

遊佐貴志

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、2023 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、2023 年の稚貝採取時にホタテガイをサンプリングし、生貝および死貝数からへい死率を求め、生貝 100 個体の殻長を測定した。同年 10 月の稚貝分散時には中段 1 段すべてをサンプルとし、生貝および死貝各最大 50 個体の殻長を測定し、へい死率、異常貝率を求めた。さらに、2024 年 3 月の試験終了時にはパールネット 1 連すべての生貝の殻長、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。



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、平内町小湊においては漁業者の都合により、稚貝分散を行った 10 月 16 日にそれまでの観測機器の回収が行われたが、新たな観測機器の取り付けは 10 月 31 日に行われ、その間は欠測となった。

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

2008 年度以降の本事業における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 に示す。稚貝採取は 7 月 10 日に行われ、これまでと比較すると最も早く、次に早い 2020 年度の 7 月 20 日と比べても 10 日早かった。稚貝分散は 10 月 26 日に行われ、過去 5 番目に遅かった。

稚貝採取が早かったのは付着後の成長が速く、採苗可能なサイズに到達したのが早かったため(本号ホタテガイ増養殖安定化推進事業ホタテガイ天然採苗予報調査参照)である。蓬田村では選別時に目合 2 分台の篩が使われる(2008 年から 2022 年までの 15 年間に使われた篩の目合は 2 分 10 年、2.3 分 2 年、2.5 分 3 年)が、稚貝採取が早いにも関わらず、2023 年は稚貝採取時に目合 2.5 分の篩を使用しており、成長が非常に良かったことがここからもうかがえる。

表 1. 養殖作業の時期(蓬田村)

年度	稚貝採取	稚貝分散	試験終了
2008	8月1日	10月9日	3月16日
2009	7月31日	10月1日	3月23日
2010	8月2日	10月25日	3月7日
2011	8月9日	11月4日	3月28日
2012	8月23日	12月14日	3月27日
2013	8月4日	11月16日	3月19日
2014	9月7日	10月24日	4月23日
2015	8月3日	10月20日	3月28日
2016	7月29日	10月17日	3月28日
2017	8月22日	10月24日	3月24日
2018	8月24日	11月5日	3月28日
2019	8月2日	10月21日	3月25日
2020	7月20日	10月14日	3月9日
2021	7月30日	10月7日	3月25日
2022	8月8日	10月9日	3月23日
2023	7月10日	10月26日	3月21日

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	26m	10m	100m	120m	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	1個	3箇所	ABS製1尺3寸	12個	2分	10段	300連	100個体/段	鉛50匁または下段太杵
分散時	ABS製1尺3寸	1個	4箇所	ABS製1尺3寸	17個	3分	10段	400連	25個体/段	鉛50匁または下段太杵

稚貝分散が遅かったのは、海水温が非常に高く推移し、作業可能の目安となる水温 23℃を下回ったのが遅かったため（後述）である。

2023 年度の測定結果を表 4 に、2007 年度から 2023 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 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 1.1%と 2007～2022 年度平均（以下「蓬田平均値」）の 5.2%より低かった。また、殻長が 11.6mm と蓬田平均値 9.6mm よりかなり大きかった。稚貝分散時は、成長後へい死率が 38.2%と蓬田平均値 16.4%よりかなり高いが、異常貝は見られなかった。また、殻長は 22.5mm で蓬田平均値 23.1mm とほぼ同じであった。試験終了時は、成長後へい死率が 6.7%と蓬田平均値 10.6%より低く、異常貝率が 11.1%と蓬田平均値 10.5%と同程度であった。殻長は 51.2mm と蓬田平均値 60.9mm より小さく、全重量と軟体部重量はそれぞれ 15.3g、6.1g と蓬田平均値それぞれ 23.6g、9.9g よりかなり軽かった。

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
2023.7.10	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	186	2	-	1.1	-	0.0	11.6 ± 1.6	-	-
2023.10.26	稚貝分散	パールネット ^{*1} (未分散)1段分	94	76	58	44.7	38.2	0.0	22.5 ± 2.4	-	-
2024.3.21	試験終了	パールネット ^{*1} 1連(10段)	194	220	14	53.1	6.7	11.1	51.2 ± 7.3	15.3 ± 4.9	6.1 ± 2.0

*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

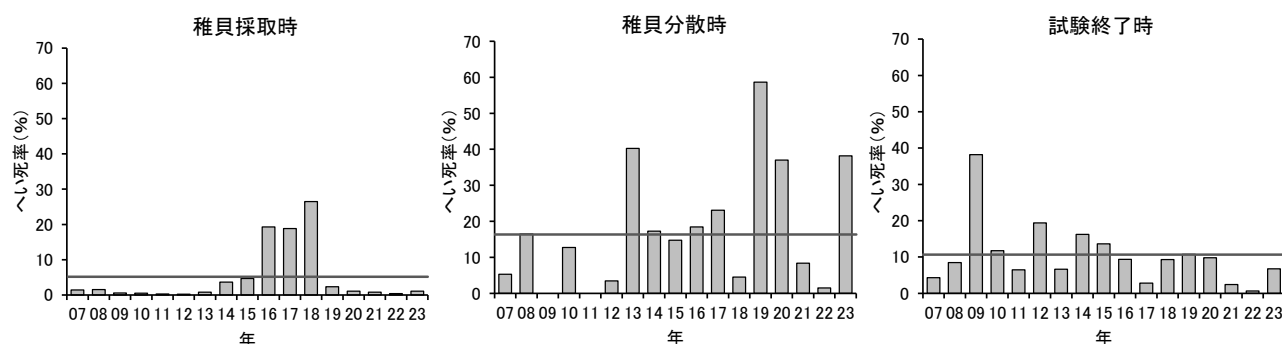


図 2. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（蓬田村）。2012 年の稚貝分散時のへい死率はサンプル数が少ないため参考値。稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値。横線は 2007 年から 2022 年までの平均値を示す。

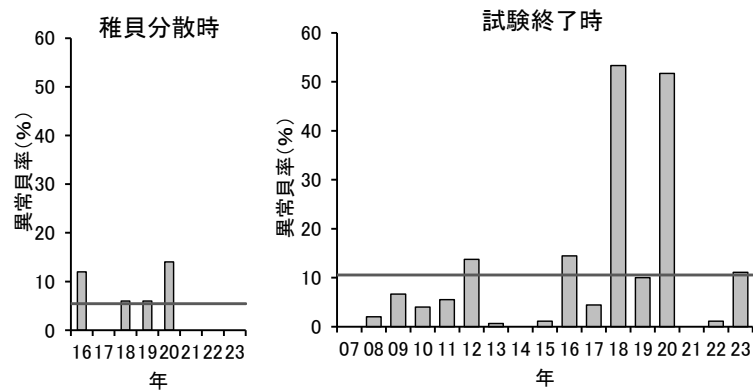


図 3. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移（蓬田村）。2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加。横線は稚貝分散時では 2016 年から 2022 年までの平均値、試験終了時では 2007 年から 2022 年までの平均値を示す。

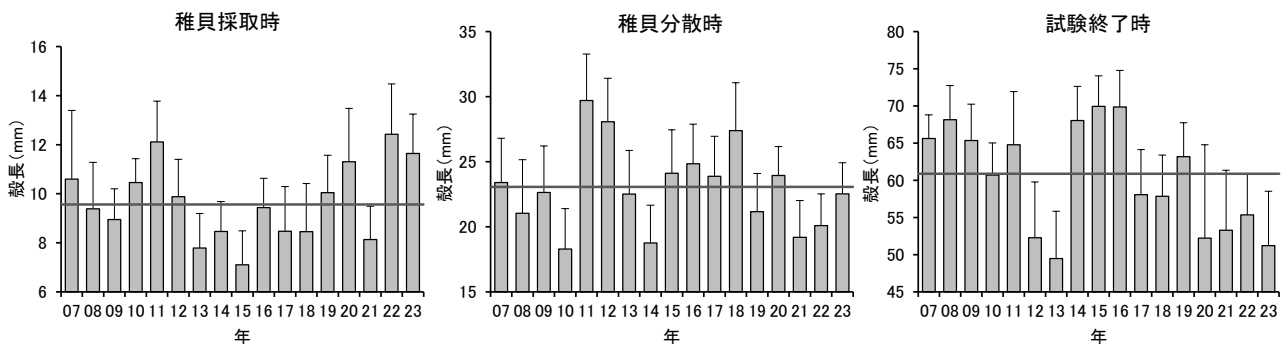


図 4. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移（蓬田村）。バーは標準偏差を示す。横線は 2007 年から 2022 年までの平均値を示す。

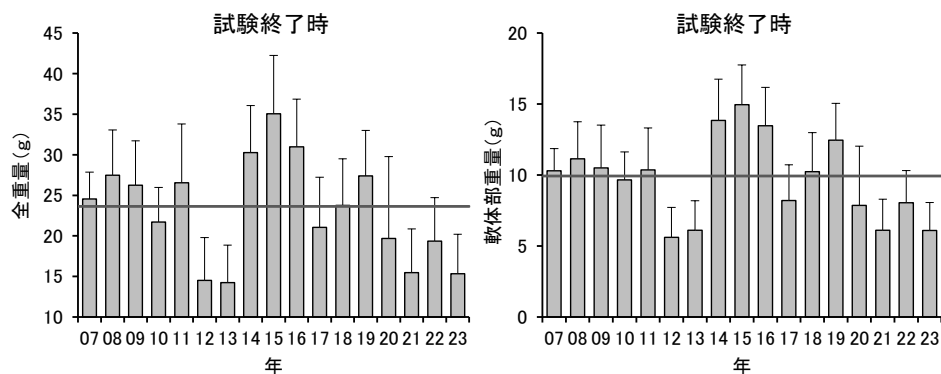


図 5. 年別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移（蓬田村）。バーは標準偏差を示す。横線は 2007 年から 2022 年までの平均値を示す。

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝および死貝の殻長組成を図 6 に示す。稚貝分散時に採集された死貝は 12～14mm と 22～24mm にピークを持つ 2 峰性の殻長組成であった。12～14mm にピークを持つものは稚貝採取時の生貝の殻長組成とあまり変わらず、稚貝採取直後にへい死したものと考えられ、22～24mm にピークを持つものは採取後に成長した後に死亡したものと考えられる。22～24mm にピークを持つ死貝の殻長は生貝の殻長と遜色なかった。このことから、成長後のへい死が起きたと考えられる夏季の高水温時の成長停滞期間から稚貝分散時まで、生貝はほとんど成長していないと考えられた。

試験終了時に採集された死貝は成長後に死亡したものも見られるが、その多くが稚貝分散時の殻長と変わらないものだった。2023 年の稚貝分散時の特徴として生貝と死貝の大きさが変わらず、貝が閉じているものについては生死の判断が困難であったため、分散作業の効率を優先し死貝が混入することを前提に作

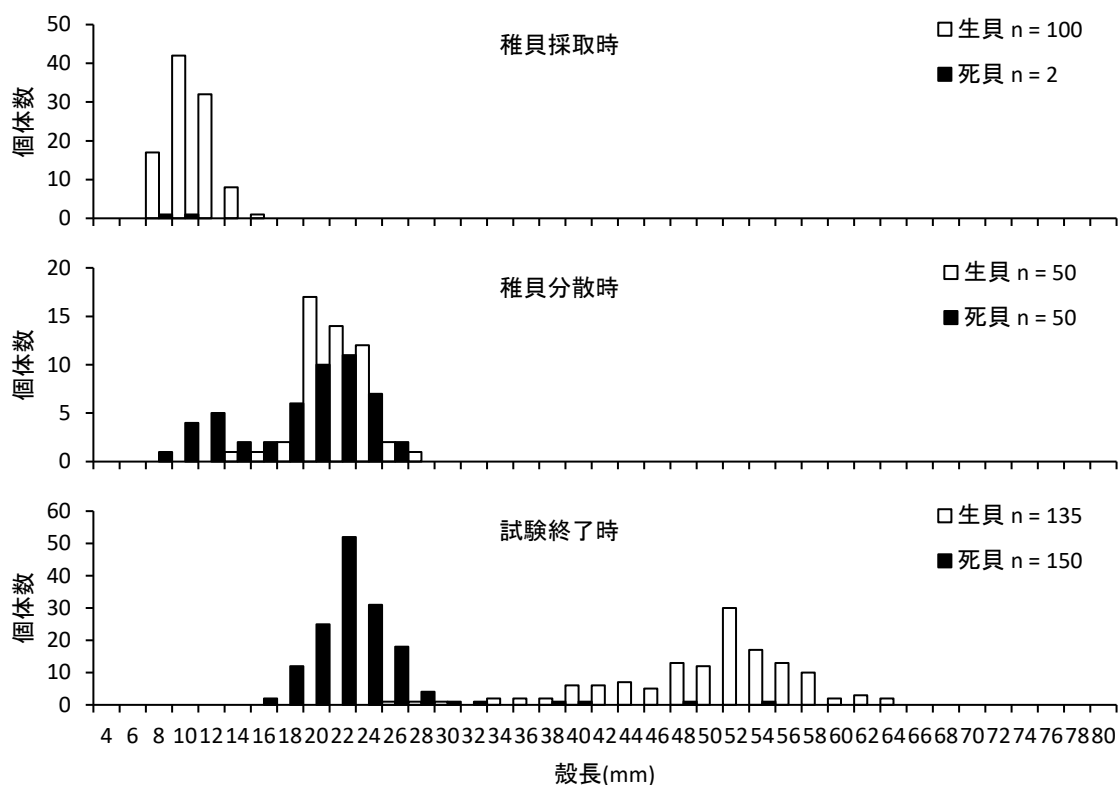


図 6. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成（蓬田村）

業が行われていたことがある。そのため、稚貝分散時の成長後死貝（へい死率 38.2%）の多くが、試験終了時のへい死に含まれてしまっており、稚貝分散時の選別作業で死貝が除去されていたければ、実際の稚貝分散直後のへい死率はそこまで高くなかったと考えられる。

養殖施設における毎時水温の推移を図 7 に示す。稚貝採取直後の水温は 20℃前後だったが、2023 年 8 月 11 日 7 時まで上昇し 25.1℃に達したが、8 月 18 日 0 時には 19.1℃まで低下した。その後は再び上昇に転じ、8 月 31 日 0 時に 27.4℃と調査期間中の最高水温を記録し、数時間のみ 21℃台まで下がるような変動をしながらも 9 月 27 日 15 時まで 25℃を超える水温が記録され、稚貝の成長が鈍化する目安である 23℃が最後に記録されたのは 10 月 6 日 10 時であった。10 月以降の水温は日変動が小さく低下傾向で、試験終了の直前である 2024 年 3 月 20 日 9 時に 6.0℃の最低水温が記録された。

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 8 に示す。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

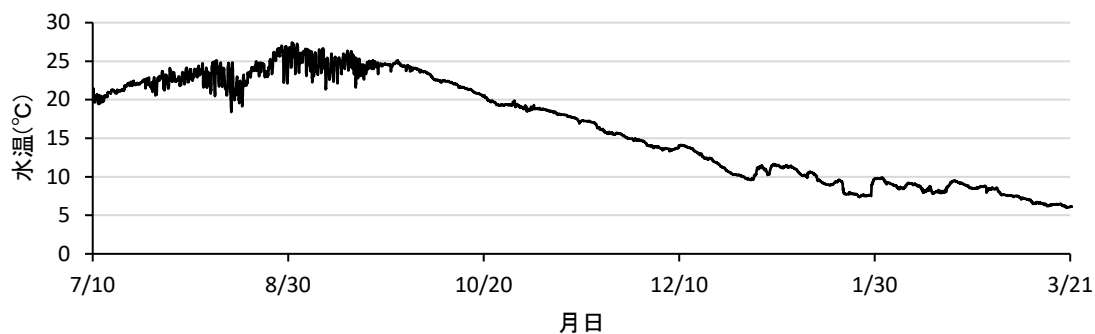


図 7. 養殖施設の毎時水温の推移（蓬田村）

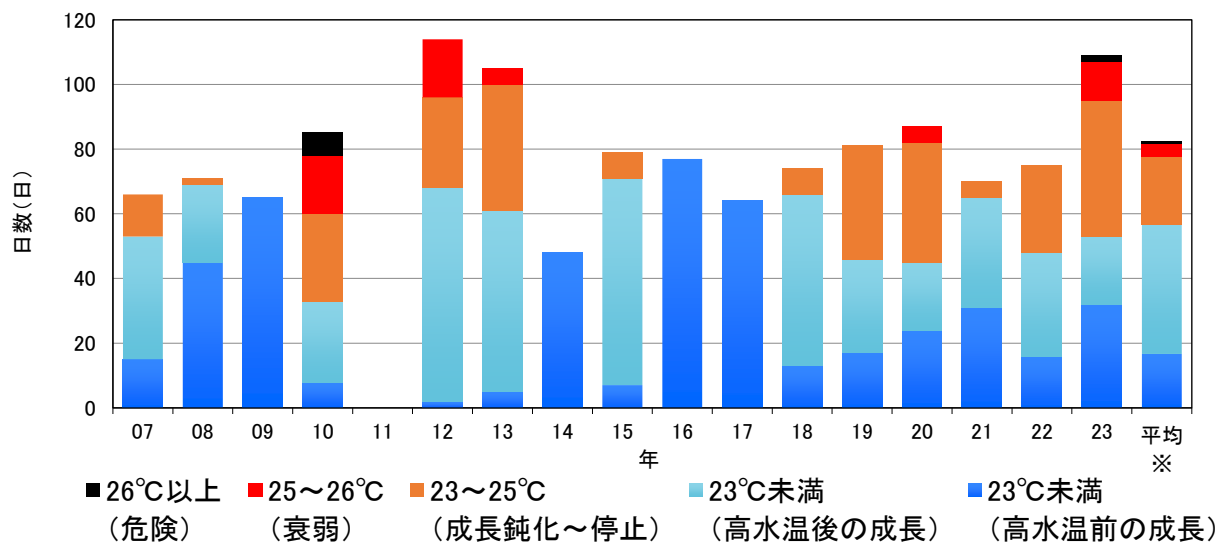


図 8. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移（蓬田村）。※平均は欠測の 2011 年および 23°C を超えた日がなかった 2009 年、2014 年、2016 年、2017 年を除く 2007～2022 年平均を示す。

た、稚貝の成長が鈍化する目安は 23°C であり、それを超える日平均水温は、7 月下旬～10 月上旬に観測された。日平均水温が 23°C を超えた日数は稚貝採取から稚貝分散までに 56 日で、2010 年の 52 日を超えて過去最多となり、欠測の 2011 年および 23°C を超えた日がなかった 2009 年、2014 年、2016 年、2017 年を除いた 2007～2022 年度平均（以下「過去平均」）の 26 日よりかなり多かった。そのうち稚貝の衰弱する 25～26°C の日数は 12 日で、2010 年と 2012 年に次ぐ過去 3 番目の多さで、過去平均の 4 日よりかなり多く、稚貝の生存における危険水準である 26°C 以上も 2010 年以来 2 回目の観測で 2 日あった。日平均水温が 23°C を超えたのち、23°C を下回った日数は稚貝分散までに 32 日で、過去平均の 40 日より少なかった。

これらのことから、2023 年の稚貝分散時のへい死率の高さは、夏季の高水温の度合いが 26°C を超える日もあるように強く、23°C 以上の期間も過去最長と長期化したために生じたと考えられる。さらに、へい死しなかった生貝においても高水温の長期化による疲弊の程度も強かったと考えられ、23°C を下回ってから稚貝分散までの期間も短かったため、生貝も稚貝分散までにほとんど成長できず、生貝と死貝に殻長差ができなかったと考えられる。

養殖施設の幹綱水深の変化を図 9 に示す。2023 年 7 月 10 日の計測機器取り付けから翌 11 日まで稚貝を採取したパールネットの垂下作業が行われており、その間、幹綱は水深約 7m に位置したが、パールネット垂下終了後に幹綱は水深約 12m に沈められていた。その後、7 月 25 日頃までは日変動はありながらも水深約 12m に幹綱が位置したが、7 月 25 日以降は稚貝の成長や付着物の増加に伴い垂下物全体の重量が増すことで幹綱が徐々に沈降し、8 月 9 日に幹綱水深は水深約 23m に達した。この間は数 m から最大 7m 程度の一時的な沈み込みが見られた。これ以降、10 月 4 日に幹綱を水深約 7m に引き上げる作業が行われるまで、幹綱水深は時折 2～3m の沈み込みが見られるが概ね約 23m に位置していた。10 月 4 日の幹綱水深の引き上げ作業後から稚貝分散までの幹綱水深は約 7m から 10m まで徐々に沈降した。

10 月 26 日の稚貝分散後、幹綱水深は約 12m に調整され、11 月 2 日には約 9m に引き上げられた。その後は 11 月 7 日から 8 日にかけて約 12m まで一時的に沈みこんだ以外は、概ね緩やかに沈降しており、次の引き揚げ作業が行われた 12 月 4 日には約 11m まで沈降していた。幹綱水深は 12 月 4 日には約 6m まで引き上げられ、時折数 m の一時的な沈み込みが見られながら、2024 年 1 月 26 日までに水深約 12m まで緩やかに沈降した。その後は一時的な沈み込みもほとんど見られず、3 月 15 日まで 11～12m が維持され、3 月 15 日以降、試験終了まで 1m に満たないが若干の沈降が再度あった。3 月 15 日 21 時と 3 月 17 日 20 時に一時的な大きな沈み込みが記録されているが、他の計測項目（流向流速、水温、加速度）に大きな変化

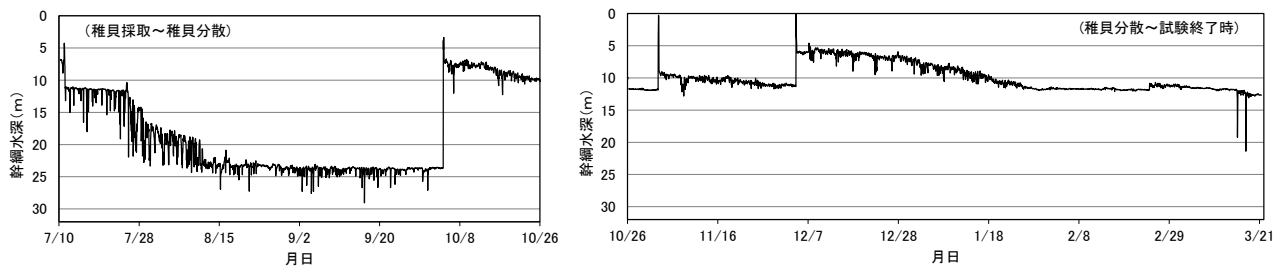


図 9. 養殖施設の幹綱水深の変化（蓬田村）

は記録されておらず、何らかのエラー値である可能性がある。

養殖施設における加速度の推移を図 10-1 及び 10-2 に示す。蓬田村の稚貝採取から稚貝分散までパールネットに取り付けたメモリー式加速度計は、故障によりデータを得られなかった。稚貝採取から稚貝分散及び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、概ね安定した状態であったと考えられた。ただし、深度計で記録された大きな水深変化や漁業者による幹綱水深の調整が行われた時刻にも大きな加速度は記録されておらず、本試験における 5 分間隔の計測では一時的な加速を十分に捉えられていない可能性がある。

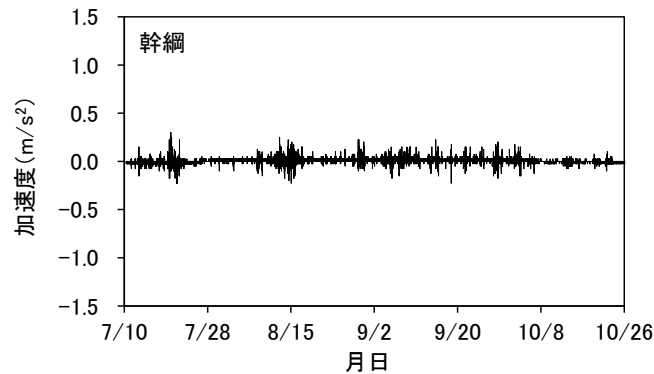


図 10-1. 養殖施設における加速度の推移（稚貝採取～稚貝分散）（蓬田村）

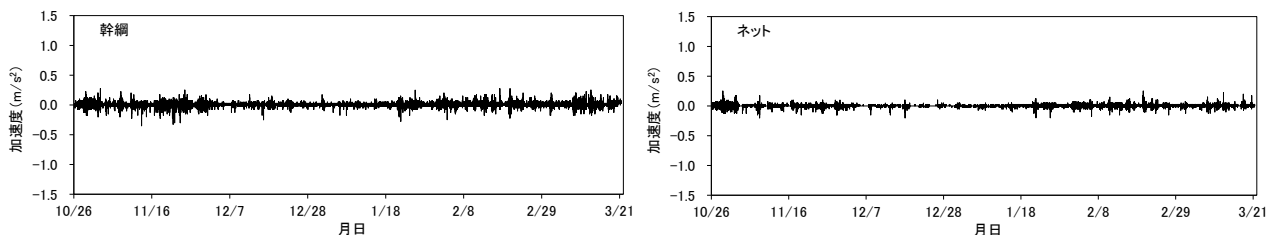


図 10-2. 養殖施設における加速度の推移（稚貝分散～試験終了時）（蓬田村）

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 に示す。7～10 月は比較的潮の流れが速く、特に 7 月中旬から 8 月中旬まで 0.2 m/s を超える南向きの流れが多数観測され、8 月 15 日には期間中最高のも 0.34 m/s の南向きの流れを観測した。10 月 9 日には 0.21 m/s の北北東への流れが観測された。11 月以降は試験終了まで 0.2 m/s を超える流れは観測されなかった。

稚貝採取から稚貝分散までの流速別出現数について過去と比較すると、 0.1 m/s 以上の出現数は 476 回で蓬田平均値 321 回より多く、 0.2 m/s 以上の出現数は 121 回で蓬田平均値 44 回よりかなり多く、 0.3 m/s 以上の出現数は 3 回で蓬田平均値 6 回より少なかった。

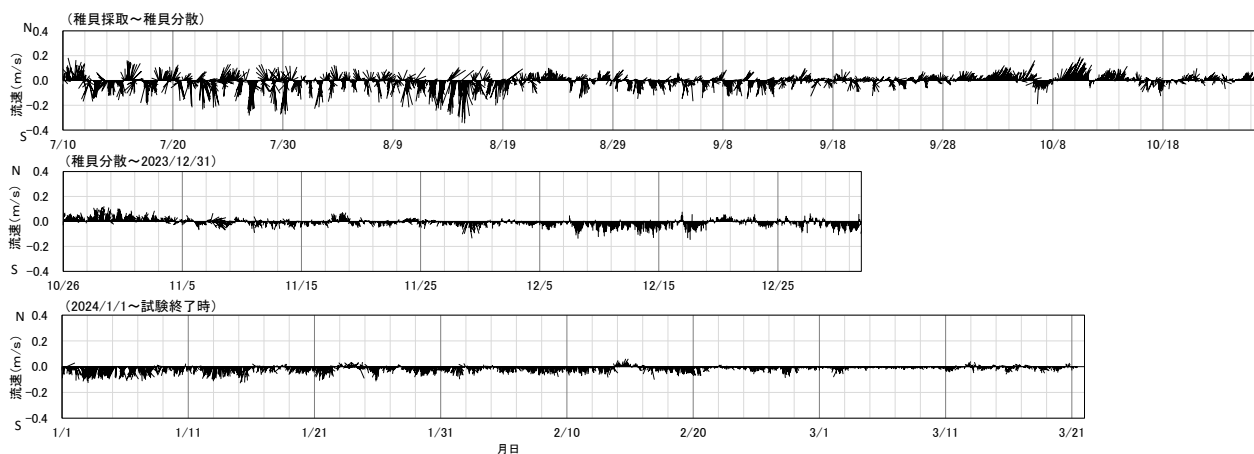


図 11. 養殖施設の流向流速の推移（蓬田村）

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	23	07-22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	0.35
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	3	6
流速0.2m/s以上(回)	60	37	39	10	-	6	16	1	114	43	35	67	6	66	42	124	121	44
流速0.1m/s以上(回)	338	271	433	187	-	150	361	104	367	427	220	296	196	546	319	593	476	321
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	2,597	1,877

*2009年7/31～8/4及び2011年は欠測

2023 年は稚貝分散時に異常貝は見られなかった。このことは流向流速計および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りにくい状況だったことが要因と考えられた。

また、試験終了時の成長後へい死率は低い、成長は悪かった。流向流速計および加速度計の結果から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りにくく、水温も 11 月はやや高いからはなはだ高いであったが、12 月以降は概ね平年並みからやや高めで推移していたことから、成育環境は安定していたと考えられた。へい死率の低さはこれにより説明されるが、成長の悪さは、少なくとも本試験で調査した冬季の環境要因からは説明できない。そのため、稚貝分散までの極端で長期化した高水温が水温低下後の成長にまで影響した可能性が考えられる。

表 6. 養殖作業の時期（平内町小湊）

年度	稚貝採取	稚貝分散	試験終了
2008	7月31日	9月14日	3月17日
2009	7月31日	10月28日	-
2010	8月9日	10月13日	3月11日
2011	8月20日	10月23日	3月29日
2012	8月21日	11月13日	3月12日
2013	8月6日	11月29日	3月18日
2014	9月2日	11月18日	4月13日
2015	7月30日	10月24日	3月24日
2016	7月30日	10月18日	3月27日
2017	8月5日	10月24日	3月25日
2018	8月12日	10月22日	3月25日
2019	8月6日	10月10日	3月19日
2020	7月20日	10月2日	3月19日
2021	7月30日	9月29日	3月14日
2022	8月10日	10月29日	3月15日
2023	7月21日	10月16日	3月22日

2. 平内町小湊

2008 年度以降の本事業における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 に示す。稚貝採取は 7 月 21 日に行われ、過去 2 番目に早かったが、稚貝分散は 10 月 16 日に行われ、過去 6 番目ということで特段早い、遅いということではなかった。加えて、平内町小湊で 2008 年から 2022 年までの過去 15 年間で選別時に使用された篩の目合は 1.5～2.2 分であったが、2023 年に使用された篩の目合は 2.5 分と大きく、ホタテガイ増養殖安定化推進事業ホタテガイ天然採苗予報調査の結果と合わせ、採苗までの稚貝の成長は速かったものと考えられる。

2023 年度の測定結果を表 9 に、2006 年度から 2023 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を

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	
33m	18m	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	5箇所	ABS製1尺3寸	30個	1.5分	8段	600連	80個体/段	鉛50匁	篩の目合2.5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

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
2023.8.1	稚貝採取	選別後の 稚貝を適宜	100	7	-	6.5	-	0.0	11.0 ± 1.9	-	-
2023.10.16	稚貝分散	パールネット ^{*1} (未分散)1段分	77	33	30	30.0	28.0	0.0	18.6 ± 2.6	-	-
2024.3.22	試験終了	パールネット ^{*1} 1連(8段)	80	80	1	50.0	1.2	2.5	60.0 ± 7.5	23.6 ± 7.7	10.2 ± 3.4

*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

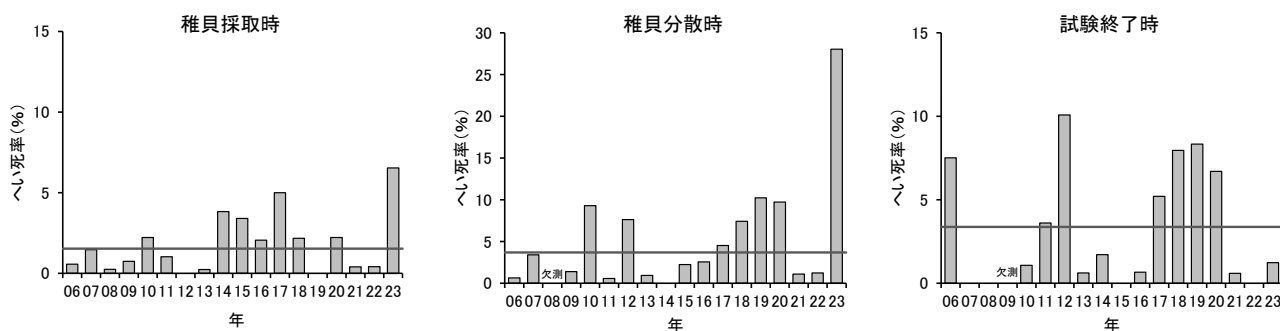


図 12. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（平内町小湊）。稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値。横線は 2006 年から 2022 年までの平均値を示す。

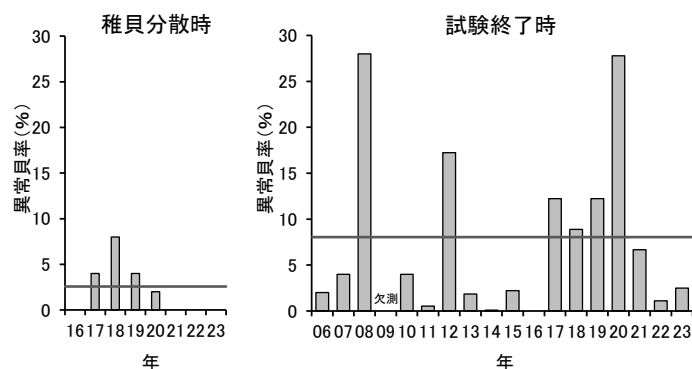


図 13. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移（平内町小湊）。2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加。横線は稚貝分散時には 2016 年から 2022 年までの平均値、試験終了時には 2007 年から 2022 年までの平均値を示す。

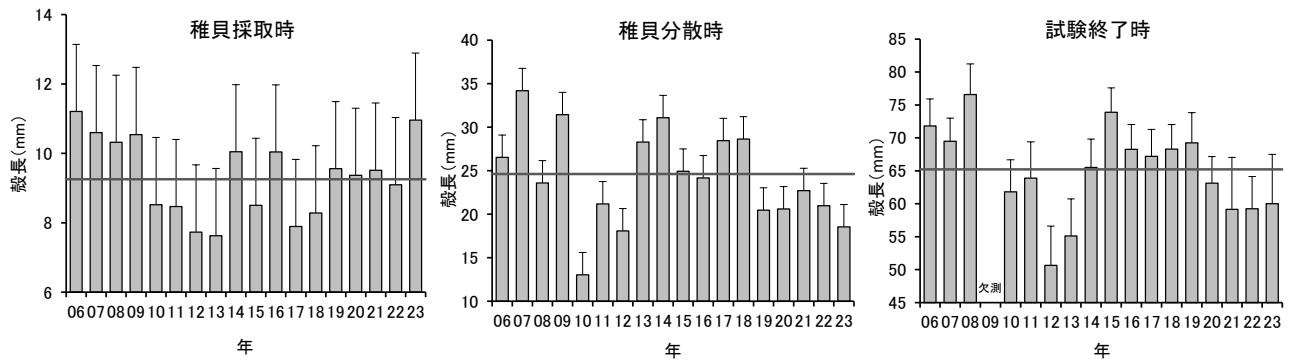


図 14. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移（平内町小湊）。バーは標準偏差を示す。横線は 2006 年から 2022 年までの平均値を示す。

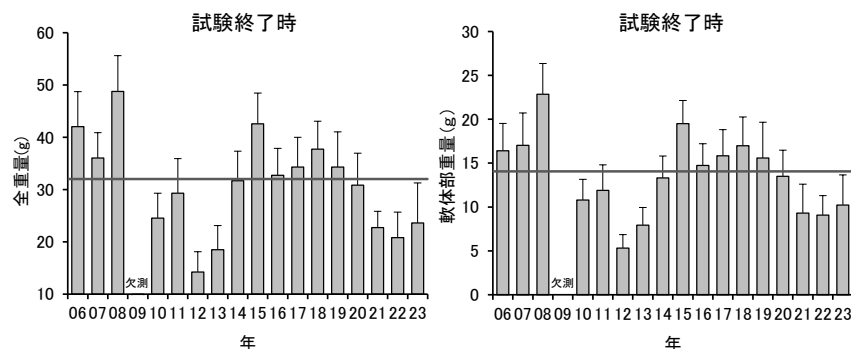


図 15. 年別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移（平内町小湊）。バーは標準偏差を示す。横線は 2006 年から 2022 年までの平均値を示す。

図 12～15 に示す。

稚貝採取時の育成状況は、へい死率が 6.5%と 2006～2022 年度平均(以下「小湊平均値」)の 1.5%よりかなり高く、過去最高であった。また、殻長が 11.0mm と小湊平均値 9.3mm より大きく、過去 2 番目の大きさであった。稚貝分散時は、成長後へい死率が 28.0%と小湊平均値 3.7%よりかなり高く、過去最高であったが、異常貝は見られなかった。また、殻長は 18.6mm で小湊平均値 24.6mm よりかなり小さかった。試験終了時の成長後のへい死率は 1.2%と小湊平均値 3.4%より低く、異常貝率も 2.5%と小湊平均値 8.1%より低かった。また、殻長は 60.0mm と小湊平均値 65.2mm とほぼ同じだったが、全重量と軟体部重量はそれぞれ 23.6g、10.2g と小湊平均値それぞれ 32.0g、14.1g よりかなり軽かった。

これらのことから、2023 年度の小湊では、稚貝採取までは成長が速かったが、稚貝分散時にはへい死率が高く、生残した個体も稚貝採取時まで良好だった成長のアドバンテージが無くなり、むしろ平年と比べて小さくなるほど成長が悪く、さらに、稚貝分散後もへい死はしないものの、成長は非常に悪い状態であったと言える。

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝および死貝の殻長組成を図 16 に示す。稚貝分散時に採集された死貝の多くは、稚貝採取時の生貝の殻長より大きく、成長後にへい死したと考えられ、稚貝分散時の死貝と生貝の殻長はほぼ同じであり、成長後のへい死が起きたと考えられる夏季の高水温時の成長停滞期間から稚貝分散時まで、生貝はほとんど成長していないと考えられた。

試験終了時に採集された死貝のうち成長後に死亡したものは 1 個体のみで、残りはすべて稚貝分散時の殻長と変わらないものだった。2023 年の稚貝分散時の特徴として生貝と死貝の大きさが変わらず、貝が閉じているものについては生死の判断が困難であったため、分散作業の効率を優先し死貝が混入することを前提に作業が行われていたことがある。そのため、稚貝分散時の成長後死貝(へい死率 28.0%)の多くが、

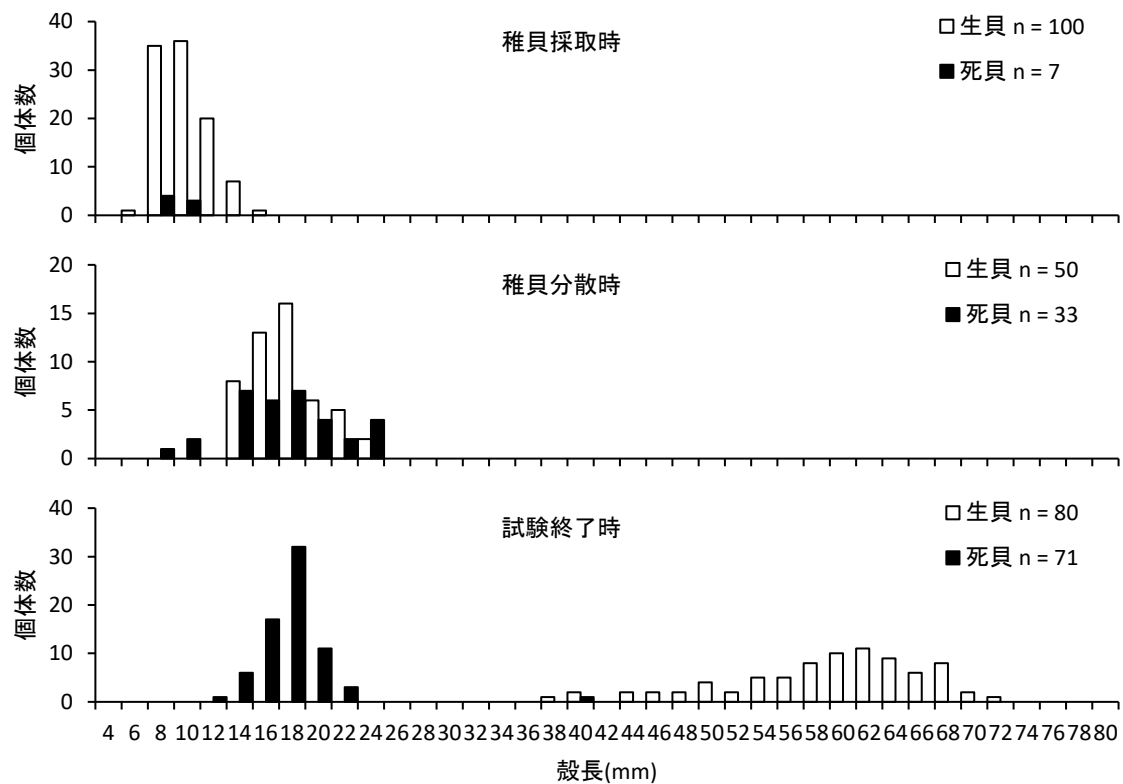


図 16. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成（平内町小湊）

試験終了時のへい死に含まれてしまっており、稚貝分散時の選別作業で死貝が除去されていれば、実際の稚貝分散直後のへい死率はそこまで高くなかったと考えられる。

養殖施設における毎時水温の推移を図 17 に示す。2023 年度の水温は、2023 年 7 月 21 日 6 時の観測開始時は 20℃台であったが、7 月 31 日には 24.6℃と上昇した。8 月初旬は 22～23℃台で変動したが、8 月 8 日からは低下し、8 月 15 日 8 時には 19.5℃まで低下した。その後は再び上昇に転じ、9 月 3 日 13 時に観測期間中最高となる 26.6℃が記録された。翌 9 月 4 日には 24℃台まで低下したが、これは後述の深度計および漁業者からの聞き取りの結果、隣接の養殖施設との絡まりにより、対象施設が沈降したための急な変化と考えられる。その後は 21～25℃台で変動しつつも若干の上昇傾向で推移し、10 月 2 日に 24.4℃を記録して以降、低下傾向に転じた。稚貝の成長が鈍化する目安である 23℃が最後に記録されたのは 10 月 6 日 3 時であった。10 月以降は 1 日の間の変動は小さく、水温は低下し、試験終了の直前である 2024 年 3 月 21 日 7 時に 4.6℃の最低水温が記録された。

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 18 に示す。稚貝の成長が鈍化する目安の 23℃



図 17. 養殖施設の毎時水温の推移（平内町小湊）

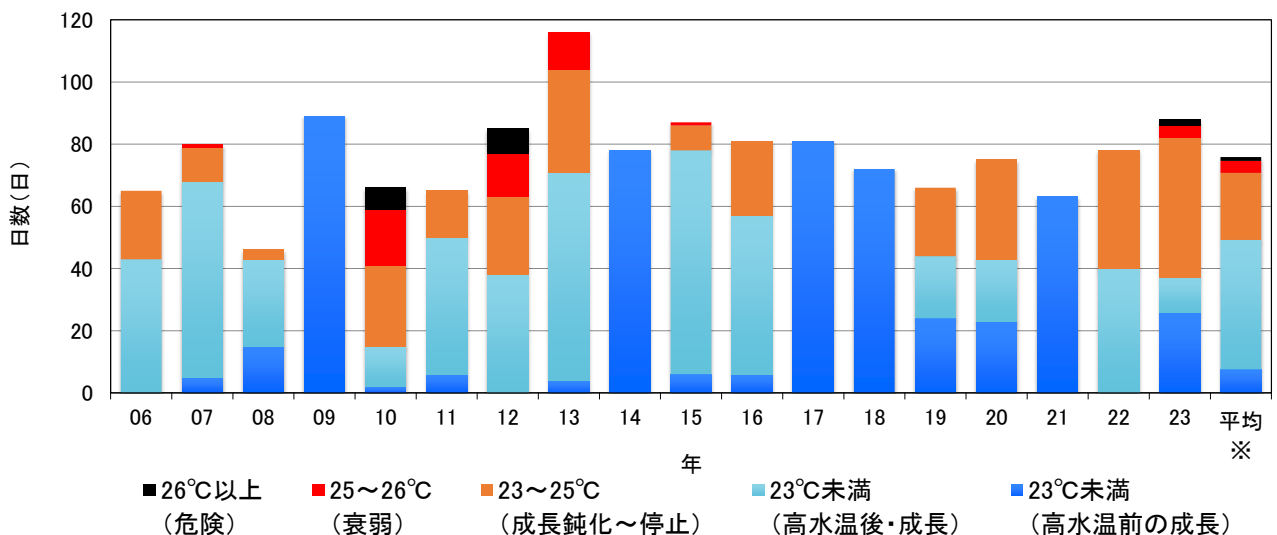


図 18. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移（平内町小湊）。 ※平均は 23℃を超えた日がなかった 2009 年、2014 年、2017 年、2018 年、2021 年を除いた 2006 年から 2022 年の平均を示す。

を超える日平均水温は、8 月初旬～10 月初旬に観測された。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 51 日で、23℃を超えた日数がなかった 2009 年、2014 年、2017 年、2018 年、2021 年を除いた 2006～22 年度平均（以下「過去平均」）の 27 日よりかなり多く、2010 年と並んで最多であった。そのうち稚貝の衰弱する 25～26℃の日数は 4 日で、異常高水温年とされる 2010 年、2012 年、2013 年に次ぐ日数であった。稚貝の生存における危険水準である 26℃以上も 2010 年と 2012 年以来 3 回目の観測で 2 日あった。日平均水温が 23℃を超えたのち、23℃を下回った日数は稚貝分散までに 11 日で、過去平均の 42 日よりかなり少なかった。

これらのことから、2023 年の稚貝分散時のへい死率の高さは、夏季の高水温の度合いが 26℃を超える日もあるように強く、23℃以上の期間も過去最長と長期化したために生じたと考えられる。さらに、へい死しなかった生貝においても高水温の長期化による疲弊の程度も強かったと考えられ、23℃を下回ってから稚貝分散までの期間も短かったため、生貝も稚貝分散までにほとんど成長できず、生貝と死貝に殻長差ができなかったと考えられる。

養殖施設の幹綱水深の変化を図 19 に示す。2 月 1 日 13 時から 2 月 2 日 20 時まで、3 月 7 日 9 時から 3 月 9 日 13 時まで、3 月 9 日 16 時から 3 月 11 日 1 時までの期間は観測機器の不調により欠測となった。

稚貝採取後に水深 18m に沈められた幹綱は、稚貝の成長や付着物の増加により垂下物全体の重量が増すことで徐々に沈み込んでゆき、9 月 3 日には水深 22m に達した。9 月 3～4 日にかけて水深 26m へ急激な沈降が観測された。漁業者から聞き取りを行ったところ幹綱水深の変更等の作業は行っておらず、後の作業時に当該養殖施設が隣接する養殖施設と一部絡まっていたので、その絡まりによって沈降したのかもしれないとのことだった。その後、幹綱は水深 25～26m に位置し、10 月 8 日に漁業者による幹綱水深の調整

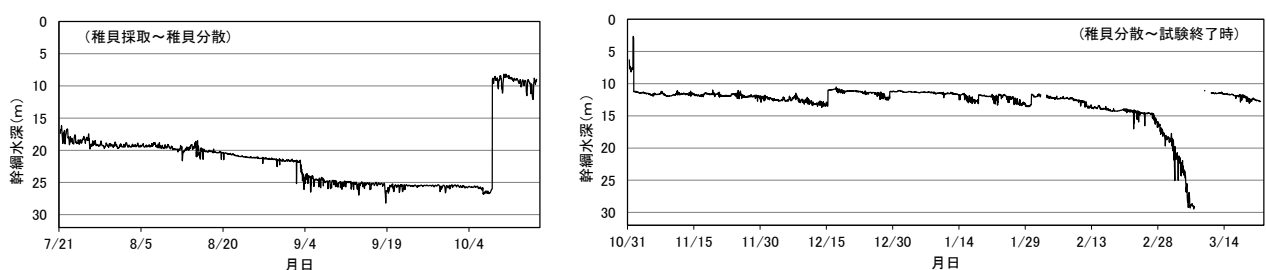


図 19. 養殖施設の幹綱水深の変化（平内町小湊）

が行われ、水深約 9m に引き上げられていた。

稚貝分散から試験終了までの幹綱水深は概ね 11～13m 台で推移し、垂下物の重量増加に伴い幹綱が 13m 台に沈降するたびに 11m 台への引き揚げ作業が 2024 年 1 月末までに 4 回実施されていた。2 月以降は細かな水深調整は行われず、2 月 26 日には幹綱水深は 15m に達した。その後急激な沈み込みが起きており、観測機器が停止した 3 月 7 日には 29m まで沈んだ。その後、漁業者により幹綱が 11m に引き上げられ、試験終了までに 12.8m まで徐々に沈降した。

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を図 20 に示す。稚貝採取から稚貝分散までのパールネットに取り付けた観測機器では 10 月 8 日に不具合が起き、それ以降は欠測となった。稚貝分散から試験終了までは、幹綱に取り付けた観測機器 2 機とネットに取り付けた 1 機のすべてが不具合で欠測となった。

稚貝採取から稚貝分散までの加速度は幹綱で最大 -0.15m/s^2 、パールネットで最大 -0.175m/s^2 と概ね安定した状態であったと考えられた。深度計で記録された大きな水深変化や漁業者による幹綱水深の調整が行われた時刻にも大きな加速度は記録されておらず、本試験における 5 分間隔の計測では一時的な加速を十分に捉えられていない可能性がある。

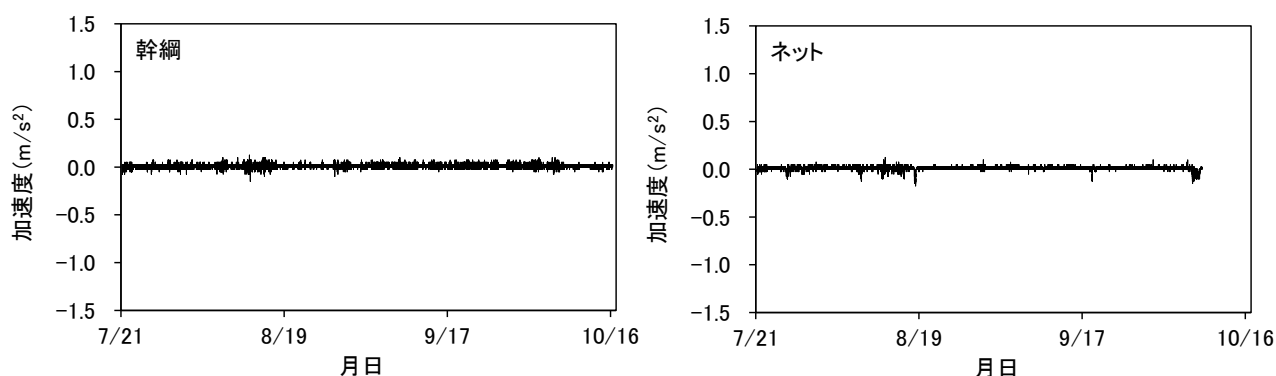


図 20. 養殖施設の加速度の推移(稚貝採取～稚貝分散) (平内町小湊)

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 に示す。2023 年度の稚貝採取から稚貝分散までの最高流速は 0.17m/s と 2006 年以降で最も遅く、 0.1m/s 以上の流速の観測回数も 38 回と過去最低であった。稚貝分散以降の最高流速も 0.19 m/s と遅く、2023 年度は試験期間を通じて流れの緩やかな年であった。

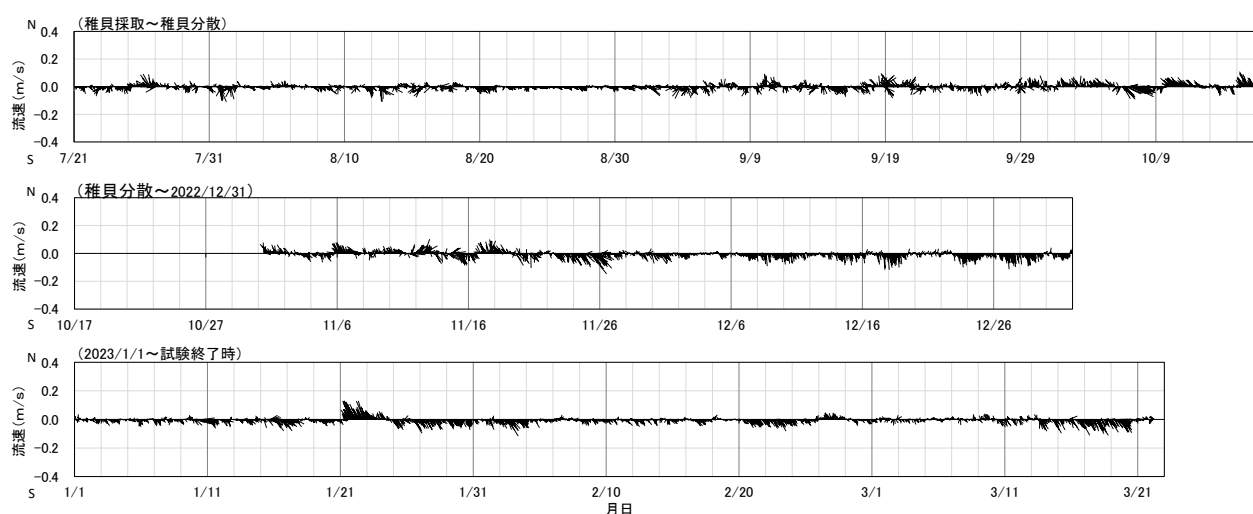


図 21. 養殖施設の流向流速の推移 (平内町小湊)

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	23	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	0.17	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	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	0	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	38	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	2,092	1,785

*2006年 9/11～14は欠測

稚貝採取から稚貝分散まではへい死率が高かったが、異常貝は見られなかった。異常貝が見られなかったことは、流向流速計及び加速度計のデータから成育環境が安定しており、貝同士の噛み合わせやぶつかり合いが起こりにくい状況だったと考えられる。それにもかかわらず、へい死率が高かったのは、高水温が長期間継続したためと考えられる。

稚貝分散から試験終了時までの成長後へい死率と異常貝率が低かった要因として、流向流速計及び加速度計のデータから成育環境が安定しており、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りにくい状況であったことが考えられた。へい死率の低さはこれにより説明されるが、成長の悪さは、少なくとも本試験で調査した冬季の環境要因からは説明できない。そのため、稚貝分散までの極端で長期化した高水温が水温低下後の成長にまで影響した可能性が考えられる。

文 献

- 1) 佐藤慶之介(2023) 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. 2022年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 304-315.
- 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.