

ICT を利用したホタテガイ養殖作業の効率化技術の開発事業 ホタテガイ半成貝のへい死予測技術開発に関する試験

小谷健二・山内弘子

目 的

ホタテガイ半成貝のへい死予測技術を開発するとともに、既存の成長予測技術¹⁾と合わせて生産量予測技術を開発する。

材料と方法

2023年10月24日～2024年1月11日に久栗坂実験漁場、川内実験漁場(以下、久栗坂、川内)の養殖施設、青森市奥内沖、平内町茂浦沖、野辺地町沖、むつ市浜奥内沖(以下、奥内、茂浦、野辺地、浜奥内)の漁業者の養殖施設(図1)において、2023年産稚貝を使用して試験を行った。

試験区は、稚貝分散時期をもとに、時期が早い試験区「早期」と時期が遅い試験区「晩期」を設定したが、2023年に発生した採苗不振により久栗坂では早期のみを設定した。各養殖施設の幹綱には、観測機器(以下、測器)であるメモリー式水温計(Onset Computer社、HOB0 Water Temp Pro v2)、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 Pendant G Logger)を取り付け、試験期間中の1時間間隔の水温及び深度と5分間隔の幹綱の鉛直方向の加速度を測定した。なお、川内については、早期と晩期を同じ養殖施設に設定した。

試験区作成時、養殖施設を管理している漁業者等に養殖施設の構造や養殖作業工程について聞き取りした。試験に使用したパールネットは、久栗坂及び川内は目合3分、10段で最下段に100匁の鉛を取り付けたもの、その他地区は漁業者所有のものを使用した。収容枚数について、久栗坂及び川内は約25枚/段とし、その他地区は漁業者が設定した枚数とした。

試験区作成時、測定用サンプルとして選別後の稚貝を無作為に100個体程度抽出し、生貝数と死貝数(稚貝採取直後にへい死した死貝は除く)を計数してへい死率を求めた。また、生貝50個体の殻長を測定した他、異常貝の有無を確認し、異常貝出現率(以下、異常貝率)を求めた。

試験終了時となる2024年4月(奥内は20日、野辺地は8日、浜奥内は16日)、5月(奥内及び茂浦は2日、久栗坂及び川内は9日)に、各試験区から測器近傍に垂下していたパールネットを1連ずつ回収し測定した。試験区毎にパールネットの全段から貝を取り出し、生死貝数を計数してへい死率を求めた後、無作為に抽出した生貝30個体の殻長、全重量、軟体部重量を測定するとともに、異常貝の有無を確認し、異常貝率を求めた。死貝は稚貝分散時の障害輪の有無を基に、稚貝分散直後と成長後の2種類に分けて計数し、稚貝分散直後のへい死率は、(分散直後の死貝数)÷(生貝数+分散直後の死貝数+成長後の死貝数)×

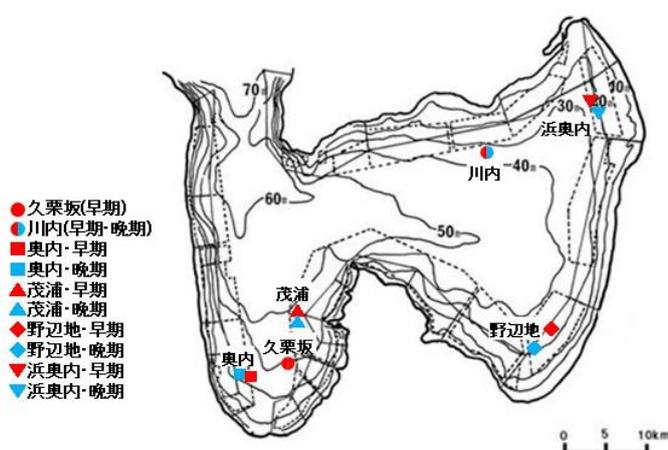


図1. 各試験地区の養殖施設位置図

100 で求め、成長後のへい死率は、(成長後の死貝数)÷(生貝数+分散直後の死貝数+成長後の死貝数)×100 で求めた。

結果と考察

1. 養殖施設の構造及び養殖作業工程

各養殖施設の構造を表1に、養殖作業工程を表2に示した。

表1. 養殖施設の構造

試験地区	試験区	漁場水深 (m)	幹綱深度 (m)	幹綱長 (m)	錨綱長 (m)	アンカー		土俵	調整玉			パールネット 垂下連数 (連)
						重量 (kg)	片側個数 (丁)		サイズ	個数 (個)	箇所数 (箇所)	
久栗坂	早期	45	15	200	100	90	1	40kg・4箇所	尺3	1	2	76
川内	早期	33	15	200	100	90	1	40kg・4箇所	尺3	1	2	54
	尺3								2	2		
奥内	早期	35	15	200	100	60	1	無	尺1 尺2	1 1	2 1	375
	晚期	33	15	200	100	60	1	無	尺1	1	3	332
茂浦	早期	50	18	200	200	90	2	無	尺3 尺3+尺2	1 各1	3 2	1,120
	晚期	50	18	200	200	90	2	無	尺3 尺3+尺2	1 各1	3 2	1,326
野辺地	早期	30	10	200	100	80	2	無	尺1 尺2	1 1	4 2	500
	晚期	26	11	200	100	80	2	無	尺1 尺2	1 1	3 2	400
浜奥内	早期	24	10	200	100	120	1	80kg・5箇所	尺2 8寸	1 1	2 3	500
	晚期	26	10	200	100	120	1	80kg・5箇所	尺2 8寸	1 1	2 3	500

表2. 養殖作業工程

試験地区	試験区	稚貝採取		稚貝分散				
		実施年月日	収容枚数 (枚/段)	実施年月日	収容枚数 (枚/段)	選別板の 目合	パールネット	錘
久栗坂	早期	2023年7月14日	50	2023年10月26日	25	8.0分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
川内	早期	2023年7月5日	50	2023年10月24日	25	9.0分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
	晚期	2023年7月5日	50	2024年1月11日	25	11.0分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
奥内	早期	2023年7月11日	150	2023年10月28日	20	-	目合3分、8段、ラッセル	鉛50匁
	晚期	2023年7月29日	120	2023年12月6日	20	4.5分	目合3分、8段、ラッセル	鉛50匁
茂浦	早期	2023年7月12日	130	2023年10月25日	20	5.5分	目合3分、9段、ラッセル	最下段太枠
	晚期	2023年8月21日	80	2023年12月5日	20	6.0分	目合3分、9段、ラッセル	最下段太枠
野辺地	早期	2023年7月25日	60	2023年10月24日	15	6.0分	目合3分、8段、ラッセル	鉛75匁
	晚期	2023年7月26日	60	2023年12月30日	20	8.5分	目合2分、8段、ラッセル	鉛75匁
浜奥内	早期	2023年7月23日	70	2023年10月25日	15	-	目合3.5分、8段、蛙又	鉛100匁
	晚期	2023年7月16日	70	2023年11月6日	15	-	目合3.5分、8段、蛙又	鉛100匁

2. 試験区作成時(稚貝分散時)

試験区作成時におけるホタテガイ測定結果を表3に示した。殻長は23.2~42.1mmであり、久栗坂を除く同地区の殻長を比較すると概ね稚貝分散時期が遅い方が大きかった。異常貝率は0.0~10.0%で、奥内早期が8.0%、川内晚期が10.0%と他の地区よりも高い値を示した。へい死率は奥内早期が63.0%、奥内晚期が51.8%、野辺地早期が33.3%、久栗坂早期が27.6%と高かった。これらのへい死率が高かった要因として、漁業者からの聞き取

表3. 試験区作成時におけるホタテガイ測定結果

試験地区	試験区	稚貝分散年月日	殻長(mm)		異常貝率 (%)	へい死率 (%)
			平均	標準偏差		
久栗坂	早期	2023年10月26日	27.4	1.9	1.0	27.6
川内	早期	2023年10月24日	34.7	2.8	0.0	3.2
	晚期	2024年1月11日	42.1	4.2	10.0	1.5
奥内	早期	2023年10月28日	24.5	3.2	8.0	63.0
	晚期	2023年12月6日	23.2	2.5	2.0	51.8
茂浦	早期	2023年10月25日	24.0	3.0	0.0	3.0
	晚期	2023年12月5日	25.7	3.3	0.0	3.5
野辺地	早期	2023年10月24日	25.6	2.9	0.0	33.3
	晚期	2023年12月30日	35.6	5.1	4.0	0.0
浜奥内	早期	2023年10月26日	27.4	3.2	2.0	0.0
	晚期	2023年11月6日	33.1	3.2	0.0	3.2

りなどから、2023年夏季に発生した異常高水温の影響により稚貝分散作業時点の稚貝のへい死率が高かったこと、また、稚貝分散作業が例年よりも約1か月遅れ、生死貝を十分に選別せずにパールネットに収容したことが考えられた。

3. 試験期間中の養殖施設の状況

(1) 水温

試験期間中における各養殖施設の水温の推移を図2に示した。試験区作成時の水温は久栗坂早期が19.3℃、川内早期が19.5℃、晚期が6.2℃、奥内早期が19.4℃、晚期が13.5℃、茂浦早期が19.5℃、晚期が13.4℃、野辺地早期が19.2℃、晚期が8.5℃、浜奥内早期が20.7℃、晚期が14.3℃であり、いずれも作成時の水温が稚貝の成長が鈍化する目安の水温である23℃²⁾を下回っていた。

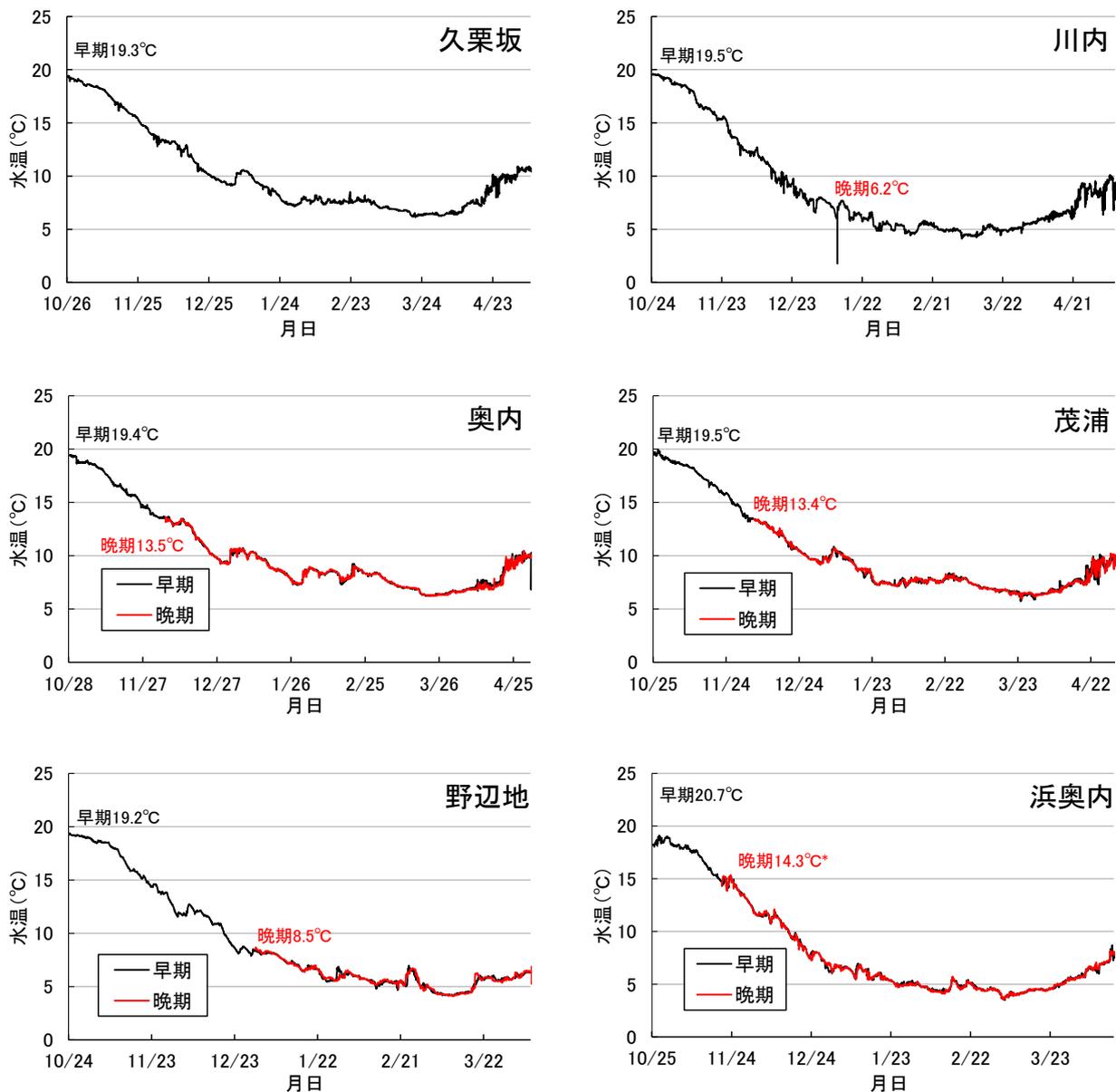


図2. 試験期間中の水温の推移(数字は試験区作成時の水温。浜奥内晩期は、メモリー式水温計の測定開始設定が試験区作成時よりも後だったため、測定開始時の値)

(2) 養殖施設の幹網の深度及び鉛直方向の加速度

試験期間中における各養殖施設の幹網の深度及び鉛直方向の加速度の推移を図3～12に示した。ほとんどの試験地区でホタテガイや付着生物の成長で養殖施設が徐々に沈んでいき、幹網への浮球取り付け作業(以下、玉付け)の影響と考えられる幹網深度が浅くなる現象が複数回観察され、玉付けと深度変化に一定の関連が見られた一方、それらと加速度計変化に明瞭な関連は見られなかった。久栗坂、川内の施設は垂下しているパールネットの連数が少ないことから、幹網の沈み込みが緩やかであり、玉付けの回数が少なかったと考えられた。加速度については、試験区により局所的に最大、最小の絶対値が大きい値を示していたが、いずれの試験区も概ね加速度の変動が小さく、波浪による振動が少なく安定していたと考えられた。幹網鉛直方向の加速度の値別出現回数を図13に示した。加速度 $\pm 0.3 \sim 0.5 \text{m/s}^2$ 、 $\pm 0.5 \sim 1 \text{m/s}^2$ 、 $\pm 1 \text{m/s}^2$ 以上の出現回数は、いずれの地区もほとんど出現せず、稚貝分散の時期による明瞭な違いは見られなかった。

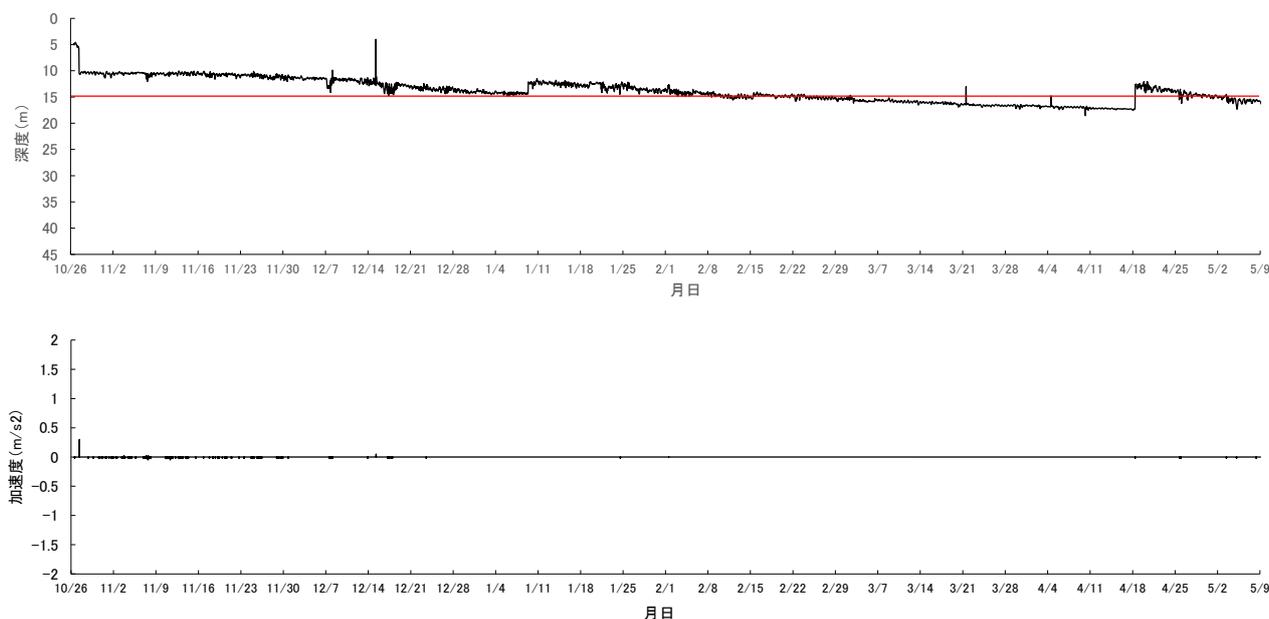


図3. 久栗坂の深度及び鉛直方向の加速度の推移(赤線は設定した幹網深度)

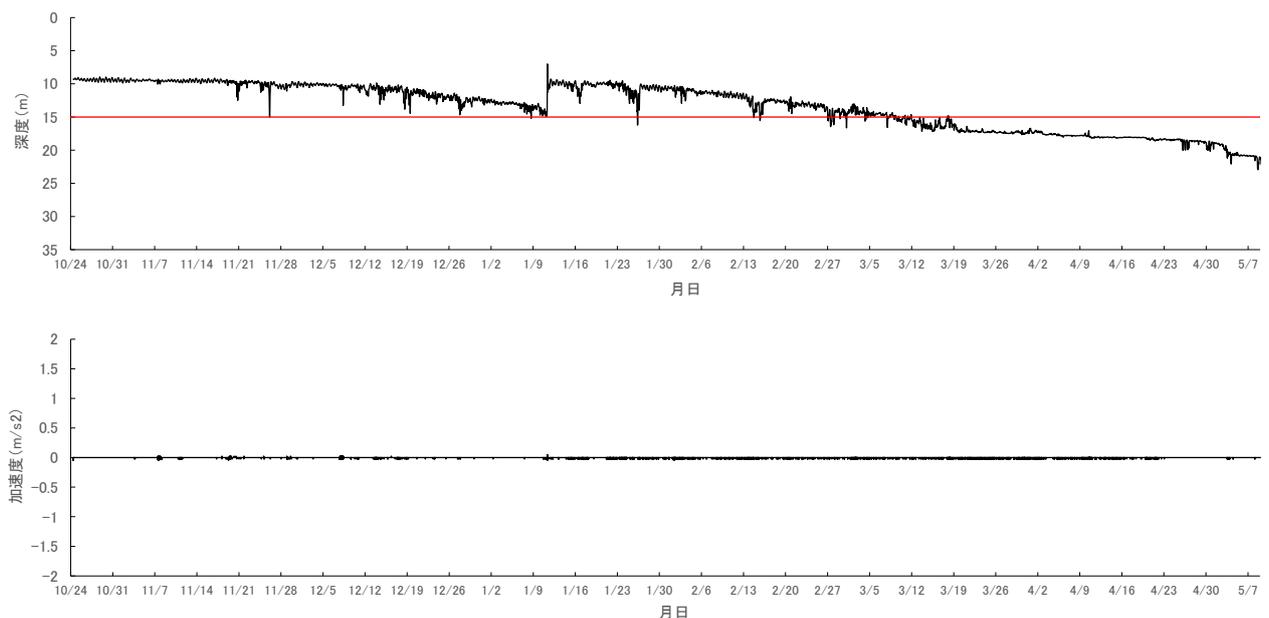


図4. 川内の深度及び鉛直方向の加速度の推移(赤線は設定した幹網深度)

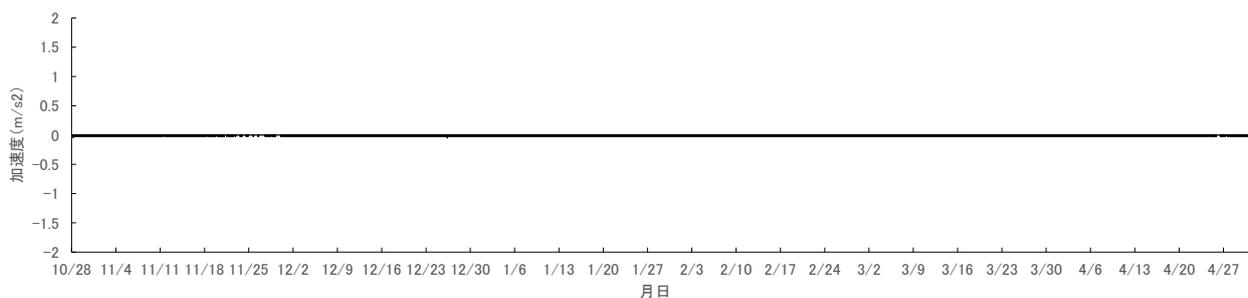
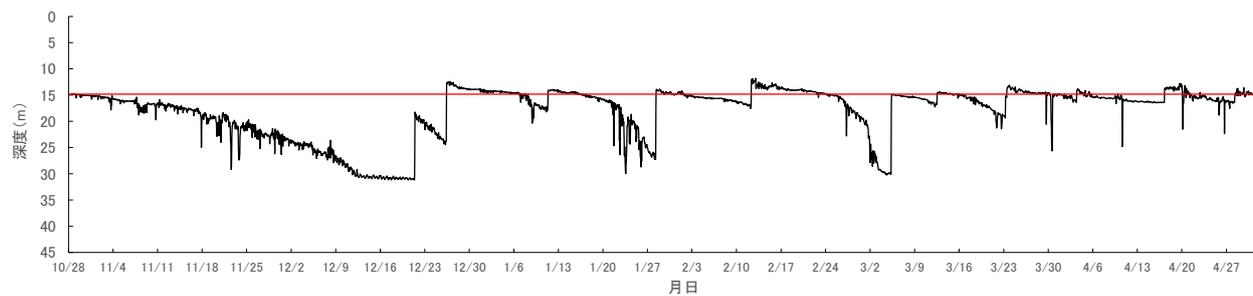


図 5. 奥内早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

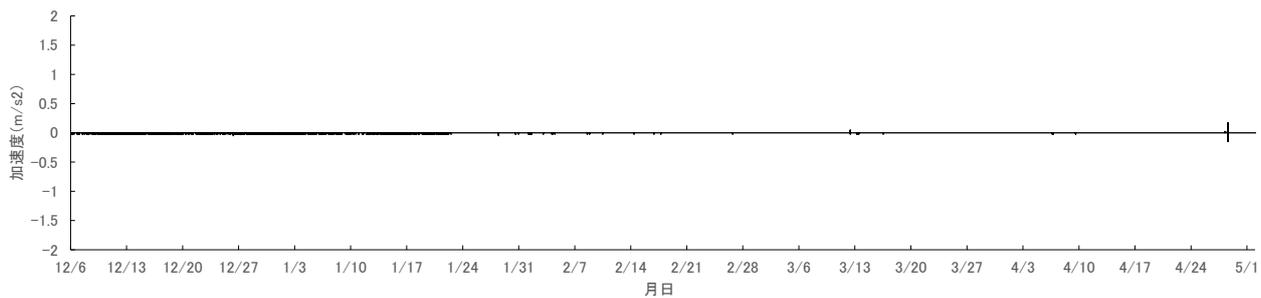
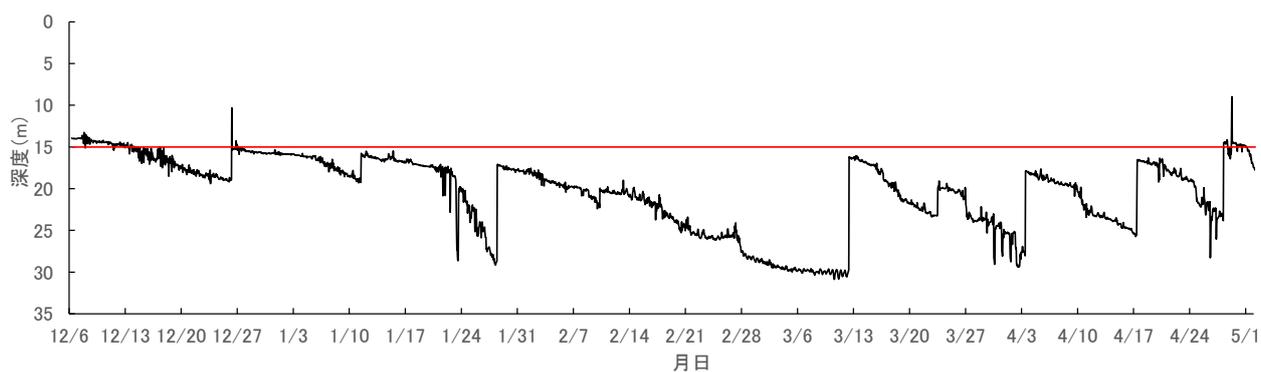


図 6. 奥内晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

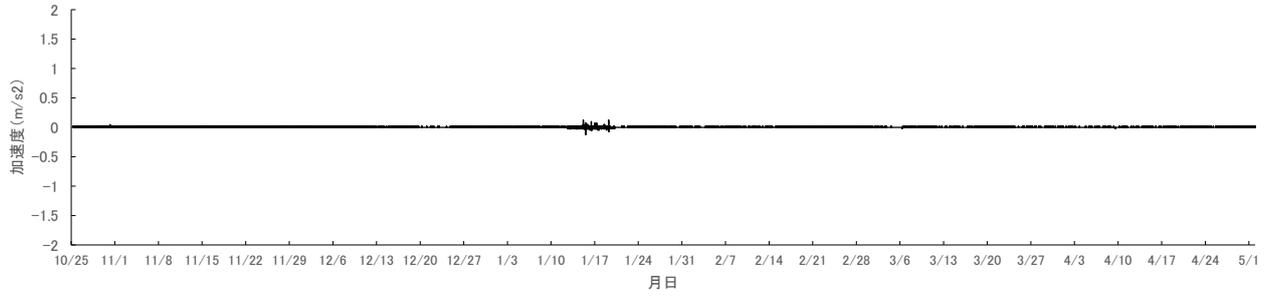
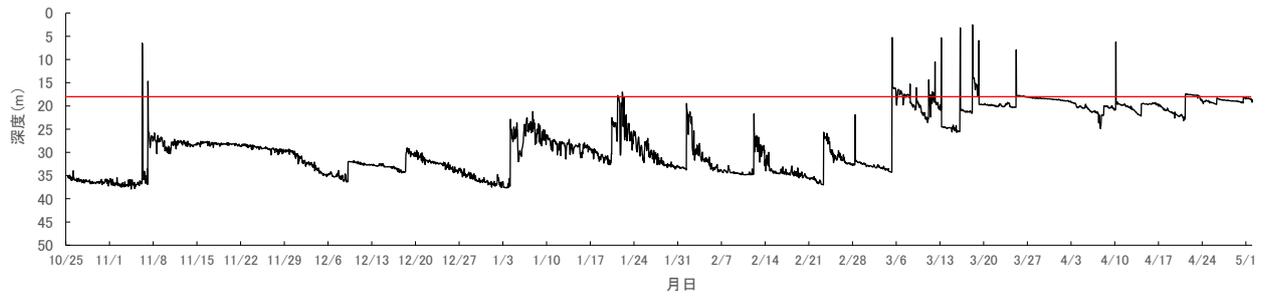


図 7. 茂浦早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

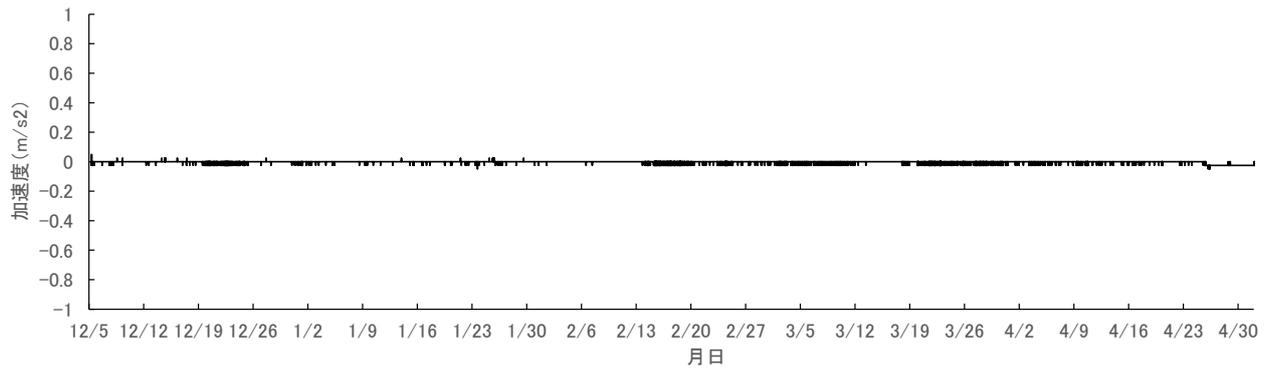
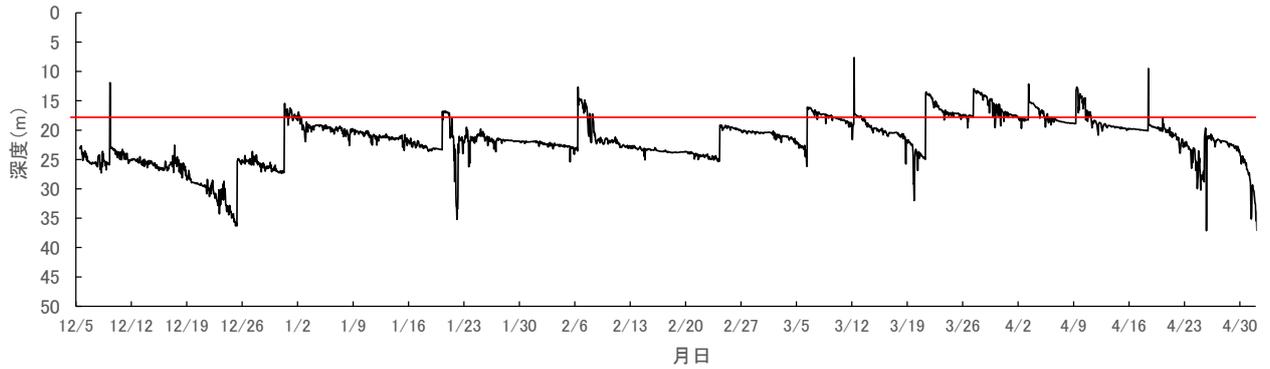


図 8. 茂浦晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

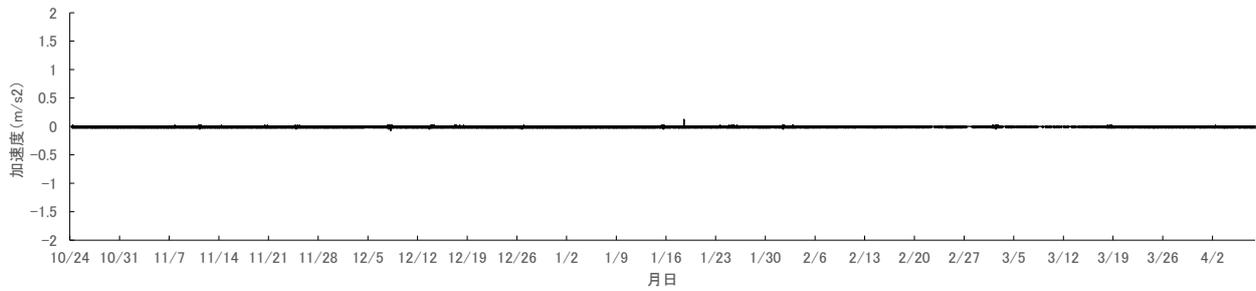
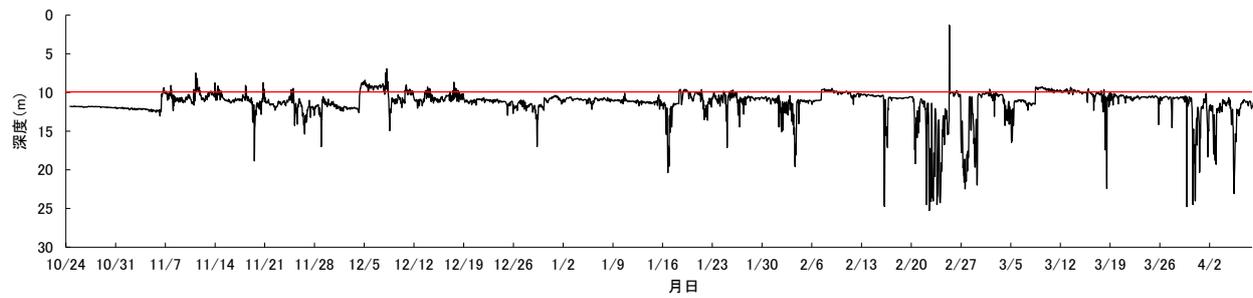


図 9. 野辺地早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

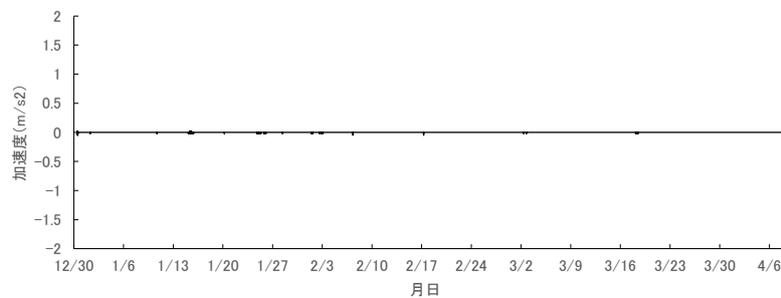
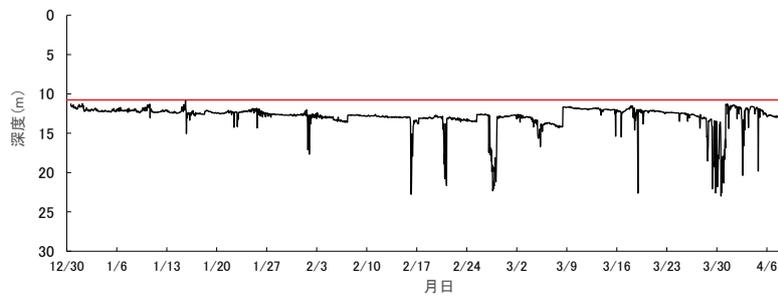


図 10. 野辺地晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

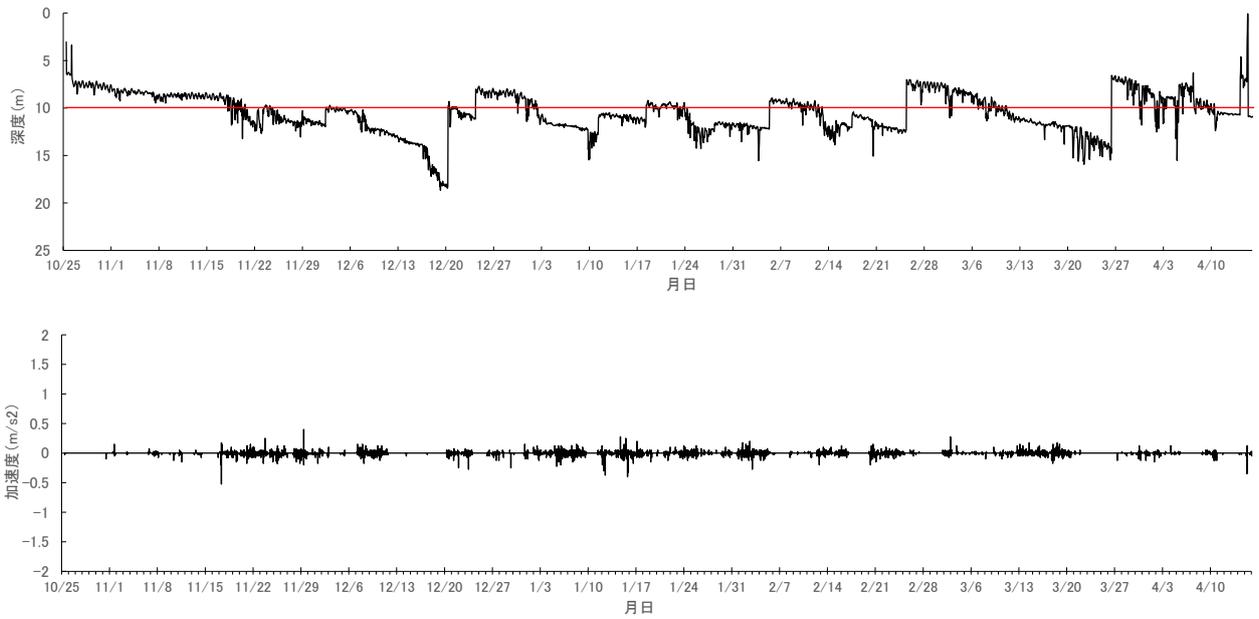


図 11. 浜奥内早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

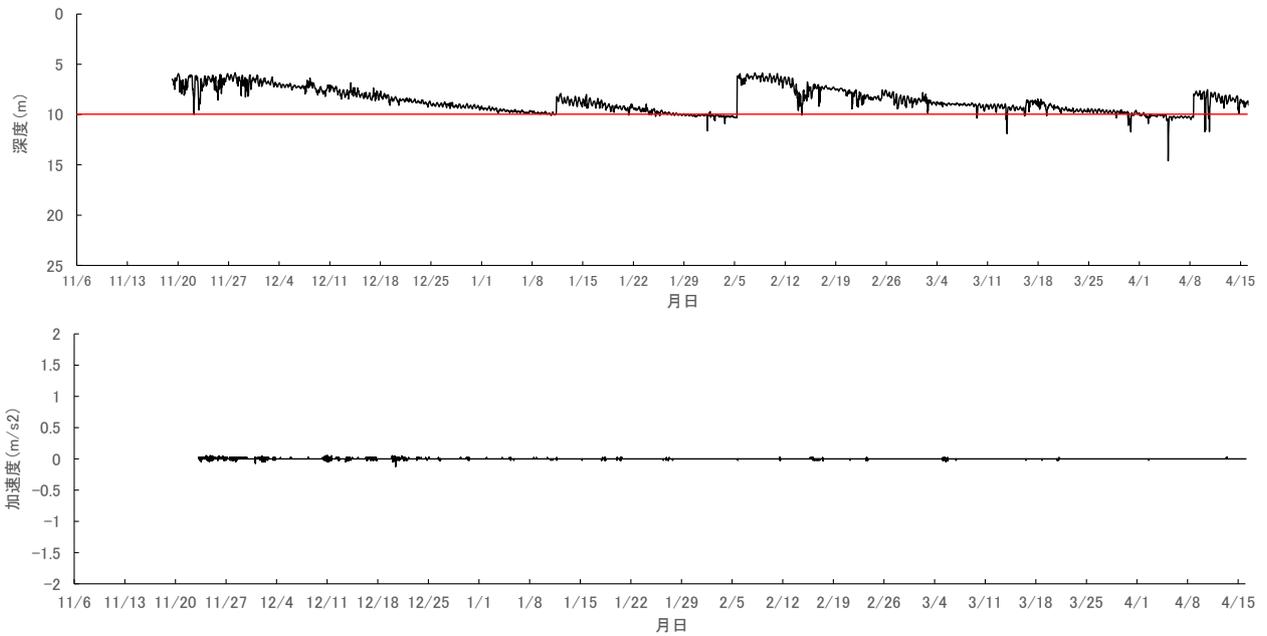


図 12. 浜奥内晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

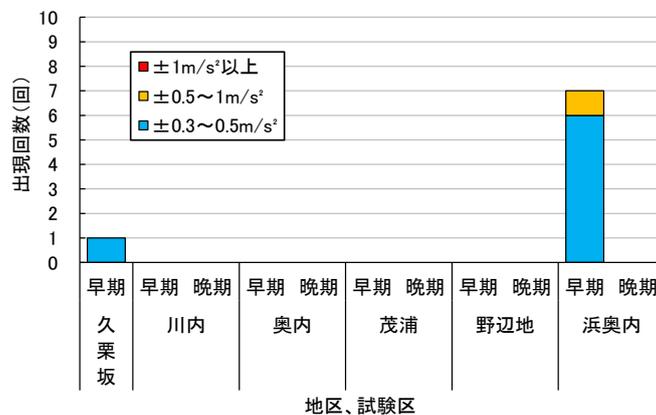


図 13. 試験期間中における幹綱鉛直方向の加速度の値別出現回数

4. 試験終了時

2024年4、5月の試験終了時におけるホタテガイ測定結果を表4、図14～18に示した。殻長は63.0～81.5mm、全重量は19.6～53.7g、軟体部重量は7.6～23.8gであり、地区によって貝の育成状況は異なっていたが、同地区で比較すると西湾の地区では早期より晩期、東湾の地区では晩期より早期の方が育成が良かった。異常貝率は0.0～3.3%であり、奥内早期及び晩期が最も高かったが、稚貝分散時期の違いによる異常貝率に一定の傾向は見られなかった。分散直後のへい死率は1.2～53.3%、成長後のへい死率は0.0～3.5%だった。奥内早期及び晩期のへい死率がそれぞれ53.3%、51.1%と高い値を示したが、これは、前述のとおり、稚貝分散作業時に生死貝を十分に選別せずにパールネットに収容したためと考えられた。

表4. 試験終了時におけるホタテガイ測定結果

試験地区	試験区	稚貝分散月日	殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		異常貝率(%)	へい死率(%)			収容枚数(枚/段)
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差		分散直後	成長後	合計	
久栗坂	早期	10月26日	81.5	6.5	53.7	14.9	23.8	5.2	0.0	16.7	3.5	20.1	14.4
	川内	早期	75.2	4.6	43.1	10.8	17.2	2.9	0.0	2.4	0.0	2.4	27.2
奥内	早期	1月11日	69.0	5.1	33.9	8.8	13.5	3.5	0.0	1.2	0.0	1.2	16.1
	早期	10月28日	63.0	6.2	19.6	5.3	7.6	2.3	3.3	53.3	0.3	53.6	41.8
茂浦	早期	12月6日	65.5	5.1	24.4	4.6	10.4	1.9	3.3	51.1	0.4	51.4	35.3
	早期	10月25日	67.9	4.4	28.5	4.8	12.8	2.4	0.0	8.5	2.0	10.5	17.0
野辺地	早期	12月5日	69.4	4.1	29.4	4.2	12.7	2.9	0.0	7.7	0.6	8.3	20.1
	早期	10月24日	70.5	5.7	34.1	6.9	13.8	2.8	0.0	9.4	1.0	10.4	12.0
浜奥内	早期	12月30日	63.9	5.4	25.0	5.9	9.8	2.6	0.0	5.8	0.0	5.8	19.3
	早期	10月25日	73.7	4.7	37.2	6.2	14.4	2.5	0.0	4.4	0.0	4.4	14.3
	早期	11月6日	72.8	4.1	37.5	5.4	14.7	2.5	0.0	9.5	0.0	9.5	13.7

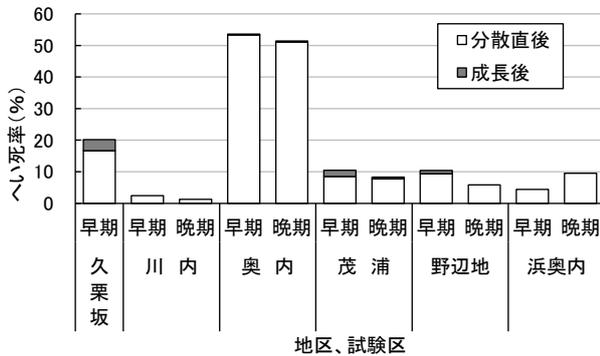


図14. 試験終了時におけるへい死率

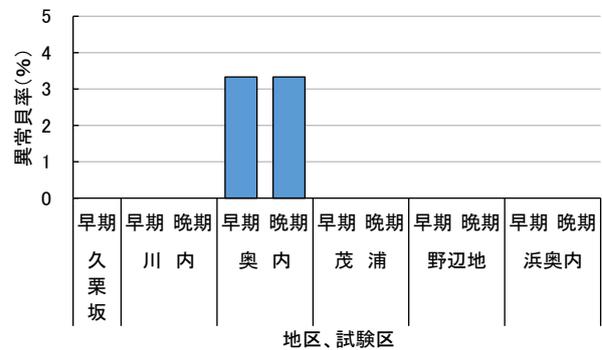


図15. 試験終了時における異常貝率

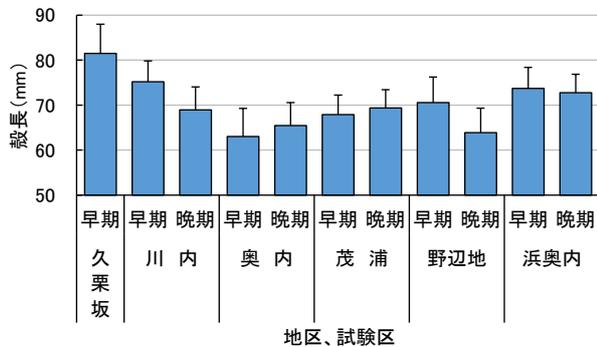


図16. 試験終了時における殻長(バーは標準偏差)

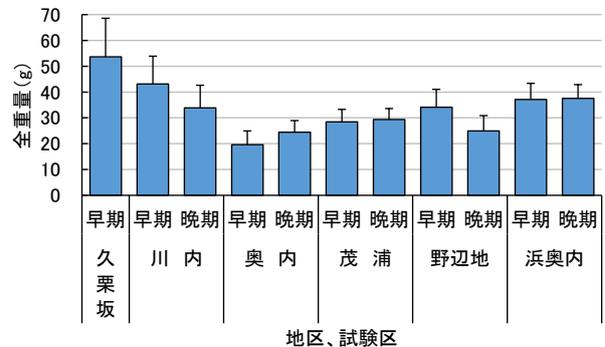


図17. 試験終了時における全重量(バーは標準偏差)

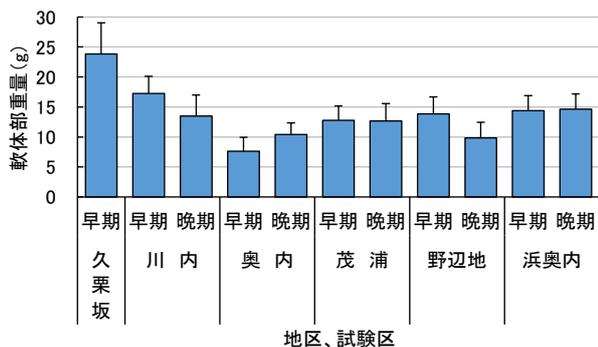


図 18. 試験終了時における軟体部重量 (バーは標準偏差)

5. へい死予測技術、生産量予測技術の開発検討

(1) 本試験結果のデータを基にしたへい死予測技術の検証

稚貝分散時期、稚貝分散時の異常貝率、養殖施設の振動（加速度）とへい死率の関係についてそれぞれ図 19～21 に示した。秋の稚貝分散時点で翌年 4 月における半成貝のへい死率を予測する関係式の作成を試みるため、2019～2022 年度に行った同様の試験²⁻⁵⁾に引き続き、翌年 4 月における半成貝のへい死に与える影響が大きいと考えられる 3 項目「稚貝分散時期」、「稚貝分散時の異常貝率」、「養殖施設の振動（加速度）」とへい死率の関係について検証を行った。なお、奥内早期及び晩期のデータについては、前述のとおり稚貝分散時に生死貝を十分に選別せずにパールネットに収容したため、稚貝分散時に既にへい死した貝と稚貝分散直後にへい死した貝の判別が不可能であることから、検証データから除外した。その結果、稚貝分散時期、稚貝分散時の異常貝率、養殖施設の振動とへい死率の間に相関は見られなかった。このことから、今回の試験結果からへい死予測式を作成することは困難であり、それに付随して生産量予測技術についても開発することができなかった。この要因として、過去 4 年の試験と同様に 2023 年度の冬季も水温が概ね平年並みから平年よりも高めに推移した(図 22、23)こと、時化によるホタテガイ養殖施設への影響が少なかったこと等から、どの試験区でも順調に成育し、へい死率が全体的に低めだったことが挙げられる。過去 4 年の試験²⁻⁵⁾においても、今回の試験結果と同様にへい死率が全体的に低かったことから、冬季の自然環境が良好な年については稚貝分散時期の違いによってへい死率に差が生じないことが明らかとなった。

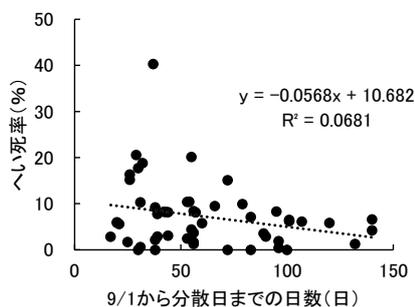


図 19. 稚貝分散時期とへい死率の関係

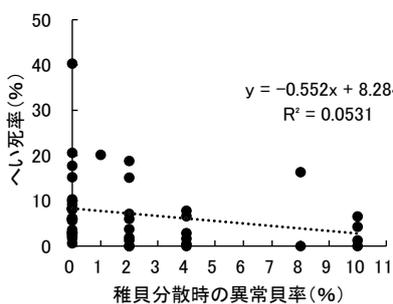


図 20. 稚貝分散時の異常貝率とへい死率の関係

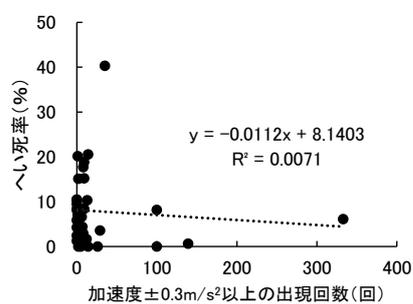


図 21. 養殖施設の加速度とへい死率の関係

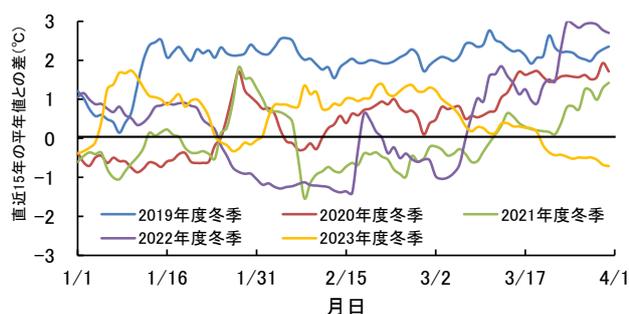


図 22. 青森ブイ 15m 層における 2019～2023 年度冬季(1～3 月)の日平均水温と直近 15 年間の平年値との差の推移

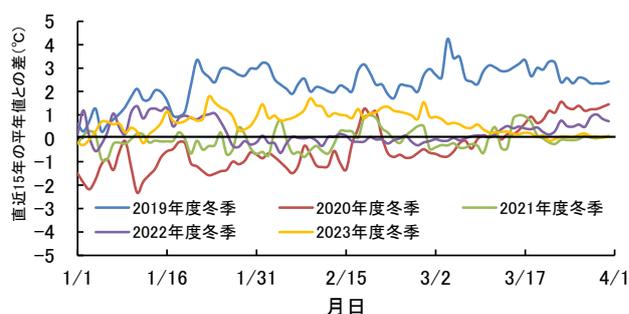


図 23. 東湾ブイ 15m 層における 2019～2023 年度冬季(1～3 月)の日平均水温と直近 15 年間の平年値との差の推移

(2) 過去の知見も加味したへい死予測技術の再検証

本試験結果のデータを基にした有効なへい死予測技術を導き出せなかったことから、過去の知見を含めて翌年 4 月における半成員のへい死率と関連のある要素について再検証を行い、得られた要素を基にへい死予測技術の検証を試みた。なお、2021 年度のへい死予測技術の検証時において、稚貝のへい死率が分散直後では主に夏季の水温状況、成長後では主に冬季の水温状況の影響を強く受けており、へい死率の予測は、それぞれの影響を分けて解析する必要があることを示している⁴⁾。そのため、へい死率を「分散直後」と「成長後」の 2 つに区分し、この内、本研究では「分散直後におけるへい死予測技術」について検討を行い、毎年 10 月に実施している秋季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の 2001～2023 年の分散済稚貝のへい死率を基に、外ヶ浜漁協から平内町漁協浦田支所までを西湾、平内町漁協小湊支所から脇野沢村漁協までを東湾と定義し、それぞれ各年のへい死率の平均値を求めて目的変数(Y)とした。また、水温状況について、西湾では青森ブイ 15m 層、東湾では東湾ブイ 15m 層の 2001～2023 年の 7～10 月の日平均水温と直近 15 年間の平年値との偏差の積算値をそれぞれ求め、負の値の年を冬季水温が平年よりも低い年、正の値の年を平年よりも高い年と定義した。

検証の結果、西湾では青森ブイ 15m 層における 9 月の日平均水温と直近 15 年間の平年値との偏差の積算値(a)、秋季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の稚貝分散時のパールネット 1 段当りの収容枚数の西湾平均値(b)、同調査の稚貝分散時の異常貝率の西湾平均値(c)を説明変数とする下記の重回帰式が得られた。また、東湾では東湾ブイ 15m 層における 9 月の日平均水温と直近 15 年間の平年値との偏差の積算値(a)、東湾ブイにおける 7 月の東風 10m/s 以上の出現頻度(b)、秋季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の稚貝分散時のパールネット 1 段当りの収容枚数の東湾平均値(c)を説明変数とする下記の重回帰式が得られた。

$$\text{西湾} : Y = 0.068 \times a + 0.379 \times b + 0.621 \times c - 4.166$$

$$\text{東湾} : Y = 0.042 \times a - 0.183 \times b + 0.873 \times c - 12.165$$

また、実測値と予測値の相関係数 r は、西湾では 0.718、東湾では 0.634 であり、いずれも有意水準 1% 以下で有意な正の相関が認められた(図 24、25)ほか、いずれの回帰式も自由度調整済み決定係数(補正 R²)が西湾で 0.493、東湾で 0.376 であったことから、得られた重回帰式はいずれも分散直後のへい死における有効なへい死予測式であると判断した。

以上より、へい死予測技術の内、分散直後のへい死におけるへい死予測技術を開発した。

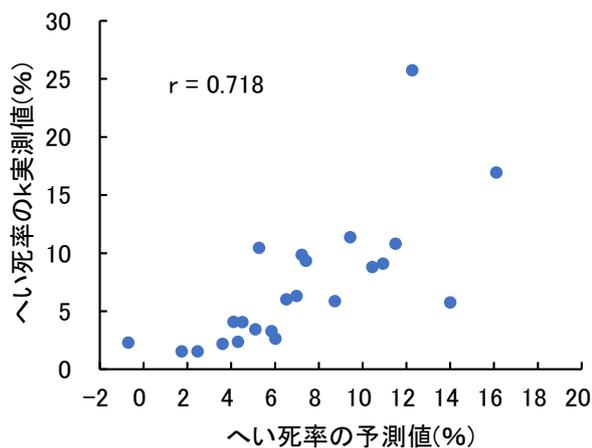


図 24. 西湾における分散直後のへい死率の実測値と予測値の関係

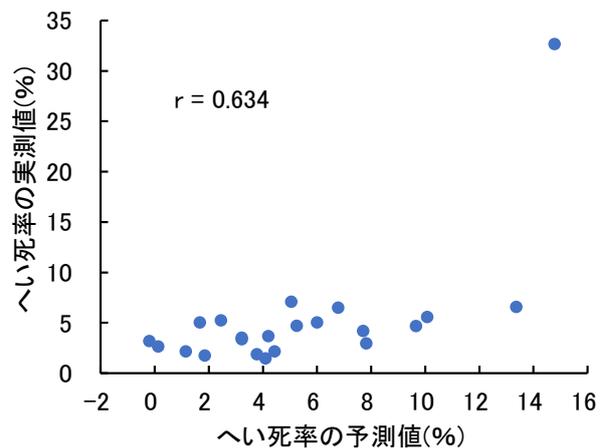


図 25. 東湾における分散直後のへい死率の実測値と予測値の関係

(3) 生産量予測技術の検証

本試験から得られた「分散直後におけるへい死予測技術(以下、分散直後のへい死予測式)」、昨年度試験から得られた「成長後におけるへい死予測技術(以下、成長後のへい死予測式)」、及び既存の「成長予測技術¹⁾(以下、成長予測式)」をもとに、生産量予測技術の検証を試みた。

検証の結果、前述の各予測式に加え、「稚貝分散時のパールネット1段当りの収容密度」、「稚貝分散時のパールネット1連当りの段数」、「稚貝分散時に作成したパールネットの総連数」を説明変数とする以下の予測式が得られ、生産量予測技術を開発した。

$$Y = [(a \times b \times c) \times (1 - \text{分散直後のへい死予測式}/100)] \times (1 - \text{成長後のへい死予測式}/100) \times \text{成長予測式}/1000$$

Y: 春季のホタテガイ半成貝生産量(kg)

a: 稚貝分散時のパールネット1段当りの収容密度(個体)

b: 稚貝分散時のパールネット1連当りの段数(段)

c: 稚貝分散時に作成したパールネットの総連数(連)

分散直後のへい死予測式:

$$\text{西湾: } Y = 0.068 \times a + 0.379 \times b + 0.621 \times c - 4.166$$

a: 青森ブイ15m層における9月の日平均水温と直近15年間の平年値との偏差の積算値

b: 秋季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の稚貝分散時のパールネット1段当りの収容枚数の西湾平均値

c: 秋季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の稚貝分散時の異常貝率の西湾平均値

$$\text{東湾: } Y = 0.042 \times a - 0.183 \times b + 0.873 \times c - 12.165$$

a: 東湾ブイ15m層における9月の日平均水温と直近15年間の平年値との偏差の積算値

b: 東湾ブイにおける7月の東風10m/s以上の出現頻度

c: 秋季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の稚貝分散時のパールネット1段当りの収容枚数の東湾平均値

成長後のへい死予測式:

$$\text{西湾: } Y = -0.123 \times a + 0.136 \times b - 4.920$$

a: 青森ブイ15m層における1、2月の日平均水温と直近15年間の平年値との偏差の積算値

b : 気象庁の蟹田観測地点における 2、3 月の西風 10m/s 以上の出現頻度

東湾 : $Y = -0.046 \times a + 0.095 \times b + 0.035 \times c - 4.548$

a : 東湾ブイ 15m 層における 1、2 月の日平均水温と直近 15 年間の平年値との偏差の積算値

b : 東湾ブイにおける 3 月の西風 15m/s 以上の出現頻度

c : 平館ブイにおける 2、3 月の 0.2m/s 以上の南下流の出現頻度

成長予測式 : $Y = 1.21 \times S - 0.413 \times De - 0.324 \times Da + 2.36 \times T + 20.3 \times C - 4.38$

Y : 春季の半成貝 1 個体当りの全重量 (g)

S : 稚貝分散時の稚貝 1 個体当りの殻長 (mm)

De : 稚貝分散時のパールネット 1 段当りの収容密度 (個体)

Da : 9 月 1 日から稚貝分散実施日までの日数 (日)

T : 12 月～翌年 3 月の中層 (10～15m 層) の平均水温 (°C)

C : 10 月～翌年 3 月の水深 10m 層のクロロフィル a 量の平均値 (mg/m³)

文 献

- 1) 山内弘子・吉田達 (2019) ほたてがい輸出拡大推進事業(漁場環境とホタテガイの成長に関する研究). 平成29年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 308-316.
- 2) 小泉慎太郎・吉田達 (2021) ICTを利用したホタテガイ養殖作業の効率化技術の開発事業 ホタテガイ半成貝のへい死予測技術開発に関する研究. 2019年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 335-349.
- 3) 小泉慎太郎・小谷健二・吉田雅範 (2022) ICTを利用したホタテガイ養殖作業の効率化技術の開発事業 ホタテガイ半成貝のへい死予測技術開発に関する研究. 2020年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 343-354.
- 4) 小谷健二・山内弘子・吉田雅範 (2023) ICTを利用したホタテガイ養殖作業の効率化技術の開発事業 ホタテガイ半成貝のへい死予測技術開発に関する研究. 2021年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 299-307.
- 5) 小谷健二・山内弘子・吉田雅範 (2024) ICTを利用したホタテガイ養殖作業の効率化技術の開発事業 ホタテガイ半成貝のへい死予測技術開発に関する研究. 2022年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 316-326.