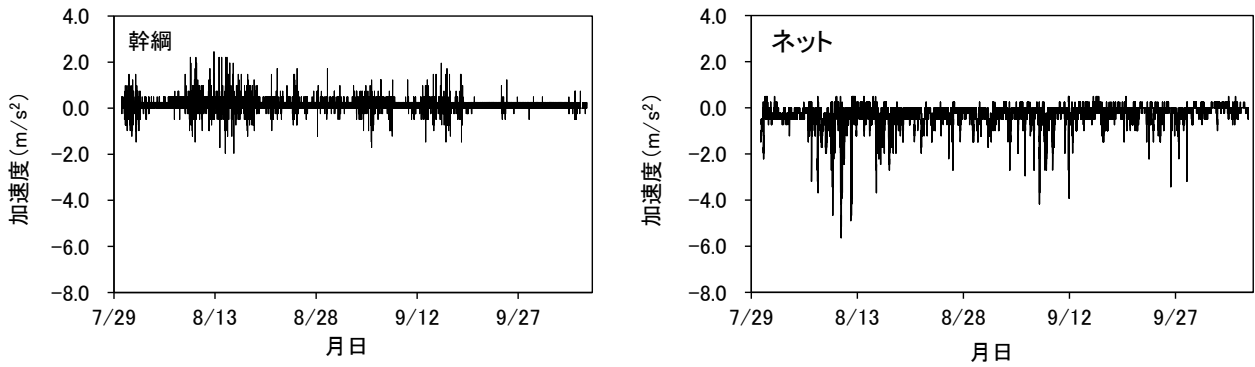


図 10-1. 養殖施設における加速度の推移(稚貝採取～稚貝分散) (蓬田村)

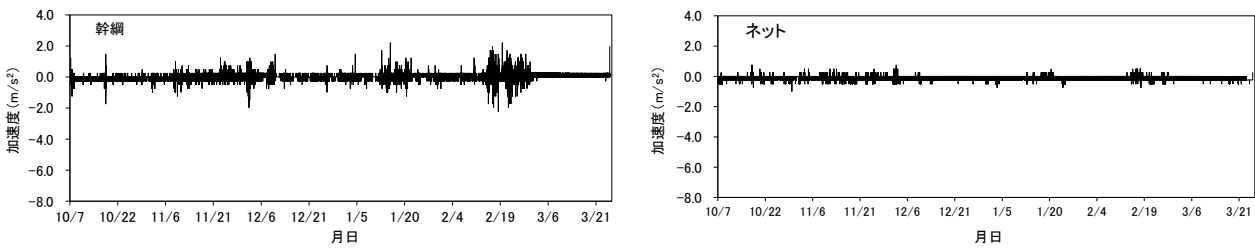


図 10-2. 養殖施設における加速度の推移(稚貝分散～試験終了時) (蓬田村)

養殖施設の流向流速の推移を図 12 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。7～9 月は比較的潮の流れが速く、7 月 30 日には期間中最高の 0.32m/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 319 回で蓬田平均値 300 回とほぼ同じ、0.2m/s 以上の出現数は 42 回で蓬田平均値 38 回よりやや多く、0.3m/s 以上の出現数は 1 回で蓬田平均値 6 回より少なかった。これらのことから 2021 年度は平均的な潮流であったと考えられる。

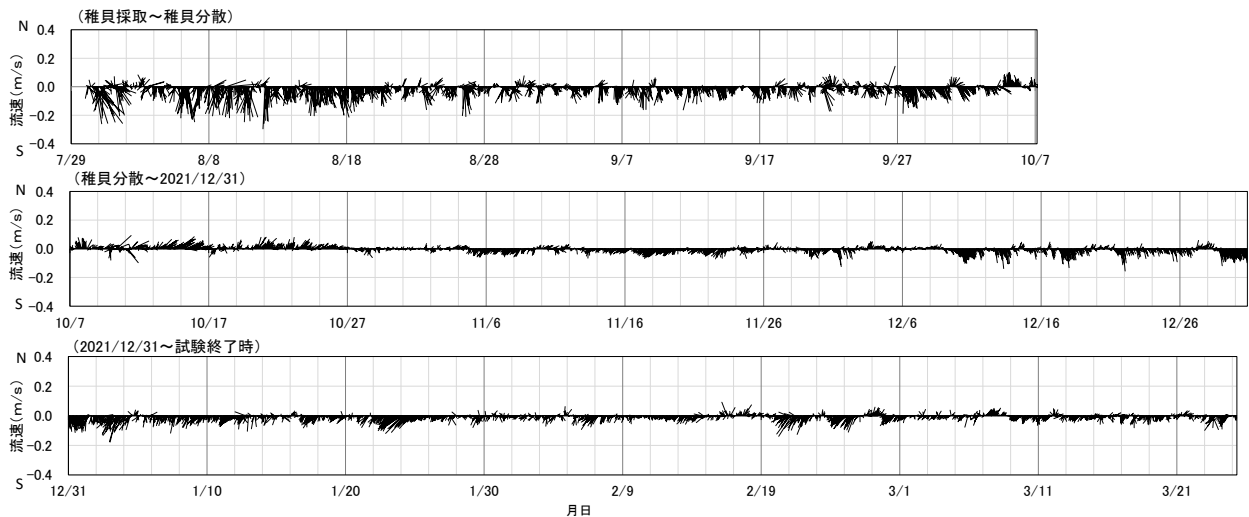


図 11. 養殖施設の流向流速の推移 (蓬田村)

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	07-20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	0.34
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	6
流速0.2m/s以上(回)	60	37	39	10	-	6	16	1	114	43	35	67	6	66	42	38
流速0.1m/s以上(回)	338	271	433	187	-	150	361	104	367	427	220	296	196	546	319	300
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	1,882

\*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く、これらは、流向流速計の結果から平年並みの潮流であったが、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確認され、貝同士の噛み合わせやぶつかり合いが起りやすい状況だったものの、高水温期が継続した日数が少なかったことが要因と考えられた。一方、23℃未満の日数がやや多かったが、稚貝採取時の殻長が小さく、1段あたりの入れ枚数が382枚と多めに収容されていたことが、稚貝分散時に貝がやや小さかった要因と考えられた。

また、稚貝分散から試験終了時までには試験終了時の成長後へい死率及び異常貝率は過去1番目に低く、これらは、流向流速計及び加速度計の結果から比較的育成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噛み合わせやぶつかり合いが起りにくい状況であったことが要因と考えられた。また、全重量及び軟体部重量は過去3番目に小さく、試験終了時の入れ枚数が1段当たり平均32.7個体と多めに収容されていたことが要因として考えられた。

## 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10日早く、稚貝分散は3日遅かった。協力漁業者の変更に伴い、養殖施設の基本構造及び養殖施設への設置物が前年度より変わっており、特に漁場水深は前年度の32mから36mへ、稚貝採取時の篩の目合は2分から1.5分へ、パールネットの目合は2分から1.5分へ変わった。

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
2021.7.30	2021.9.29	2022.3.14

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

2021年度の測定結果を表9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12～15に示した。稚貝採取時の育成状況は、へい死率が0.4%と2007～20年度平均(以下「小湊平均値」)の1.7%より低かった。また、殻長が9.5mmと小湊平均値9.2mmとほぼ同じであった。稚

貝分散時は、成長後へい死率が 1.1%と小湊平均値 4.0%より低く、異常貝は見られなかった。また、殻長は 22.7mm で小湊平均値 25.0mm よりやや小さかった。試験終了時は、成長後へい死率が 0.6%と小湊平均値 3.8%より低く、異常貝率が 6.7%と小湊平均値 8.6%より低かった。また、殻長は 59.2mm と小湊平均値 66.1mm よりやや小さく、全重量が 21.5g と小湊平均値 32.7g より小さく、軟体部重量が 9.3g と小湊平均値 14.4g 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)	異常貝(枚)	へい死率(%)	成長後へい	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
2021.7.30	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	250	1	-	0	0.4	-	0.0	9.5 ± 1.3	-	-
2021.9.29	稚貝分散	パールネット*1 (未分散)1段分	362	7	4	0	1.9	1.1	0.0	22.7 ± 3.1	-	-
2022.3.14	試験終了	パールネット*1 1連(8段)	166	14	1	6	7.8	0.6	6.7	59.2 ± 7.9	21.5 ± 7.1	9.3 ± 3.3

\*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

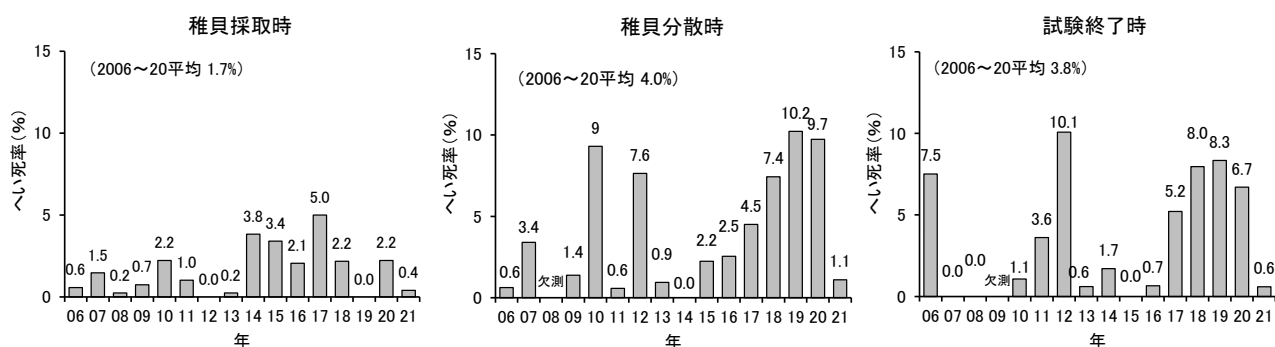


図 12. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値）（平内町小湊）

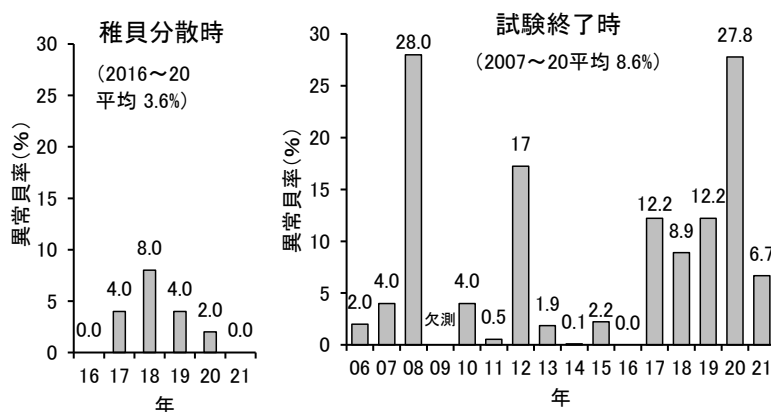


図 13. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移（2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加）（平内町小湊）



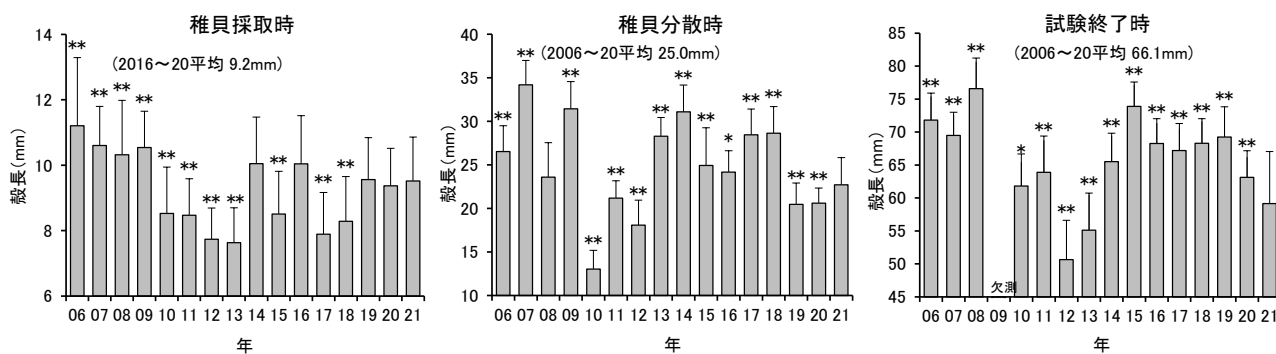


図 14. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移(バーは標準偏差、2021年と比較して\*\*は有意水準1%、\*は有意水準5%で有意差があることを示す。)(平内町小湊)

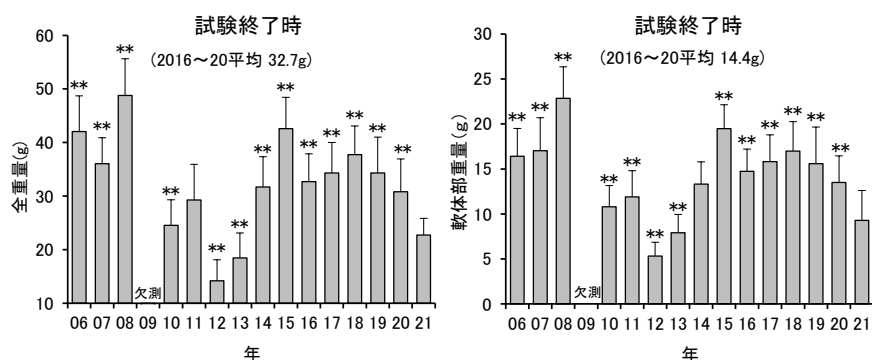


図 15. 年別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移(バーは標準偏差、2021年と比較して\*\*は有意水準1%で有意差があることを示す。)(平内町小湊)

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 4 個体で殻長に明瞭なピークはみられず、16~24 mm の範囲でばらつきがみられ、稚貝採取から 8mm 以上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 1 個体で殻長 43.5 mm であった。また、試験終了時の生貝の殻長は 64~66 mm にピークが見られ、40~76mm の範囲でばらつきがみられた。

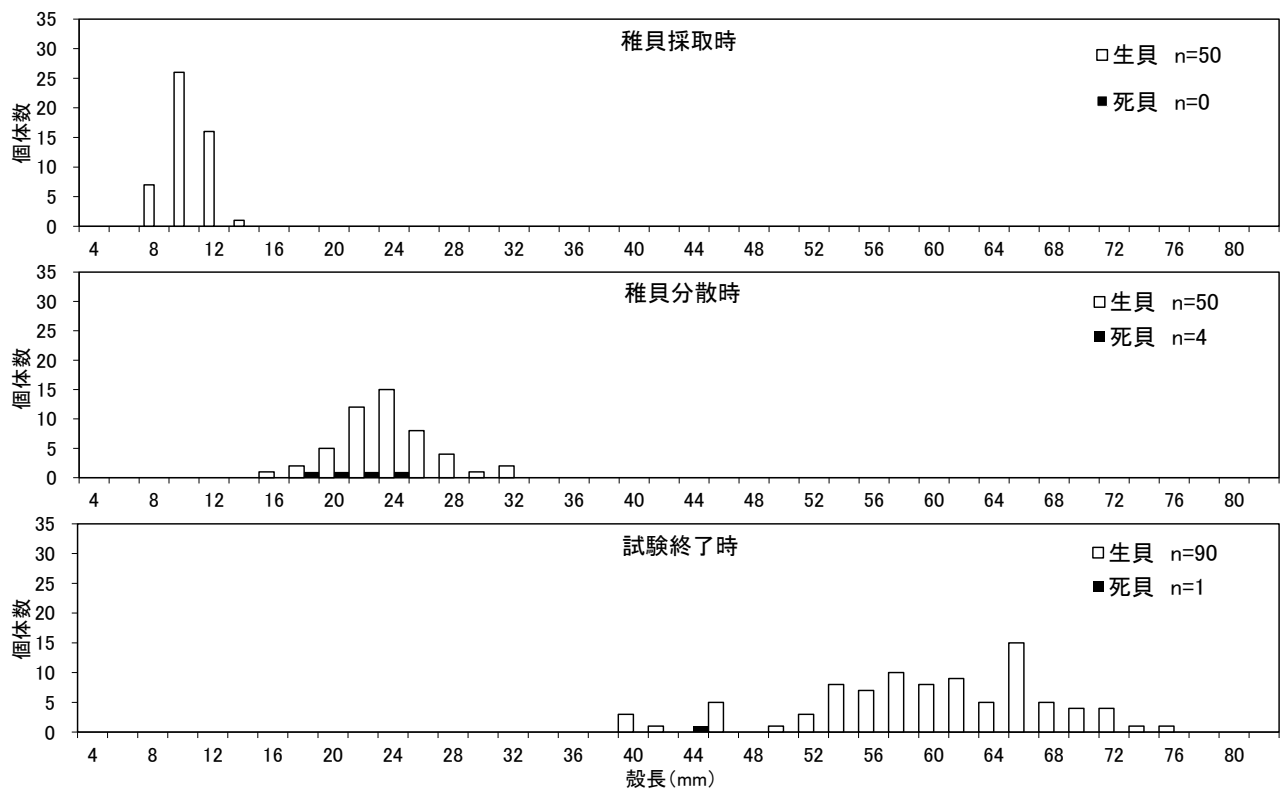


図 16. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成 (平内町小湊)

養殖施設における毎時水温の推移を図 17 に示した。2021 年度の毎時水温は、稚貝採取時が 18℃台で、2021 年 9 月 3 日に観測された 22.9℃がピークであり、稚貝の成長が鈍化する目安の 23℃を超える水温は観測されなかった。また、稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別比較を図 18 に示した。日平均水温では、稚貝分散までに 23℃を超える日が出現せず、2009、2014、2017、2018 と同様に最も少なかった。高水温期から稚貝分散までに日平均水温が 23℃以下だった日数は 63 日で、2006～20 年度平均の 27 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)

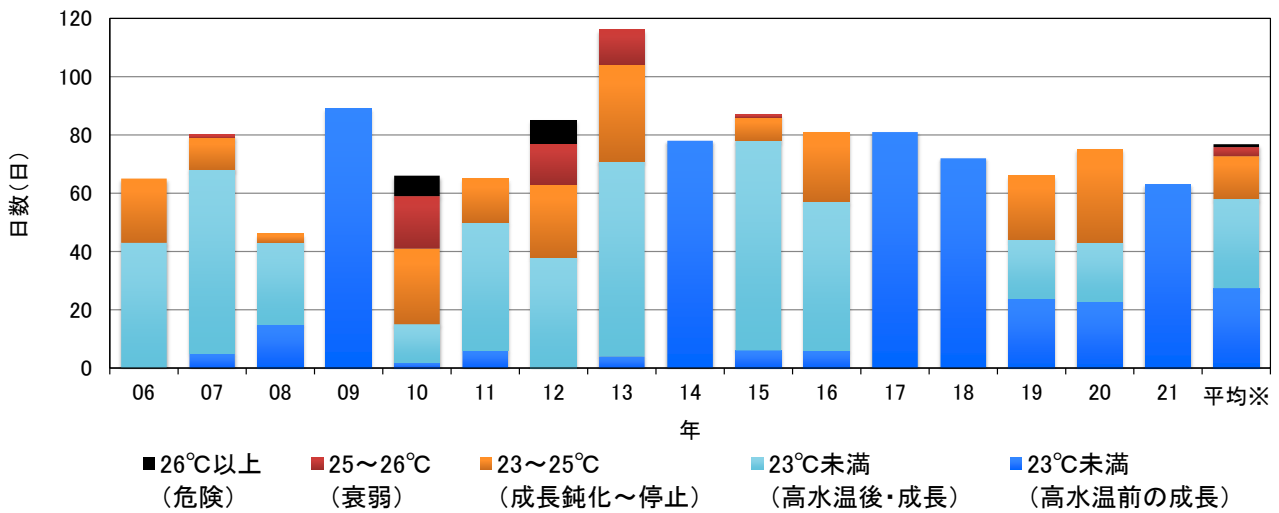


図 18. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移（※2006～20年平均）（平内町小湊）

養殖施設の幹網水深の変化を図 19 に示した。稚貝採取から稚貝分散までの幹網水深は 19～26m で推移し、8 月下旬から 9 月上旬に 1～3m の深度変化みられ、漁業者による幹網水深の変更は 8 月下旬～9 月下旬に水深を上げる操作が 3 回確認された。稚貝分散から試験終了までの幹網水深は 7～16m で推移し、10～1 月に数回、1m 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網水深の操作は、稚貝分散から試験終了までに 4 回確認された。

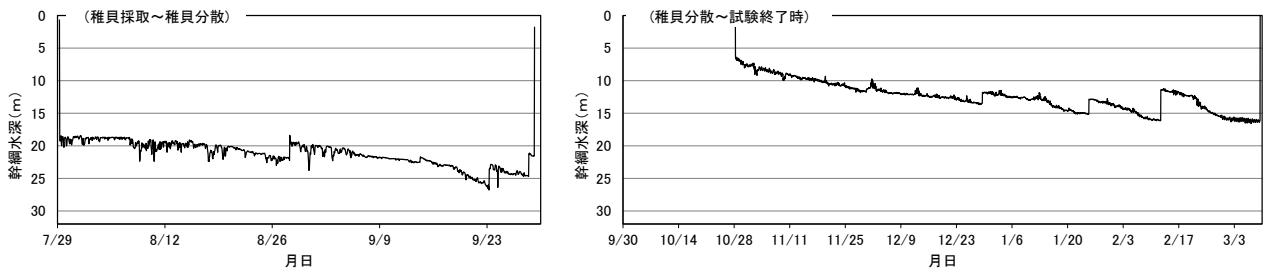


図 19. 養殖施設の幹網水深の変化（平内町小湊）

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分散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。稚貝分散から試験終了までの期間において、パールネットが 3 月上旬に  $-0.5\text{m/s}^2$  程度の小さな振動が確認されたが、それ以外は幹網及びパールネットともに概ね安定していた。

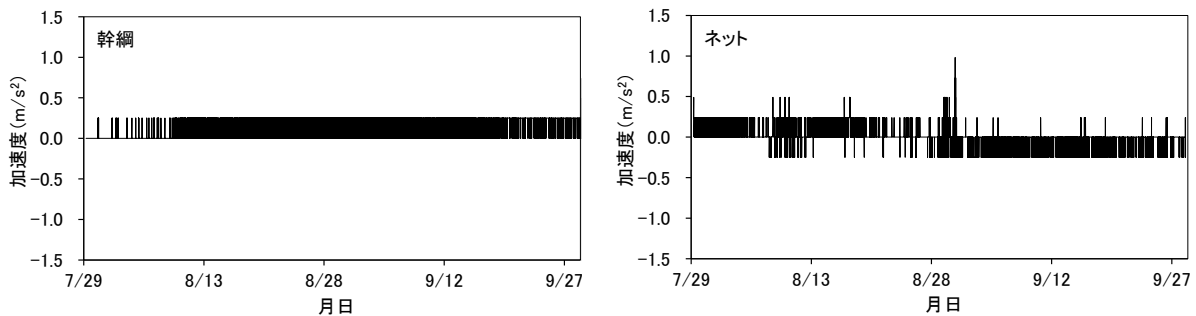


図 20-1. 養殖施設の加速度の推移（稚貝採取～稚貝分散）（平内町小湊）

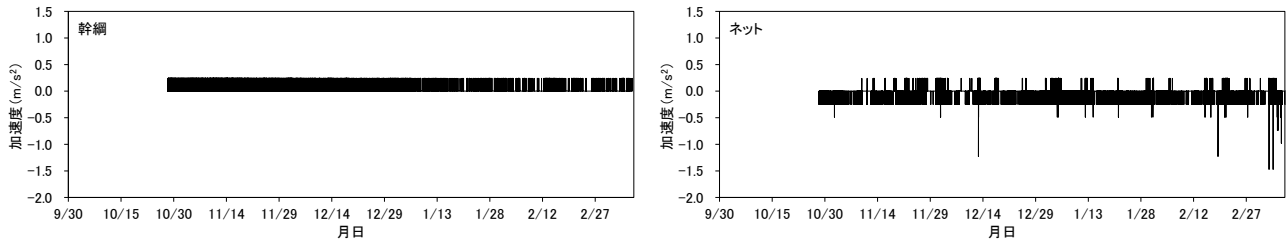


図 20-2. 養殖施設における加速度の推移 (稚貝分散～試験終了時) (平内町小湊)

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。7～9 月は比較的潮の流れが速く、8 月 10 日には期間中最高の 0.24m/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 176 回で小湊平均値 243 回、より少なく、0.2m/s 以上の出現数は 3 回で小湊平均値 37 回より少なく、0.3m/s 以上の出現数は 0 回で小湊平均値 6 回より少なかった。これらのことから 2021 年度は速い潮流が比較的少なかったと考えられる。

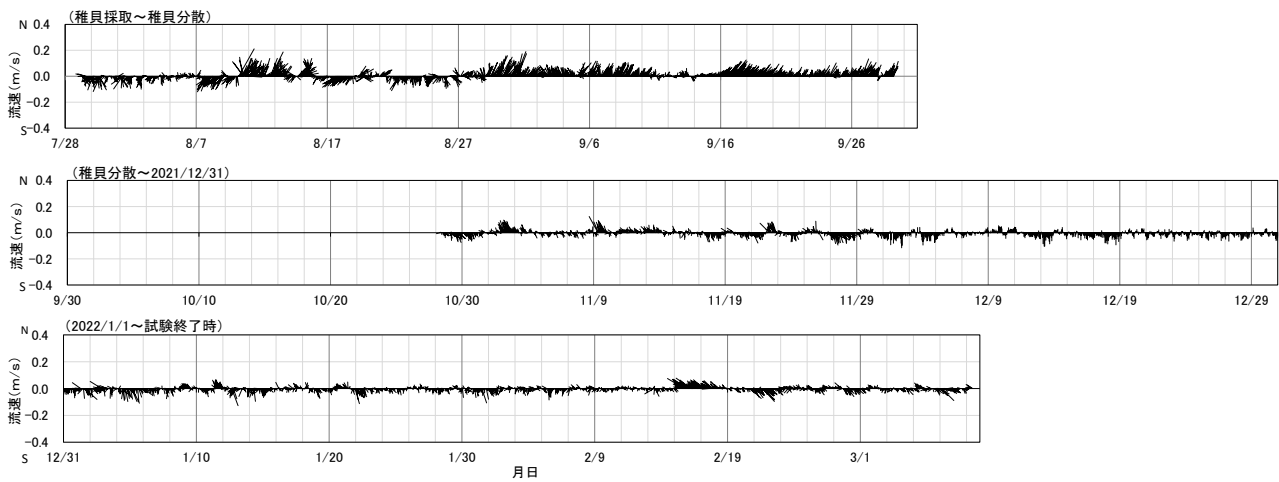


図 21. 養殖施設の流向流速の推移 (平内町小湊)

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	06-20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	0.30
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	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	37
流速0.1m/s以上(回)	140	211	184	176	337	161	114	303	174	222	440	481	174	155	442	176	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	1,805

\*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の死率及び異常貝率が低く、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りにくい状況だったことに加え、高水温期が継続した日数が少なかったことが要因と考えられた。一方、23℃未満の日数が多かったが、稚貝採取時の殻長が小さく、1 段あたりの入れ枚数が 369 枚と多めに収容されていたことから、稚貝分散時にはやや小さい殻長となったと考えられた。

また、稚貝分散から試験終了時までには試験終了時の成長後へい死率及び異常貝率が低く、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りにくい状況であったことが要因と考えられた。

### (3) まとめ

2021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る対策をとったことにより、稚貝採取から試験終了まで低いへい死率と低い異常貝率を達成できたと考えられる。一方で、貝の成長が遅い一因として稚貝の収容密度の高さが考えられたことから、採取した稚貝の大きさが小さい場合、漁業者が設定した枚数よりも過剰にパールネット内に稚貝が収容されることがあるため、スプーン等の計量器具に設定枚数を収容した見本を作成し、稚貝を適正に収容することが望ましい。

## 文 献

- 1) 秋田佳林(2021) 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. 2019年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 308-320.
- 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.