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

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

蓬田村、平内町小湊地先（図 1）において、2024 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、2024 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。稚貝分散時には蓬田村では中段 1 段を、平内町小湊では中段 3 段をサンプルとし、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。生貝と稚貝採取後に成長してからへい死した貝の殻長を比較し、夏季の高水温後の成長再開の程度の参考とした。さらに、2025 年 3 月の試験終了時にはパールネット 1 連を上段、中段、下段に分け、それぞれ最大 50 個体の生貝の殻長、全重量、軟体部重量とすべての死貝の殻長を破損により測定不能なものを除きすべて測定し、軟体部重量指数（軟体部重量/全重量×100）を算出した。加えて分散時と同様にへい死率、異常貝率を求めた。後述の表 3 および表 8 のとおり蓬田村と平内町小湊では使用したパールネットの段数が異なるため、蓬田村では上段を 1～3 段目、中段を 4～7 段目、下段を 8～10 段目とし、平内町小湊では上段を 1～3 段目、中段を 4～5 段目、下段を 6～8 段目とした。終了時のデータについては、上段、中段、下段での比較を行った。統計解析は、生貝と死貝での殻長の比較では t 検定を用い、試験終了時の段間での殻長の比較では一元配置の分散分析を用い、有意差があった場合には Tukey HSD 検定で多重比較を行った。全重量、軟体部重量、軟体部重量指数では Kruskal-Wallis 検定を用い、有意差があった場合には Dunn 検定に Bonferoni 補正を行った。へい死率、異常貝率ではカイ二乗検定を用いた。統計解析はすべてデータ解析環境 R（R4.5.1）で行った。



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、HOBO 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、観測機器の不調により蓬田村において稚貝採取から稚貝分散までの期間は流向流速および水温、水深、パールネットの加速度が、稚貝分散から試験終了まではパールネットの加速度が欠測となった。同様に、小湊では稚貝採取から稚貝分散までの期間の水深が欠測となった。

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 17 日に行われ、これまでと比較すると 2023 年の 7 月 10 日に次いで早かった。稚貝分散は 10 月 21 日に行われた。

稚貝採取が早かったのは、陸奥湾西湾で 6 月中旬から平年より高い水温で推移しており [2)]、2023 年の高水温時の経験から、高水温時の稚貝採取を避けるため、稚貝が採取可能な大きさになり次第速やかに採取作業が行われたためと考えられる。2023 年は成長が速く、稚貝採取時に例年より目合の大きな 2.5 分の篩を使用していた [1)]が、本年は例年どおり目合 2 分の篩を使っており、後述の稚貝採取時の殻長が平年より小さかったことからも高水温期を避けて稚貝採取が早められたことがうかがえる。

2024 年度の測定結果を表 4 に、2007 年度から 2024 年度までの全段合わせたへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量、軟体部重量指数を図 2～5 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 20.0%と 2007～2023 年度平均(以下「蓬田平均値」)の 4.9%よりかなり高かった。また、殻長が 8.7mm と蓬田平均値 9.7mm より小さかった。

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
2024	**7月17日**	**10月21日**	**3月24日**

稚貝分散時は、成長後へい死率が 58.3%と蓬田平均値 17.6%よりかなり高いが、異常貝は見られなかった。また、殻長は 19.7mm で蓬田平均値 23.0mm より小さかった。

試験終了時のへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量、軟体部重量指数を上段、中段、下段に分けて表 5 および図 6 に示す。各段のへい死率に差は見られず（$p = 0.187$)、全段合わせると 6.0%と蓬田平均値 10.4%より低かった。異常貝率でも各段に有意な差は見られず（$p = 0.068$)、全段で 5.1%と蓬田平均値 10.6%より小さかった。殻長、全重量、軟体部重量、軟体部重量指数のいずれにも有意な差は見られなかった（殻長：$p = 0.246$、全重量：$p = 0.356$、軟体部重量：$p = 0.263$、軟体部重量指数：$p = 0.113$)。

表 2. 養殖施設の基本情報（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	
40m	22m	12m	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	2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	22個	3分	10段	400連	25個体/段	鉛50匁	選別機の目合6分

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	軟体部重量指数 平均値±SD
2024.7.17	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	100	25	-	20.0	-	0.0	8.7 ± 1.8	-	-	-
2024.10.21	稚貝分散	パールネット*1(未分散)1段分	65	99	91	60.4	58.3	0.0	19.7 ± 2.8	-	-	-
2025.3.24	試験終了	パールネット*1 1連(10段)	157	622	10	79.8	6.0	14.0	47.5 ± 9.5	10.6 ± 5.4	4.5 ± 2.4	41.2 ± 5.2

*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

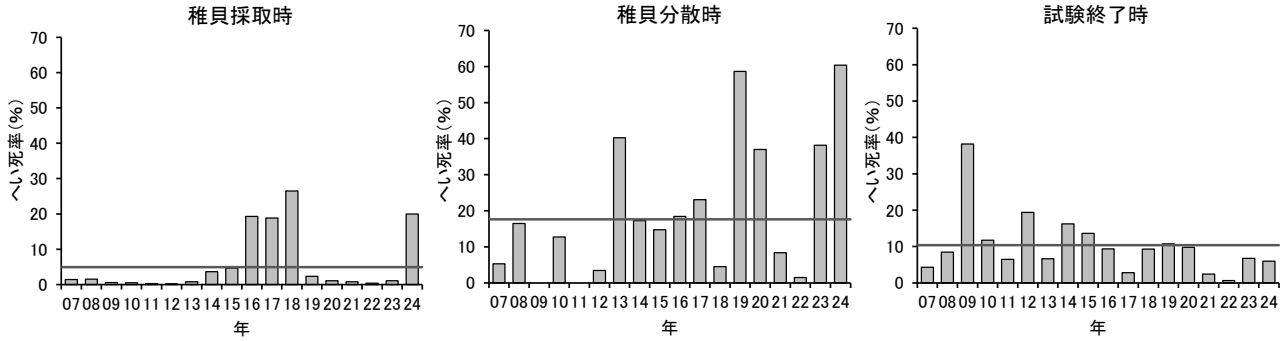


図 2. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（蓬田村）
2012 年の稚貝分散時のへい死率はサンプル数が少ないため参考値。稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値。横線は 2007 年から 2023 年までの平均値を示す。

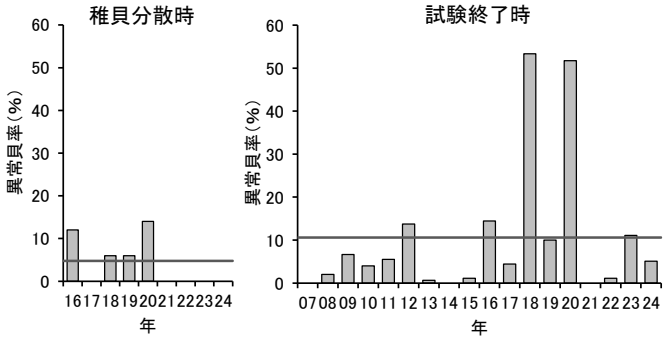


図 3. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移（蓬田村）
2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加。横線は稚貝分散時では 2016 年から 2023 年までの平均値、試験終了時では 2007 年から 2023 年までの平均値を示す。

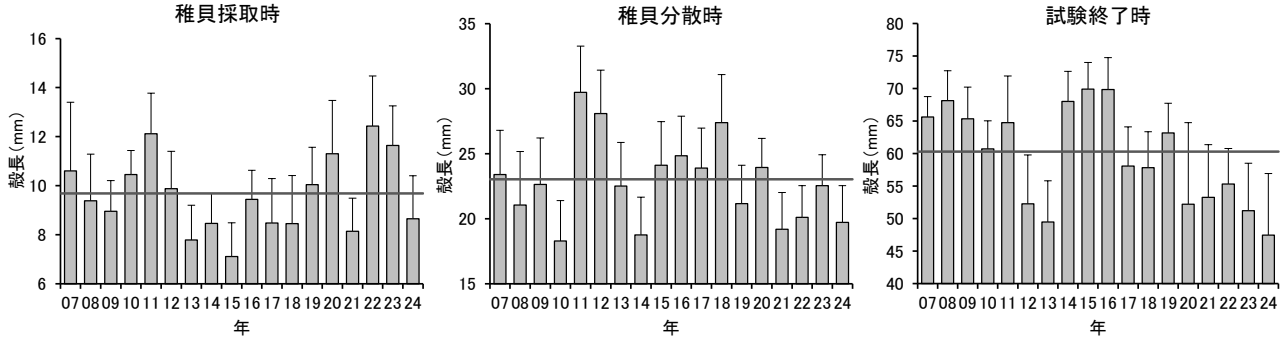


図 4. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移（蓬田村）
バーは標準偏差を示す。横線は 2007 年から 2023 年までの平均値を示す。

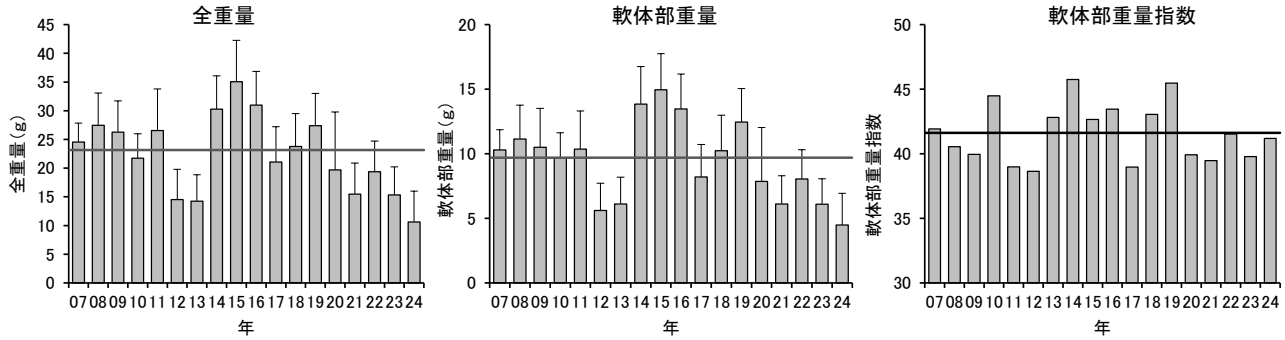


図 5. 年別の試験終了時のホタテガイの全重量、軟体部重量、軟体部重量指数の推移（蓬田村）
バーは標準偏差を示す。横線は 2007 年から 2023 年までの平均値を示す。

表 5. 試験終了時のホタテガイ測定結果の段による比較（蓬田村）

	生貝（枚）	死貝（枚）	成長後死貝*(枚)	へい死率(%)	成長後へい死率*(%)	異常貝（枚）	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	軟体部重量指数 平均値±SD
上段	46	196	4	81.0	8.0	5	10.9	45.6 ± 9.6	9.8 ± 5.1	4.0 ± 2.3	40.5 ± 4.0
中段	71	230	6	76.4	7.8	2	2.8	47.7 ± 9.2	10.8 ± 5.5	4.6 ± 2.5	41.7 ± 5.7
下段	40	196	0	83.1	0.0	0	0.0	49.0 ± 9.4	11.4 ± 5.4	4.8 ± 2.5	41.1 ± 5.2
合計	157	622	10	79.8	6.0	7	4.5	47.4 ± 9.5	10.6 ± 5.4	4.5 ± 2.4	41.2 ± 5.2

＊ 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

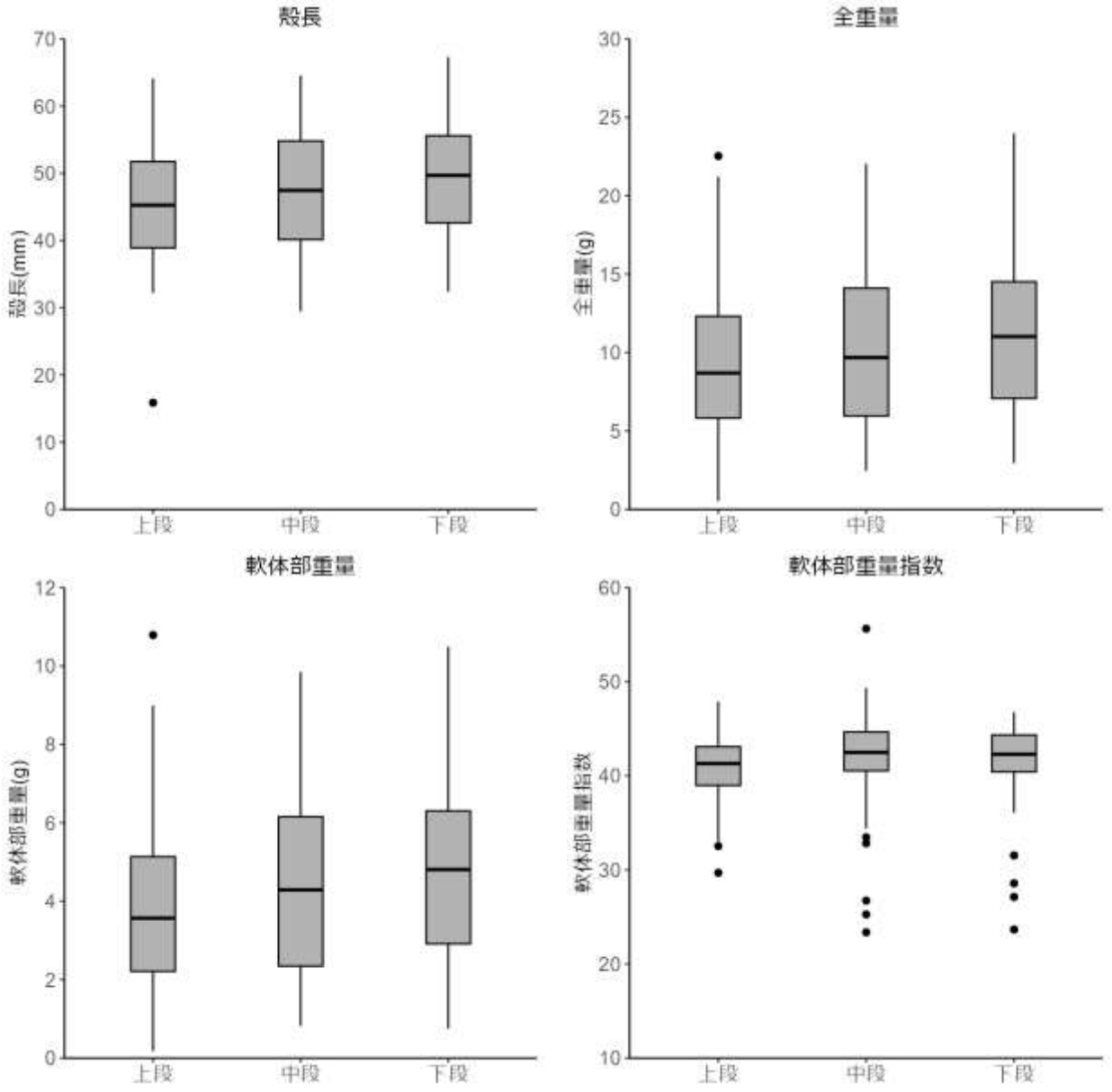


図 6. 段別の殻長、全重量、軟体部重量、軟体部重量指数（蓬田村）

中段のみ生貝が 71 個体と測定上限の 50 個体以上であったため、重みづけして算出した全段での平均殻長は 47.5mm と蓬田平均値 60.3mm より小さく、全重量は 10.6g と蓬田平均値 23.2g よりかなり小さく、軟体部重量は 4.5g と蓬田平均値 9.7g よりかなり小さく、成長が著しく悪かった。一方で、軟体部重量指数は 41.2 と蓬田平均値 41.6 とほぼ同じ値であり、大きさに比して痩せているということはなかった。

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 7 に示す。稚貝分散時に採集された死貝は殻長 10mm 以上であった。稚貝採取時の生貝の最大殻長が 12.8 ㎜であり、稚貝分散時の最小生貝

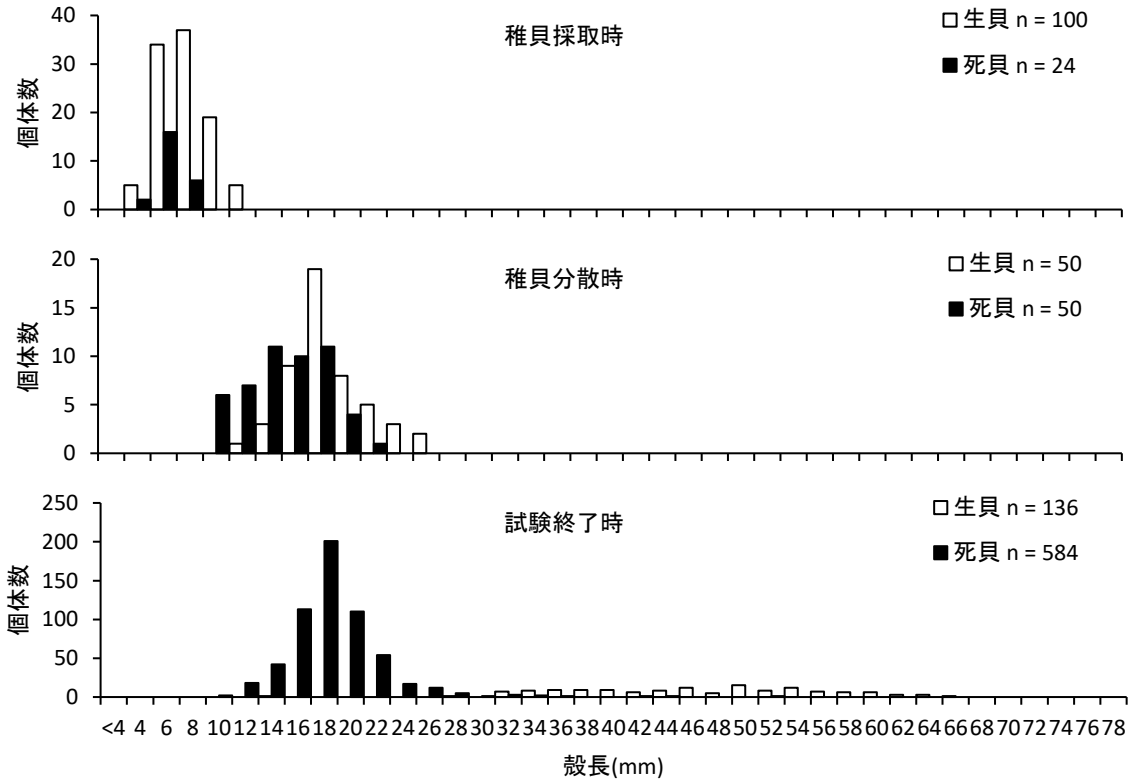


図 7. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成（蓬田村）

の殻長が 13.6 ㎜であったため、13 ㎜未満の 8 個体を稚貝採取直後にへい死したものとした。それ以外の 42 個体を成長後のへい死とし、その平均殻長は 17.1 ㎜で、生貝の平均殻長 19.7 ㎜よりやや小さかった（$p < 0.001$）。このことから、成長後のへい死時期から稚貝分散時までに、生貝はやや成長していると考えられた。

試験終了時に採集された死貝の殻長は 11.9～53.4 ㎜であった。稚貝分散時の生貝の最大殻長が 27.1 ㎜、試験終了時の生貝の最小殻長が 15.9 ㎜で、それに次ぐのは 29.5 ㎜であった。殻長 15.9 ㎜の個体は外れ値とみなし、殻長 30.0 ㎜以上を成長後のへい死とした。2024 年の稚貝分散時の特徴としてへい死率が高く、死貝が多いうえに、生貝と死貝の殻長組成に重複する部分が大きく、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、稚貝分散時にはへい死していた貝が多数、試験終了時の死貝に含まれてしまっており、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（7 月 17 日）から稚貝分散（10 月 21 日）までは、観測機器の不調により欠測となった。稚貝分散時の水温は 19.8℃で 20℃を下回ってから実施されていた。その後の水温は、12 月末まで低下傾向が続き、1 月は変動しながら 10℃前後で推移した。2 月になると再び緩やかな低下傾向となり、試験終了時期には約 7.5℃まで低下していた。

養殖施設の幹綱水深の変化を図 8 に示す。稚貝採取（7 月 17 日）から稚貝分散（10 月 21 日）までは、観測機器の不調により欠測となった。稚貝分散後、幹綱水深は約 9m に調整された。その後は概ね緩やかに沈降しており、次に調整作業が行われた 12 月 25 日には約 12.5m まで沈降していた。幹綱水深は 12 月 25 日には約 10m 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、水深 14m 台まで緩やかに沈降した。2025 年 2 月 18 日に再び水深約 12m に調整され、2 月中はやや大きな浮き沈みがありながら沈降したが、3 月以降は一時的な沈み込みを除きその変動幅は小さく沈降していた。3 月 22 日には水深 25m

以上に達する大きな沈み込みがあった。

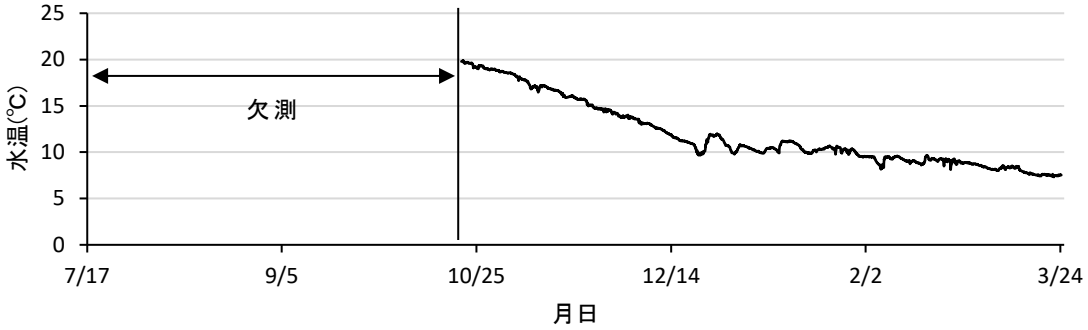


図 7. 養殖施設の毎時水温の推移（蓬田村）

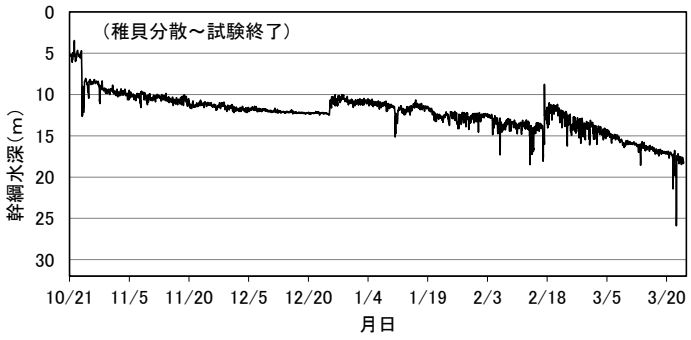


図 8. 養殖施設の幹綱水深の変化（蓬田村）

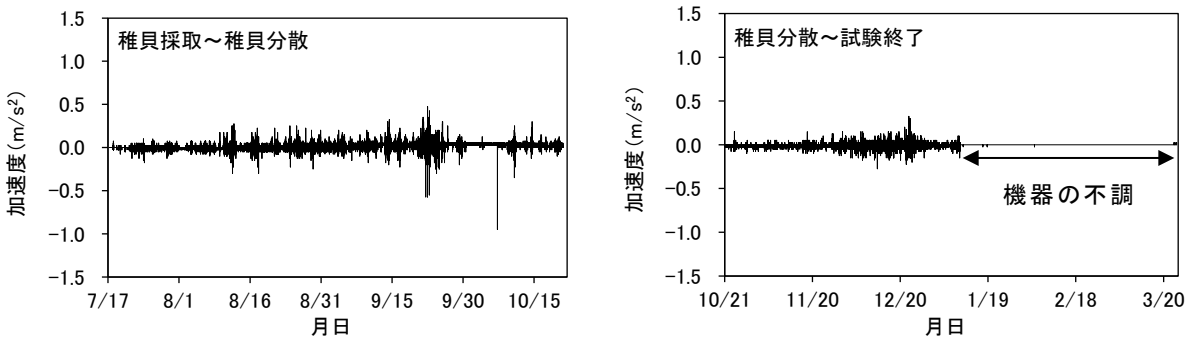


図 9. 養殖施設における加速度の推移（蓬田村）

養殖施設における加速度の推移を図 9 に示す。ただし、1 月 10 日ごろより数値にほぼ変動が見られなくなっており、機器の不調により正しくデータが記録されなかったものと考えられる。稚貝採取から稚貝分散までの幹綱の加速度は±0.5 m/s^{2}を超えることは少なく、概ね安定した状態であったと考えられた。加速度が±0.5 m/s^{2}を超えたのは、9 月 22 日と 10 月 7 日の 2 日だった。特に 9 月 22 日は±0.5 m/s^{2}を超えたのが 2：05、11：15、21：10 の 3 回あり、1 日中やや強い加速度が記録されていた。稚貝分散から 1 月 9 日までの幹綱の加速度は±0.5m/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、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。

養殖施設の流向流速の推移を図 10 に示す。稚貝分散から試験終了まで 0.2m/s を超える流れは観測されず、養殖施設周辺の流環境は緩やかであった。

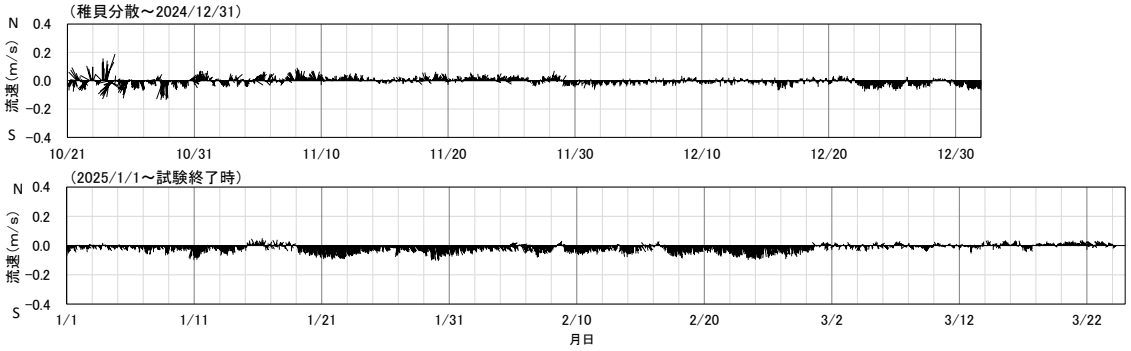


図 10. 養殖施設の流向流速の推移（蓬田村）

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 9 日に行われ、過去最も早かった 7 月 20 日よりも大幅に早く行われた。これは蓬田村同様、前年の経験から高水温下での稚貝採取を避けるため時期を早めた結果と考えられる。さらに、パールネットや稚貝採取時の篩の目合も 1.5 分と細かいものを使うことで、稚貝採取を早期に行えるよう対策したものと考えられる。稚貝分散は 10 月 12 日に行われた。

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	8月1日	10月16日	3月22日
2024	**7月9日**	**10月12日**	**3月25日**

2024 年度の測定結果を表 9 に、2006 年度から 2024 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量、軟体部重量指数を図 11～14 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 4.7%と 2006～2023 年度平均(以下「小湊平均値」)の 1.8%よりかなり高く、過去 3 番目の高さであった。また、殻長が 6.3mm と小湊平均値 9.3mm よりかなり小さかった。これは前述のように早期に稚貝採取を行った結果である。稚貝分散時は、成長後へい死率が 10.3%と小湊平均値 5.1%よりかなり高く、2023 年の 28.0%に次ぐ高さであったが、異常貝は見られなかった。また、殻長は 17.5mm で小湊平均値 24.6mm よりかなり小さかった。

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	
31m	20m	10m	150m	100m	100kg	片側1丁	30kg 2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	発泡フロート	1個	2箇所	ABS製1尺3寸	8個	1.5分	8段	200連	150個体/段	鉛50匁	篩の目合1.5分
分散時	発泡フロート	1個	2箇所	ABS製1尺3寸	10個	3分	8段	300連	20個体/段	無し	選別機の目合3.5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	軟体部重量指数 平均値±SD
2024.7.9	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	101	5	−	4.7	−	0.0	6.3 ± 1.4	−	−	−
2024.10.12	稚貝分散	パールネット[*1]（未分散）3段分	350	41	40	10.5	10.3	0.0	17.5 ± 2.6	−	−	−
2025.3.25	試験終了	パールネット[*1] 1連(8段)	151	217	6	59.0	3.8	0.0	38.3 ± 9.3	7.3 ± 4.3	2.9 ± 1.9	39.0 ± 4.4

*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

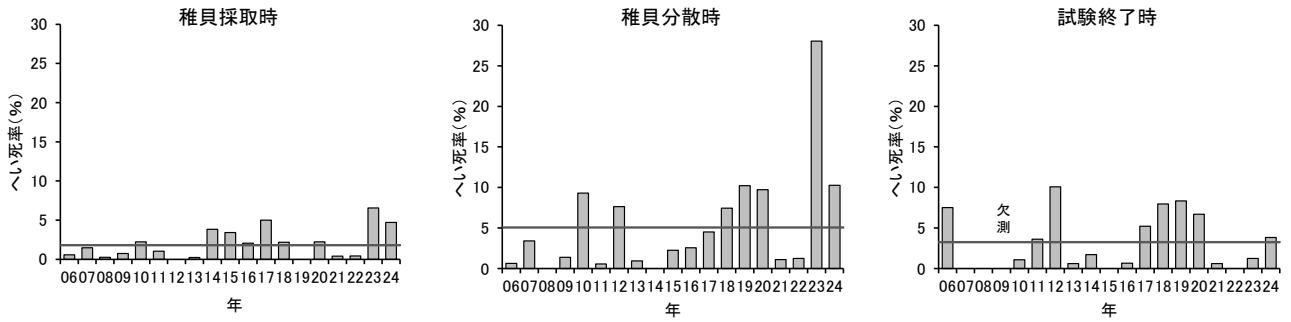


図 11. 年別、時期別のホタテガイのへい死率の推移（平内町小湊）
稚貝分散時及び試験終了時のへい死率はそれぞれ採取及び分散直後の死貝を除いた値。横線は 2006 年から 2023 年までの平均値を示す。

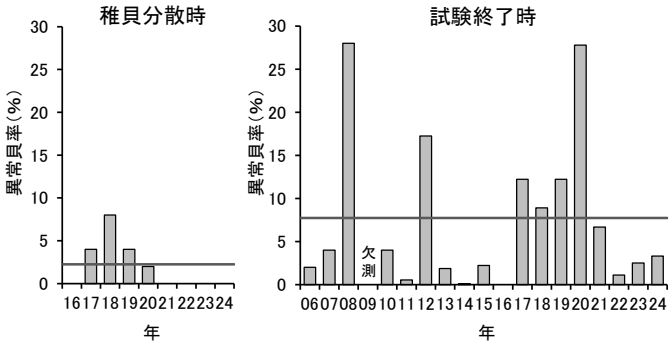


図 12. 年別、時期別のホタテガイの異常貝率の推移（平内町小湊）
2016 年から稚貝分散時の異常貝率の測定を追加。横線は稚貝分散時では 2016 年から 2023 年までの平均値、試験終了時では 2007 年から 2023 年までの平均値を示す。

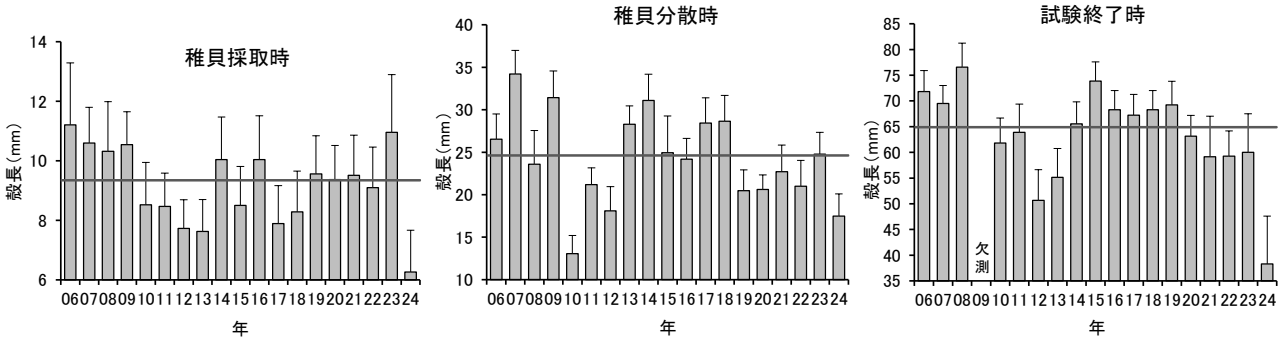


図 13. 年別、時期別のホタテガイの殻長の推移（平内町小湊）
バーは標準偏差を示す。横線は 2006 年から 2023 年までの平均値を示す。

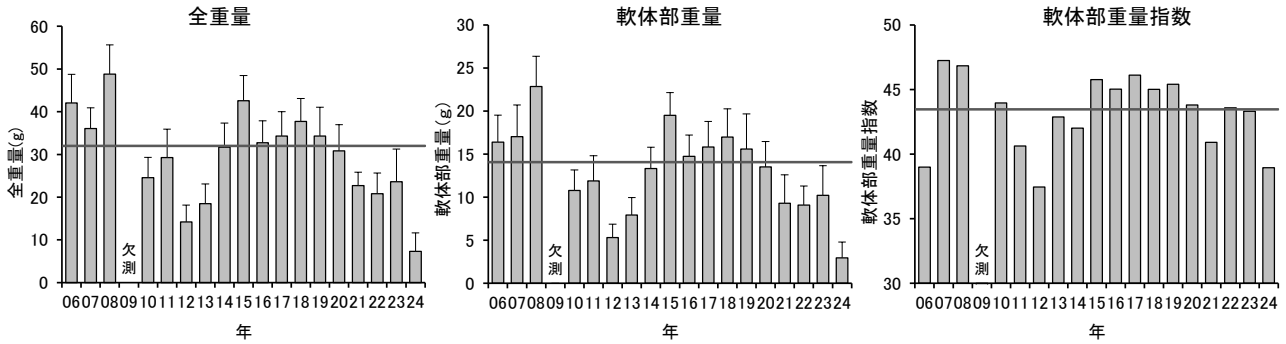


図 14. 年別試験終了時のホタテガイの全重量、軟体部重量、軟体部重量指数の推移（平内町小湊）バーは標準偏差を示す。横線は 2006 年から 2023 年までの平均値を示す。

試験終了時のへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量、軟体部重量指数を上段、中段、下段に分けて表 10 および図 15 に示す。各段のへい死率に差は見られず（p = 0.285)、全段合わせると 3.8%と小湊平均値 3.3%よりやや高かった。異常貝率でも各段に有意な差は見られず（p = 0.291)、全段で 3.3%と小湊平均値 7.7%より低かった。

殻長は段間で有意な差が見られ（$p < 0.05$)、多重比較を行うと上段と中段では中段が有意に大きく（$p < 0.05$)、上段と下段には有意な差はなく（$p = 0.943$)、中段と下段では有意ではないがやや中段が大きな傾向が見られた（p = 0.092)。

全重量は段間で有意な差が見られたが（$p < 0.05$)、多重比較した結果はいずれも有意な差は見られなかった。ただし、有意ではないが中段が他よりやや重い傾向が見られた（上段-中段：p = 0.075、中段-下段：p = 0.093、上段-下段：p = 1.000)。

軟体部重量は段間で有意な差があり（$p < 0.05$)、中段が上段より有意に重く（$p < 0.05$)、下段より有意ではないがやや重い傾向が見られ($p = 0.096$)、上段と下段には有意な差は見られなかった($p = 1.000$)。

軟体部重量指数は段間で有意な差があり（$p < 0.001$)、上段が中段と下段よりも有意に低い値であった（上段-中段：$p < 0.001$、上段-下段：$p < 0.05$)。中段と下段に有意な差はなかった（p = 0.794)。

上段と下段の生貝がそれぞれ 56 個体、53 個体で測定上限の 50 個体以上であったため、重みづけして算出した全段での平均殻長は 38.3mm と小湊平均値 67.9mm よりかなり小さく、全重量も 7.3g と小湊平均値 32.0g よりかなり小さく、軟体部重量も 2.9g と小湊平均値 14.1g よりかなり小さく、いずれも過去最低だった。軟体部重量指数は 39.0 と小湊平均値 43.5 より低く、2006 年と並び、2012 年に次いで過去 2 番目に低い値であった。

前述のとおり、2024 年度の小湊では、稚貝採取を早期に小型で行っており、稚貝分散までの夏季はへい死率が高く、生残した個体も成長は悪かった。稚貝分散後にはへい死率はそれほど高くはないが、成長が非常に悪い状態であったと言える。ただ、全体的に成長が悪い中、上段と下段は中段より劣る傾向が見られ、さらに、軟体部重量指数では上段は下段よりも低い値であった。その要因の詳細は不明であるが、上段の成長の悪さについては以下のようなことが考えられるかもしれない。吉田ら[3)]は、養殖施設の幹綱の振動により養殖篭の上下動が上段ほど大きくなり、貝同士や網地とのぶつかりが激しくなる可能性を指摘している。本試験の対象施設では稚貝分散後のパールネットに錘は付けられておらず、上下動が大きくなりうる要因と考えられる。その上下動の結果、ホタテガイのストレスの増大や摂餌機会の減少が生じ、上段で成長が抑制されたのかもしれない。ただ、吉田らの研究で指摘された揺れによる異常貝の発生やへい死については、本試験では段間に差は見られなかった。また、後述の加速度計の記録では、幹綱とパールネット下段に取り付けられたものではあるが、貝を大きく揺らすような揺れは確認できなかった。2024 年が非常に成長の悪い年だったこともあり、この段間の差が通常の成長の年にも起きうるものであるかとい

った発生パターンやその要因の解明が今後の課題である。

表 10. 試験終了時のホタテガイ測定結果の段による比較（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	軟体部重量指数 平均値±SD
2024.7.9	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	101	5	−	4.7	−	0.0	6.3 ± 1.4	−	−	−
2024.10.12	稚貝分散	パールネット*1（未分散）3段分	350	41	40	10.5	10.3	0.0	17.5 ± 2.6	−	−	−
2025.3.25	試験終了	パールネット*1 1連(8段)	151	217	6	59.0	3.8	0.0	38.3 ± 9.3	7.3 ± 4.3	2.9 ± 1.9	39.0 ± 4.4

*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

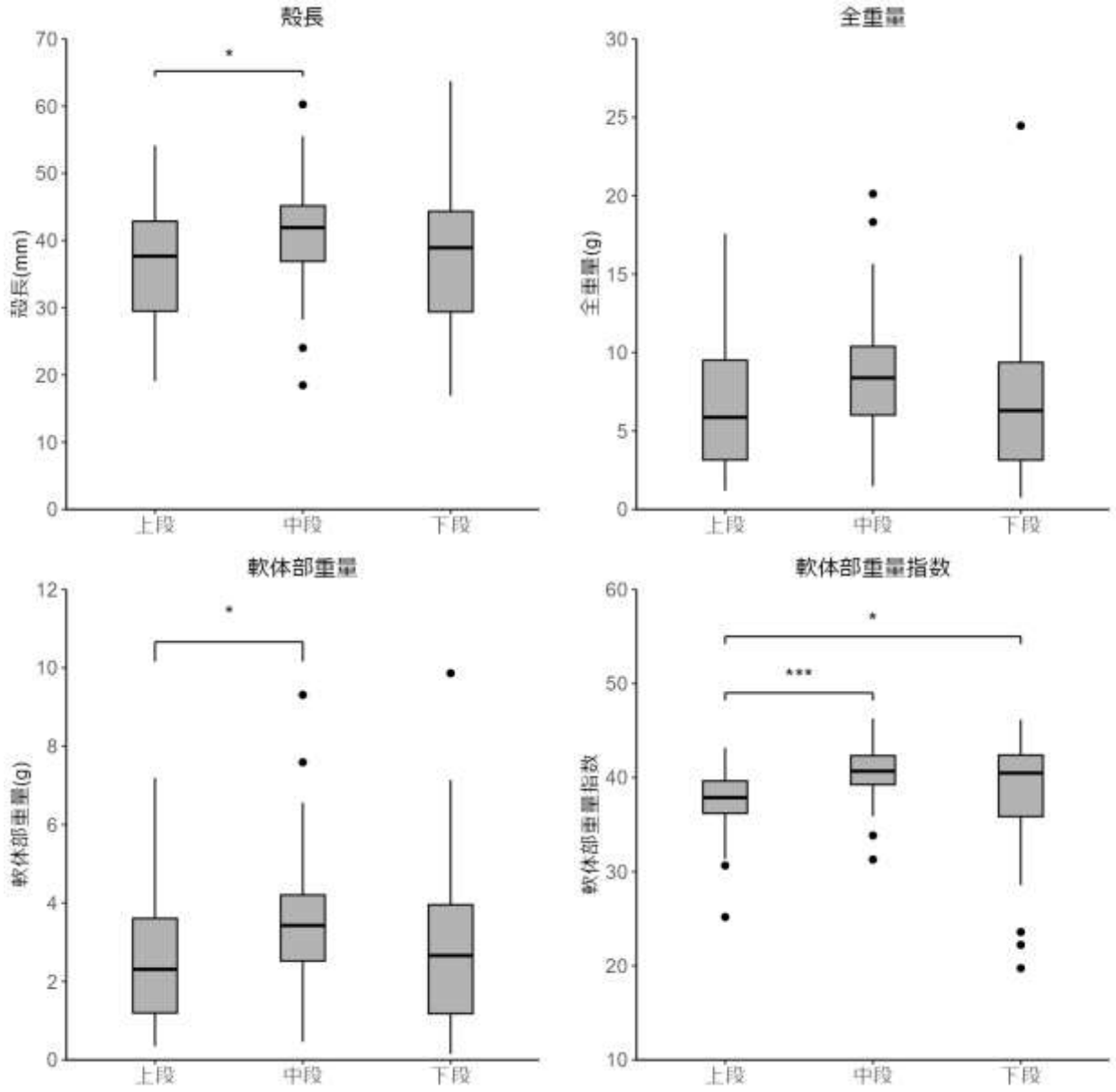


図 15. 殻長・全重量・軟体部重量・軟体部重量指数の段間比較（平内町小湊）

（*：$p < 0.05$、***：$p < 0.001$）

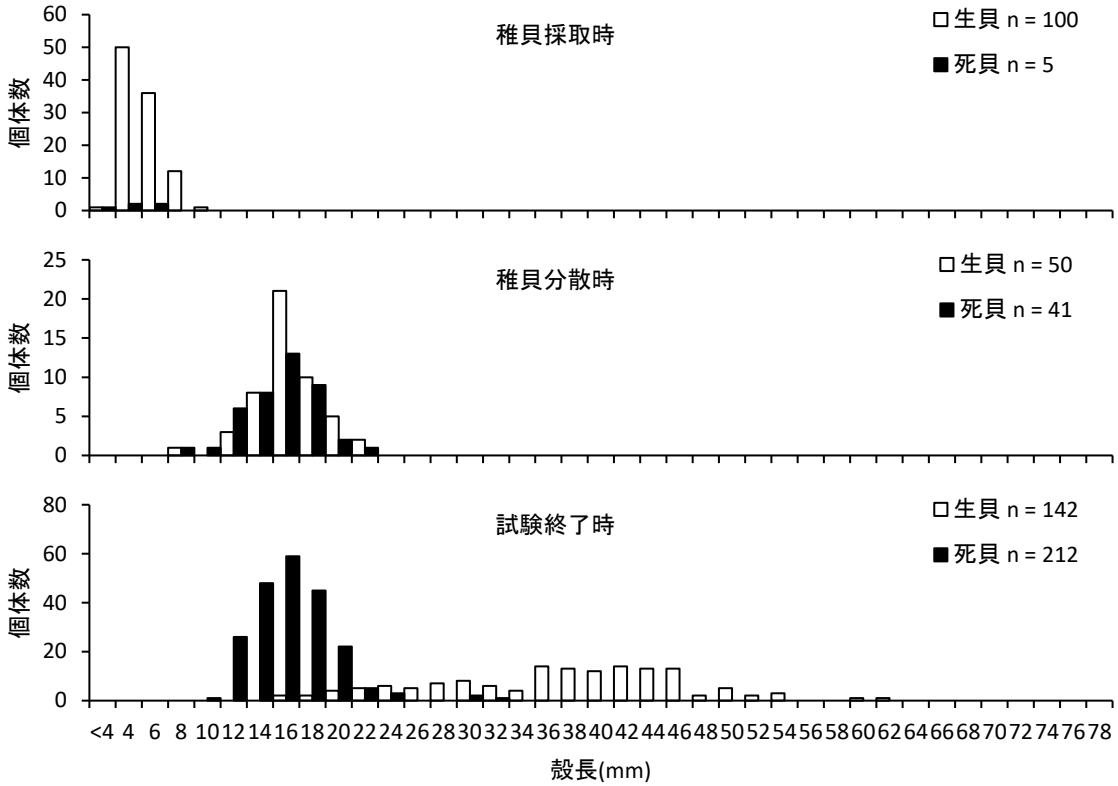


図 16. 時期別の生貝及び死貝の殻長組成（平内町小湊）

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。稚貝採取時の生貝の最大殻長 10.4 ㎜であり、稚貝分散時の生貝の最小殻長は 9.8 ㎜で、殻長組成の範囲が重複していた。稚貝分散時の死貝の最小殻長は 9.5 ㎜であり、その次の殻長が 11.3 ㎜であるため、最小個体のみを採取直後のへい死とみなした。稚貝分散時に採集された死貝のほとんどが成長後にへい死したと考えられ、その死貝の殻長は生貝と有意な差がなく（$P = 0.17$）、成長後のへい死が起きた時期から稚貝分散時までに、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生貝は殻長 16.9～63.7 ㎜と非常に幅広い殻長組成であった。稚貝分散時の最大殻長 24.0 ㎜よりも小さな個体が 9.1%を占めており、稚貝分散以降ほとんど成長できていないものもいると考えられた。そのため、殻長 24.0 ㎜以上の死貝を成長後にへい死したものとした。その結果、成長後にへい死したものは 6 個体のみで、そのうちで最大のものでも殻長 32.9 ㎜とあまり成長せずにへい死していた。2024 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、稚貝分散時にはへい死していた貝が多数、試験終了時の死貝に含まれてしまっており、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かもしれないが、稚貝分散後の成長が非常に悪いため、へい死時期や混入の影響の推定は困難である。

養殖施設における毎時水温の推移を図 17 に示す。稚貝採取直後の 7 月 12 日には水温 20℃を超えた。水温は 8 月 12 日まで変動はありながらも 23℃台まで上昇したが、8 月 12 日に漁業者が養殖施設の水深を調節し、より深くに沈めた（漁業者からの聞き取り）ことで 20℃前後に低下した。その後の水温は変動しながらも上昇し、9 月 14 日に期間中の最高水温 25.1℃を記録した。9 月 22 日に水温の低下が始まり、9 月 26 日には 21℃を下回ったが、9 月 27 日に漁業者による養殖施設の水深の引き上げが行われた（漁業者月 20 日に 20℃を下回り、12 月 31 日には約 8℃まで低下した。稚貝分散が行われた 10 月 12 日は水温 20℃を

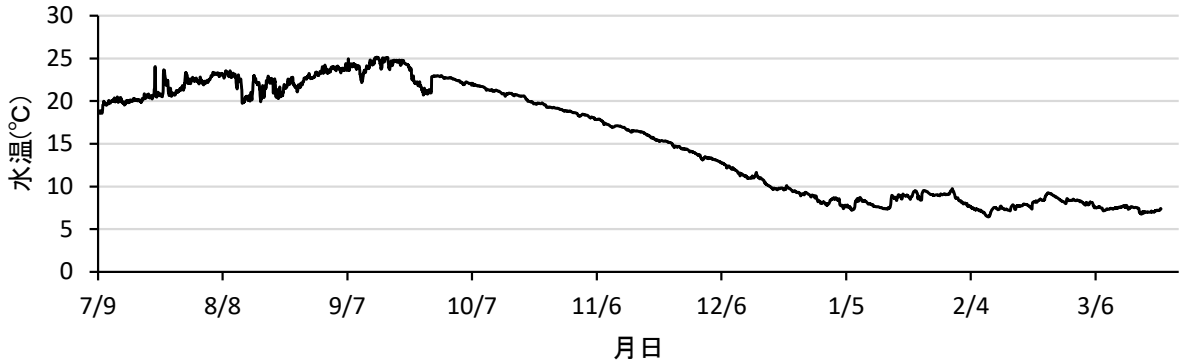


図 17. 養殖施設の毎時水温の推移（平内町小湊）

上回っている時期であった。2025 年 1 月は変動がありながらもやや上昇傾向が見られ、1 月 30 日には 9.7℃が記録された。その後は低下に転じ 2 月 8 日には期間中最低の 6.4℃が記録された。2 月 25 日までは上昇傾向で 8.5℃まで上昇したが、その後緩やかに低下し 7℃前後で推移した。

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 月上旬～9 月下旬に観測された。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 18 に示す。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 20 日で、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 2006～23 年度平均（以下「過去平均」）の 28 日より少なく、稚貝の衰弱する 25℃を超えた日はなかった。日平均水温が調査期間の最高水温を記録したのち、23℃を下回った日数は稚貝分散までに 20 日で、過去平均の 39 日よりかなり少なかった。

23℃を超えていた日数は多くなかった。しかし、2024 年は 8 月 5 日から 9 日に 23℃超えていたが、8 月 10 日から 29 日には 23℃を下回り、8 月 30 日から 9 月 22 日には再び 23℃を上回る（9 月 10 日のみ 22.7℃と一時的に下回った）という変動があった。このような変動は稚貝のへい死率が高かった 2023 年にもみられている。他の年には 23℃を超えている期間の間に 1-2 日だけ 23℃をやや下回ることはあるが、このような何日も 23℃を超える日が続いたのちに水温が 23℃を下回り、再上昇して 23℃を上回る期間が続くことはなかった。

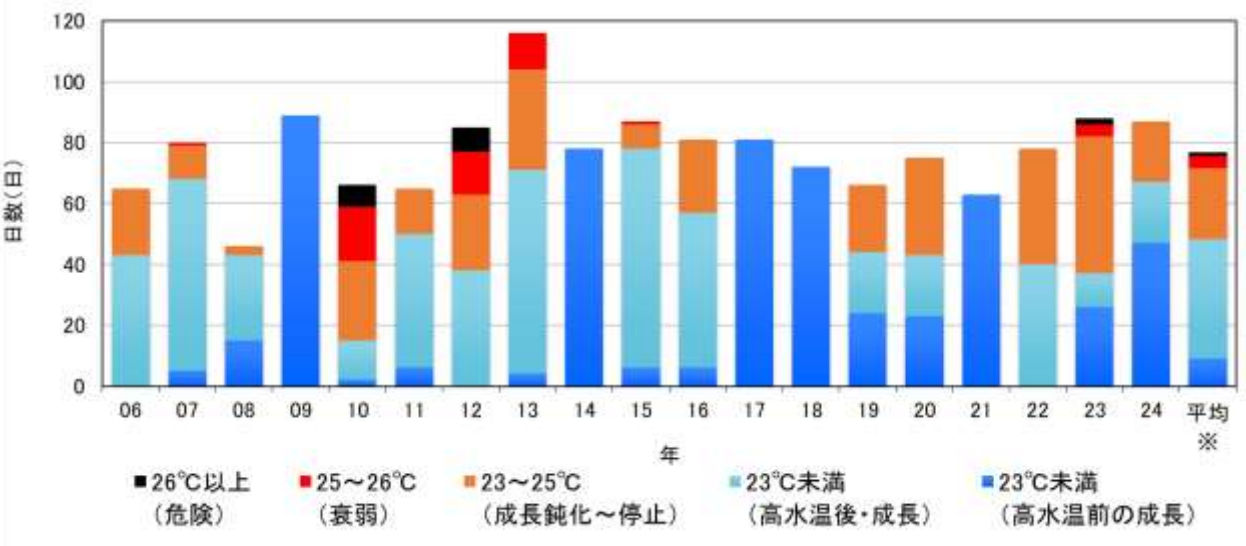


図 18. 稚貝採取から稚貝分散までの日平均水温の年別推移（平内町小湊）
平均は 23℃を超えた日がなかった 2009 年、2014 年、2017 年、2018 年、2021 年を除いた 2006 年から 2023 年の平均を示す。

2024 年は 2023 年ほど極端ではないが、稚貝分散までのへい死率が高い年であった。最高水温や高水温の持続期間と合わせて、水温の変動パターンも稚貝のへい死や成長へ影響する要因として考慮されるべきかもしれない。

養殖施設の幹綱水深の変化を図 19 に示す。稚貝採取から稚貝分散までは機器の不調により欠測となった。稚貝分散から 12 月 31 日までは変化がほとんどなく、水深 11m 前後で安定していた。しかし、2025 年 1 月 1 日に急に沈み込み、1 月 6 日まで最大で 18.5m まで沈み込む変動が記録された。その後は 3 月 13 日まで 11m 前後で安定していた。そして、3 月 13 日には再び急激な沈み込みが見られ、3 月 22 日まで最大で 25.2m まで沈み込む変動が記録された。変動後は試験終了時まで水深 11m 台で安定していた。

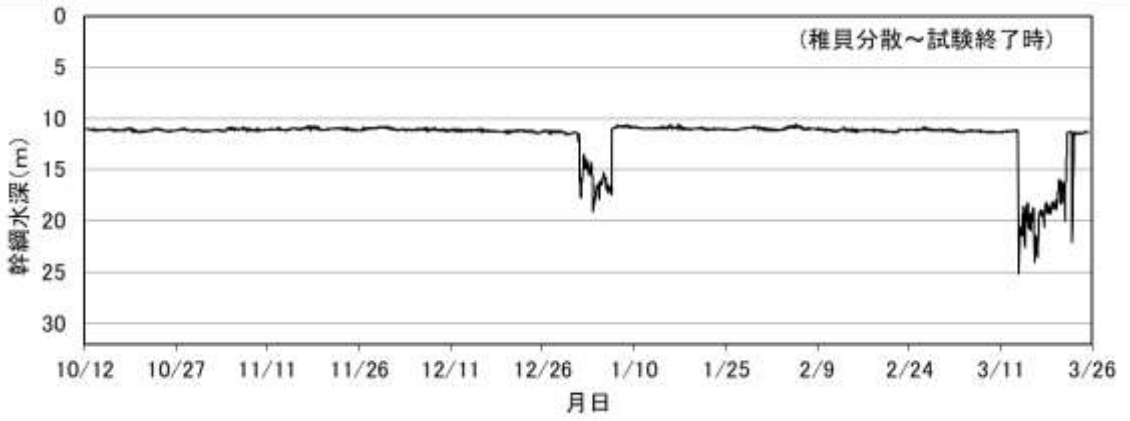


図 19. 養殖施設の幹綱水深の変化（平内町小湊）

2 回の大きく急激な沈み込みは人為的な物ではないと考えられる。漁業者からの聞き取りで当該期間に養殖施設の深度調整等は行っていないとのことであり、発生・解消時刻が夜間であることからも人為的なものではないと思われる。一方で、気象条件としても流向流速計に大きな変化は記録されていなかった。しかし、加速度計には 1 月と 3 月共に当該期間の加速度が 0 m/s^2 の状態が連続して記録されており、その詳細は不明であるが、当該期間に異なる計測機器に共通して異常が現れるような現象があったと思われる。

稚貝分散以降は、例年であれば稚貝の成長や付着物の増加により、養殖施設に垂下されたパールネット全体の重量が増し、徐々に沈降する様子が記録される。しかし、今年度はそういった様子が全く見られず、一定の水深で推移した。このことからも本年の稚貝の冬季の成長が著しく不良であったことがうかがえる。

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、稚貝分散から試験終了時までの幹綱及びパールネットの加速度を図 21 に示す。稚貝採取から稚貝分散までの加速度は幹綱で最大 0.225m/s^2、パールネットで最大-0.450m/s^2 と±0.5 m/s^2 を超えることはなく安定した状態であった。稚貝分散から試験終了時までの加速度は幹綱で最大 0.225m/s^2、パールネットで最大-0.450m/s^2 と±0.5 m/s^2 を超えることはなく安定した状態であった。稚貝分散から試験終了時までの加速度は幹綱で最大 0.450m/s^2、パールネットで最大-0.250m/s^2 と±0.5 m/s^2 を超えることはなく安定した状態であった。

深度計で大きく急激な沈み込みが記録されていた 1 月 1 日から 6 日までと 3 月 13 日から 22 日の期間に幹綱の加速度計は加速度 0 m/s^2 を連続して記録していた。これは幹綱が動いていないことを示すものではなく、何らかの異常な動きにより加速度計がエラーとなり 0 m/s^2 として記録されてしまったものと考えられる。また、パールネットの加速度計でも幹綱のように完全に 0 m/s^2 ではないが、当該期間の前後と比べて弱い加速度が記録されている。このことから、深度計における大きな沈み込みの記録は、深度計の異常ではなく実際に何らかの異変によって生じたものであると考えられる。

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 11 に示す。2024 年度の稚貝採取から稚貝分散までの最高流速は 0.22m/s と小湊平均値 0.28 m/s より遅く、0.1m/s 以上の流速の観測回数は 229 回で小湊平均値 224 回と同程度であった。ただし、稚貝採取から稚貝分散までの期間が長いため、0.1m/s 以上の流速の観測割合は低いと言える。稚貝分散以降の最高流速も 0.17 m/s と遅く、2024 年度は試験期間を通じて流れの緩やかな年であった。

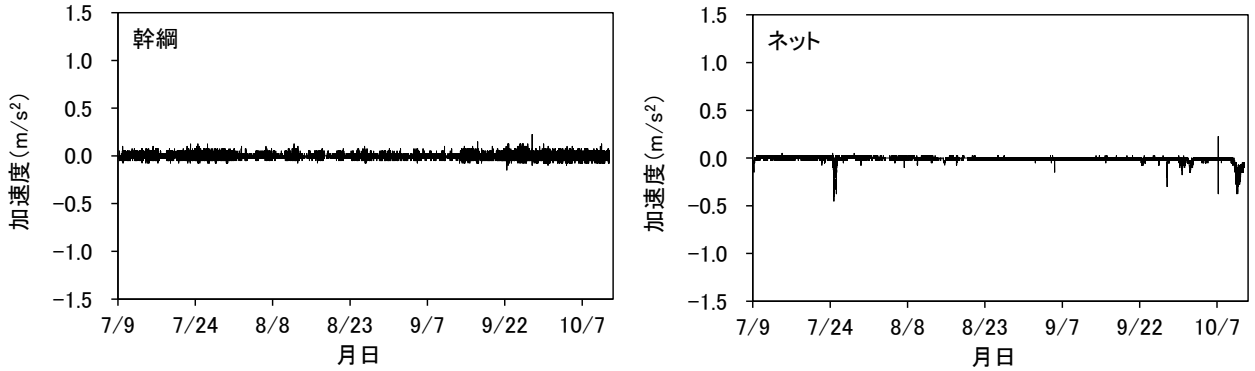


図 20. 養殖施設の加速度の推移(稚貝採取～稚貝分散)（平内町小湊）

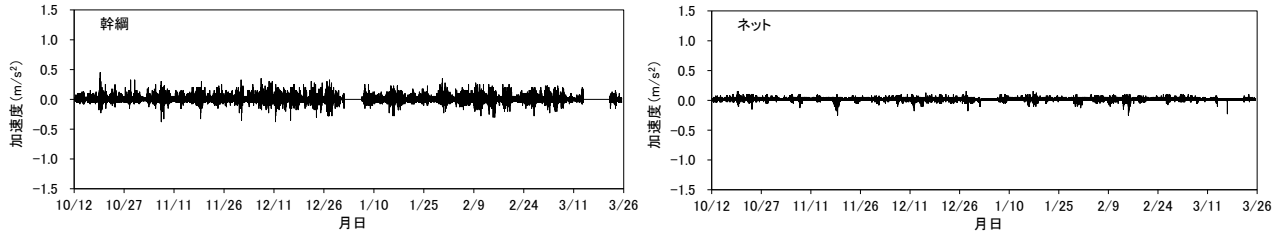


図 21. 養殖施設の加速度の推移(稚貝分散～試験終了時)（平内町小湊）

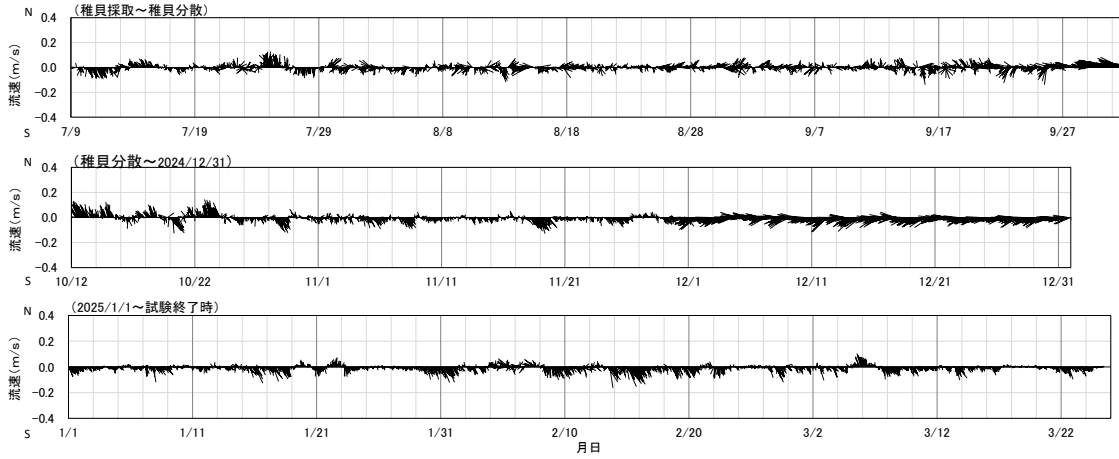


図 22. 養殖施設の流向流速の推移（平内町小湊）

表 11. 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	24	06-23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	0.22	0.28
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	0	5
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	9	31
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	229	224
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	2,279	1,806

*2008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、間に水温が 23℃を下回った期間を挟んでいるが、23℃を上回る時期が早く、23℃を下回った時期が遅かったためと考えられる。稚貝分散から試験終了時までで成長後へい死率と異常貝率が低くかったことは、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、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要因と考えられた。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、少なくとも本モニタリング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、稚貝分散までの水温状況がその後の成長にまで影響した可能性が考えられ、そのメカニズムの解明が今後の課題である。

文　献

1) 遊佐貴志(2025) 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. 2023 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告,343-355.

2) 青森県産業技術センター水産総合研究所,ホタテガイ養殖管理情報第 4 号,https://www.aomori-itc.or.jp/soshiki/suisan_sougou/output/hotate/hotate2024/kanri20240808.html, (最終参照 2025 年 11 月 7 日)

3) 吉田達・工藤敏博・山内弘子・川村要(2011) 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 20 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 182-206.