

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

2022 年 10 月 1 日～2023 年 1 月 19 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、2022 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、2022 年に発生した採苗不振により奥内では晩期のみ、茂浦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、

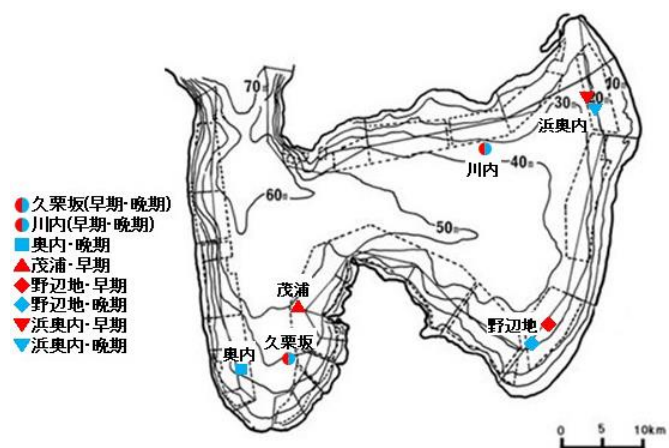


図 1. 各試験地区の養殖施設位置図

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、久栗坂と川内については、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 段で錘を付けなかったもの、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 2023 年 4 月(奥内は 20 日、野辺地は 12、25 日、浜奥内は 7、16 日)、5 月 17 日(茂浦)、6 月(久栗坂は 6 日、川内は 2 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)×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)	幹網深度 (m)	幹網長 (m)	錨網長 (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
	晩期								尺3	2	2	
川 内	早期	33	15	200	100	90	1	40kg・4箇所	尺3	1	2	47
	晩期								尺3	2	2	
奥 内	晩期	35	15	200	100	60	1	無	尺1 尺2+尺1	1 各1	1 2	245
茂 浦	早期	50	28	200	150	90	2	無	尺3 尺3+尺2	1 各1	3 2	1,340
野辺地	早期	29	11	200	100	80	2	無	尺1 尺3	1 1	4 2	570
	晩期	26	11	200	100	80	2	無	尺1 尺3+尺2	1 各1	4 2	540
浜奥内	早期	27	10	200	100	125	1	80kg・5箇所	尺2 8寸	1 1	2 3	700
	晩期	27	10	200	100	125	1	80kg・5箇所	尺2 8寸	1 1	2 3	700

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	2022年8月22日	50	2022年10月13日	25	7.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
	晩期	2022年8月22日	50	2023年1月19日	25	10.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
川 内	早期	2022年8月8日	50	2022年10月14日	25	6.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
	晩期	2022年8月8日	50	2023年1月19日	25	9.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
奥 内	晩期	2022年8月15日	100	2022年11月23日	12	－	目合3分、8段、ラッセル	鉛50匁
茂 浦	早期	2022年7月29日	120	2022年10月1日	16	4.5分	目合3分、9段、ラッセル	最下段太枠
野辺地	早期	2022年8月5日	80	2022年10月9日	15	17mm	目合2分、10段、ラッセル	無
	晩期	2022年8月25日	80	2022年12月10日	20	8.5分	目合2分、8段、ラッセル	無
浜奥内	早期	2022年8月11日	70	2022年10月9日	15	4.0分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
	晩期	2022年8月7日	70	2022年11月12日	20	5.0分	目合3.5分、10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17.4～47.1mmであり、奥内及び茂浦を除く同地区の殻長を比較すると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、奥内晩期が8.0%、川内晩期及び野辺地晩期が10.0%と他の地区よりも高い値を示した。へい死率は久栗坂晩期が2.8%と最も高く、次いで浜奥内晩期が1.4%と高かった。

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	2022年10月13日	21.6	2.1	0.0	0.0
	晩期	2023年1月19日	47.1	3.3	4.0	2.8
川 内	早期	2022年10月14日	21.4	1.6	0.0	0.0
	晩期	2023年1月19日	46.2	3.8	10.0	1.3
奥 内	晩期	2022年11月23日	26.1	2.7	8.0	0.0
茂 浦	早期	2022年10月1日	17.4	1.8	4.0	0.0
野辺地	早期	2022年10月9日	20.5	1.7	0.0	0.0
	晩期	2022年12月10日	35.2	3.6	10.0	0.0
浜奥内	早期	2022年10月9日	19.7	2.0	2.0	0.8
	晩期	2022年11月12日	27.6	2.7	2.0	1.4

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 19.9℃、晩期が 8.7℃、川内早期が 19.8℃、晩期が 6.9℃、奥内晩期が 13.7℃、茂浦早期が 20.6℃、野辺地早期が 20.7℃、晩期が 11.2℃、浜奥内早期が 20.7℃、晩期が 15.7℃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。

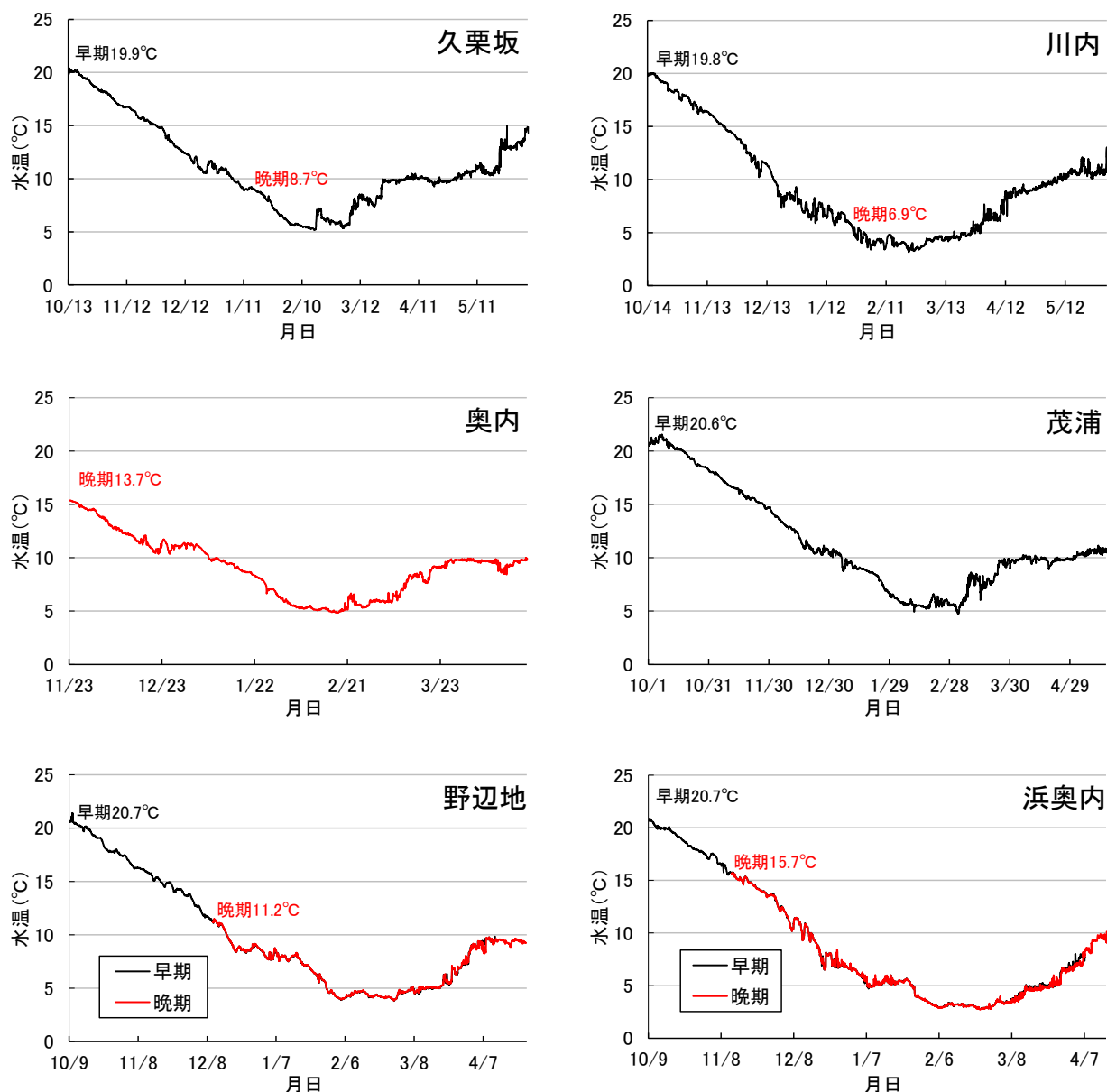


図 2. 試験期間中の水温の推移 (数字は試験区作成時の水温)

(2) 養殖施設の幹綱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綱の深度及び鉛直方向の加速の推移を図 3～10 に示した。なお、久栗坂及び川内については加速度計のバッテリーがなくなり、それぞれ 2023 年 5 月 27 日 6 時 30 分以降、2023 年 5 月 28 日 7 時 50 分以降の観測データを収集できず、野辺地については早期用と晩期用の加速度をそれぞれ晩期用と早期用の他の機器とともにまとめて垂下用のロープに固定したことにより、晩期用の加速度計において機器設置時から 2022 年 11 月 10 日 4 時以前までの早期の養殖施設の観測データを収集することができず、また、晩期用の深度計において機器の不調により、2023 年 4 月 8 日 20 時以降の早期の養殖施設の観測データを収集することができなかったため、いずれも欠測とした。

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、幹綱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綱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、幹綱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。幹綱鉛直方向の加速度の値別出現回数を図 11 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、浜奥内晩期で加速度 $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$ 以上の出現回数が多かったが、他の地区では稚貝分散の時期による明瞭な違いは見られなかった。

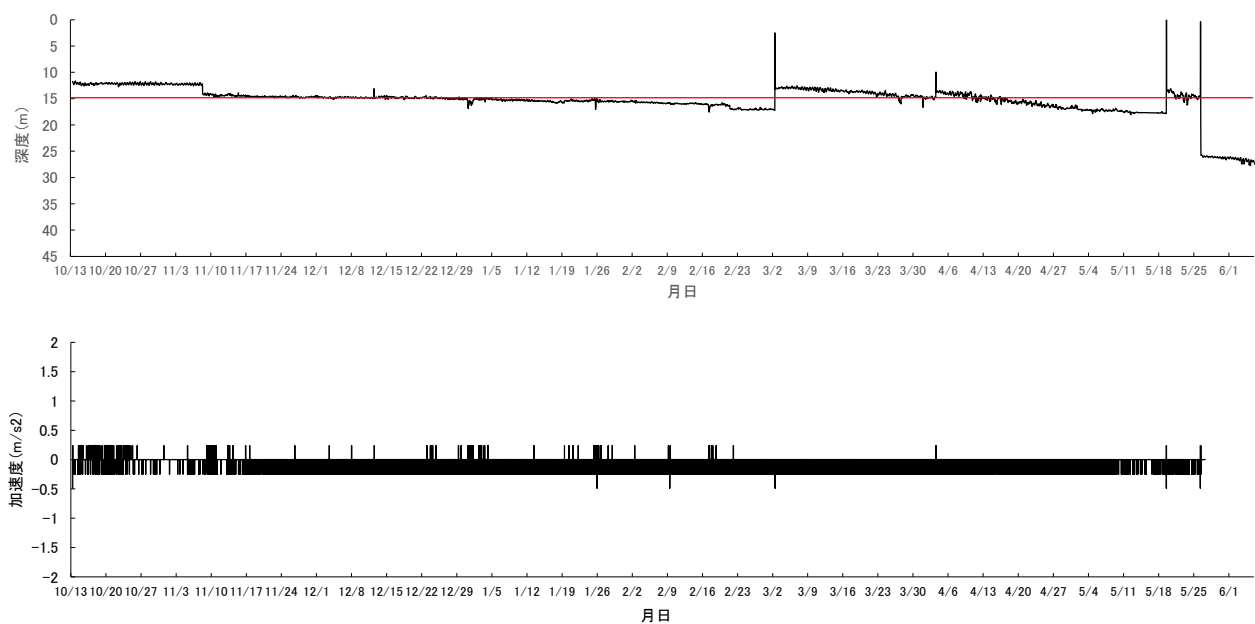


図 3. 久栗坂の深度及び鉛直方向の加速度の推移(赤線は設定した幹綱深度)

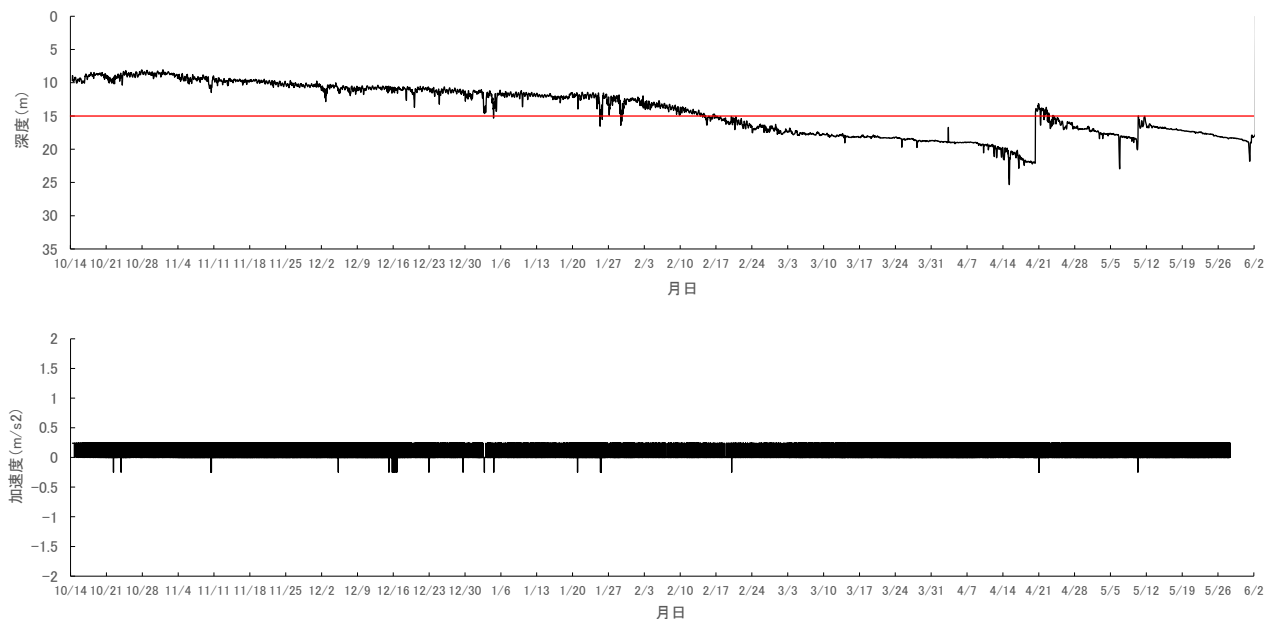


図 4. 川内の深度及び鉛直方向の加速度の推移(赤線は設定した幹綱深度)

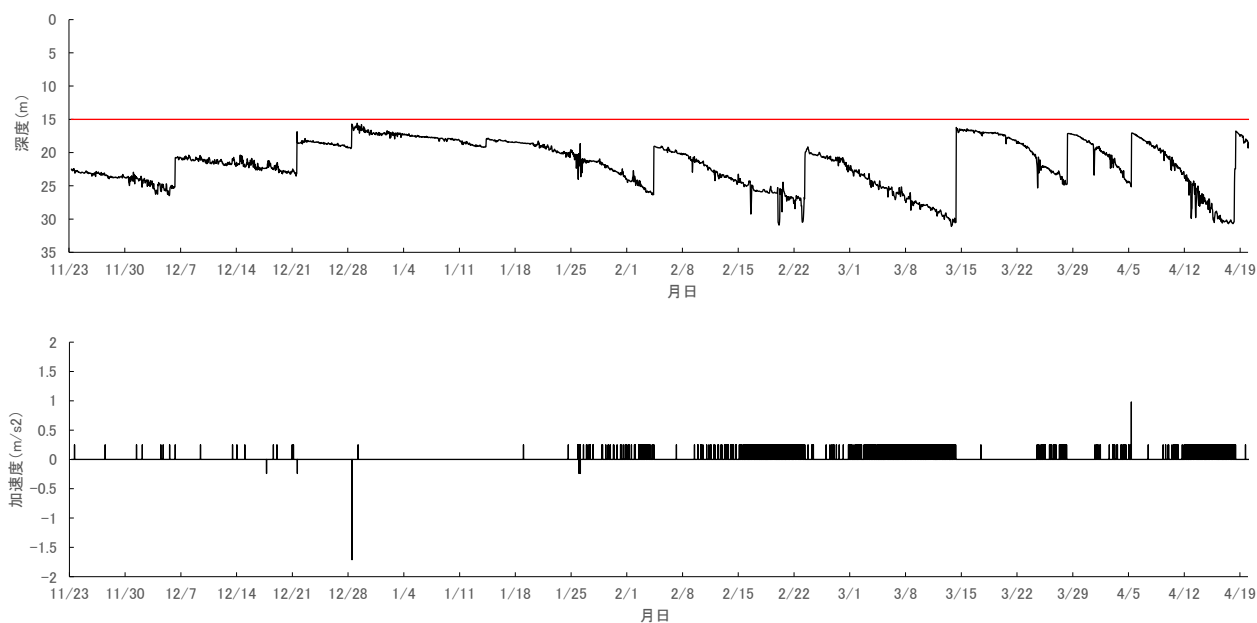


図 5. 奥内晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

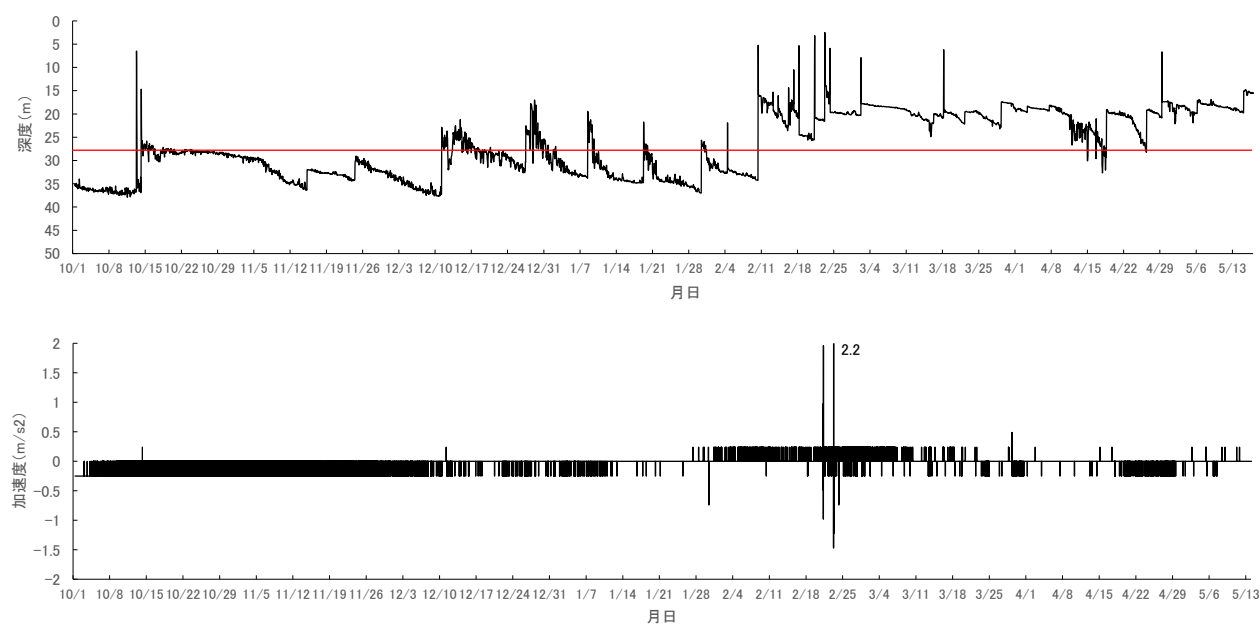


図 6. 茂浦早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

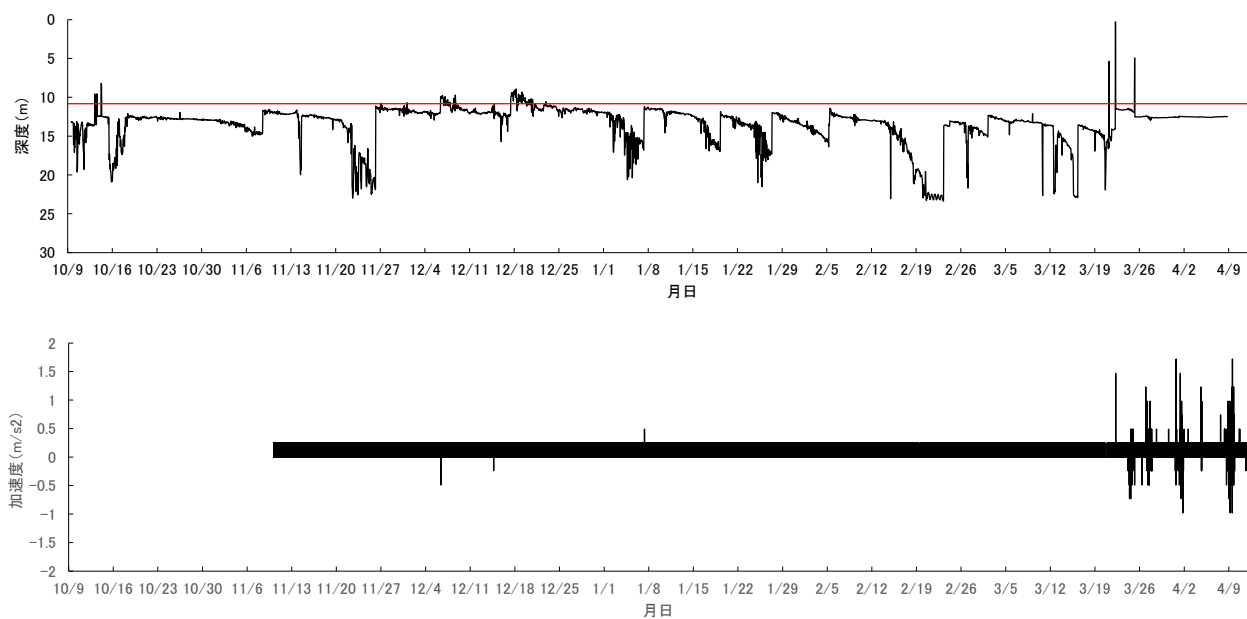


図 7. 野辺地早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

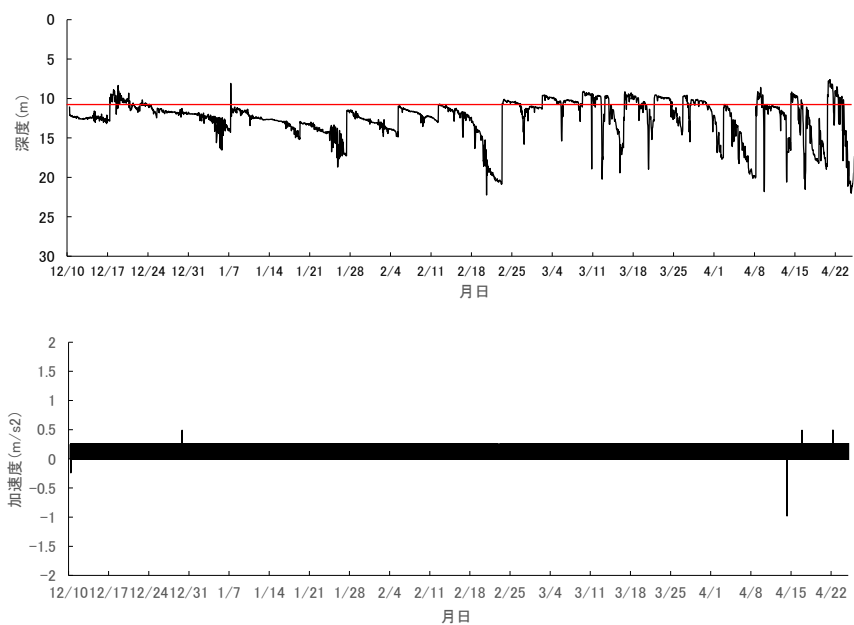


図 8. 野辺地晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

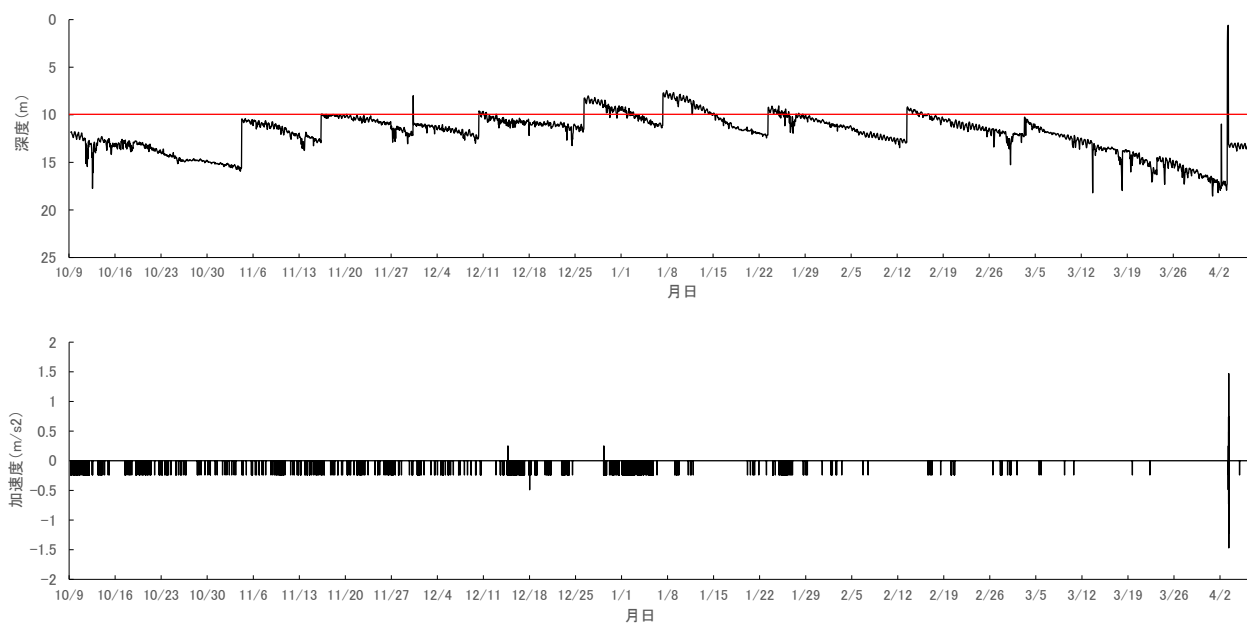


図 9. 浜奥内早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移(赤線は設定した幹綱深度)

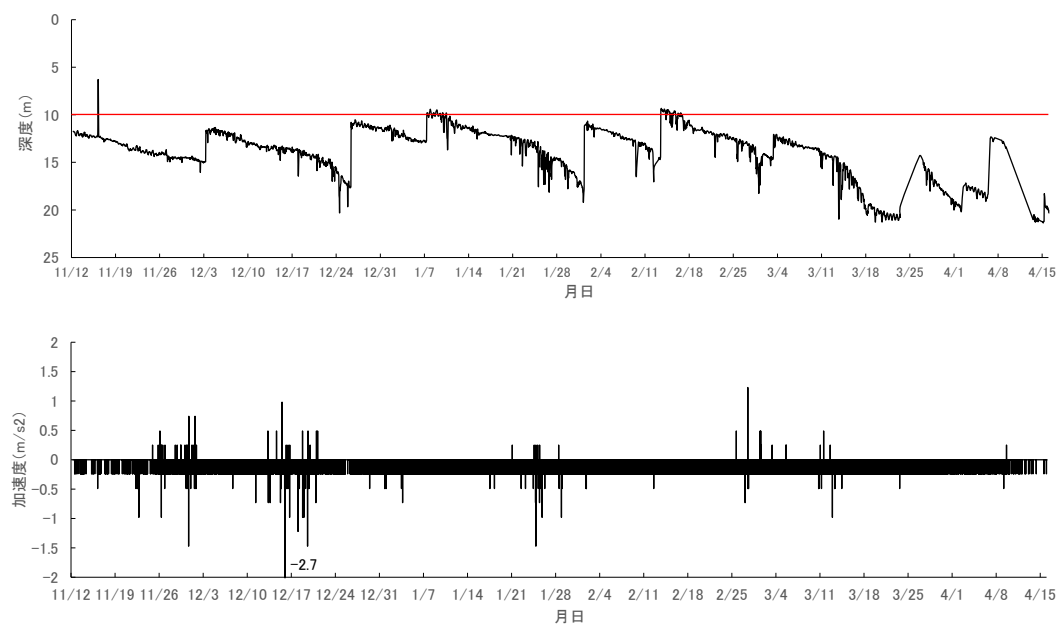


図 10. 浜奥内晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移(赤線は設定した幹綱深度)

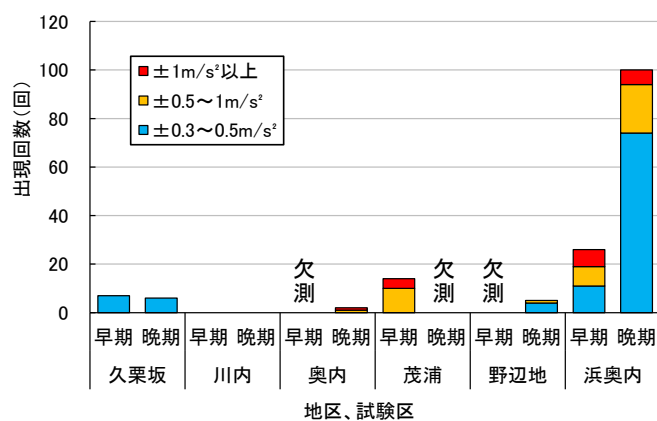


図 11. 試験期間中における幹綱鉛直方向の加速度の値別出現回数

4. 試験終了時

試験終了時となる 2023 年 4～6 月のホタテガイ測定結果を表 4、図 12～16 に示した。殻長は 68.1～95.1mm、全重量は 32.9～76.9g、軟体部重量は 13.2～31.9g 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晩期より早期の方が育成が良かった。異常貝率は 0.0～13.3% であり、奥内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 0.0～12.2%、成長後のへい死率は 0.0～19.0% だった。茂浦早期のへい死率が 19.0% と高い値を示したが、これは、12～2 月にかけて玉付けによる深度変化が高頻度で確認された(図 6)ことから、養殖施設の上げ下げ時に貝同士のぶつかり合いやかみ合わせが発生し、へい死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13日	95.1	5.2	76.9	11.2	31.9	5.2	6.7	3.7	4.6	8.3	10.9
	晩期	1月19日	77.6	5.0	45.6	7.5	18.3	3.9	3.3	6.6	0.0	6.6	31.9
川内	早期	10月14日	85.3	4.1	55.4	7.4	21.9	3.7	0.0	3.7	4.5	8.2	14.9
	晩期	1月19日	73.9	4.9	37.8	6.8	14.4	2.9	10.0	0.3	3.9	4.2	30.8
奥内	晩期	11月23日	71.6	6.4	34.2	8.0	14.6	3.4	13.3	3.2	8.9	12.1	15.5
茂浦	早期	10月1日	77.6	8.5	42.8	12.0	17.7	5.3	3.3	0.0	19.0	19.0	13.4
	晩期	10月9日	74.2	4.7	38.5	6.2	16.5	3.1	3.3	8.7	0.5	9.2	19.6
野辺地	早期	10月9日	74.2	4.7	38.5	6.2	16.5	3.1	3.3	8.7	0.5	9.2	19.6
	晩期	12月10日	68.1	5.9	32.9	7.6	13.7	3.5	3.3	1.1	1.5	2.6	33.4
浜奥内	早期	10月9日	76.9	4.2	45.6	5.7	20.3	3.1	0.0	12.2	4.3	16.5	17.4
	晩期	11月12日	69.1	5.5	32.9	6.6	13.2	3.0	0.0	2.8	0.0	2.8	17.6

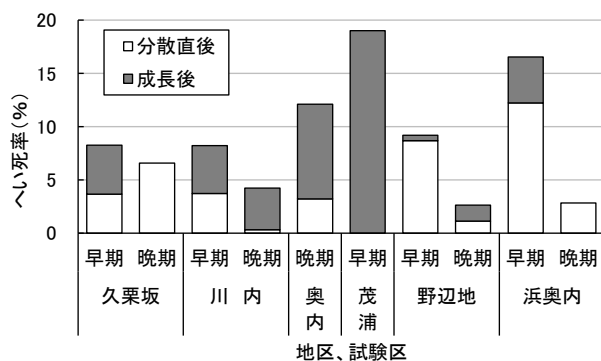


図 12. 試験終了時におけるへい死率

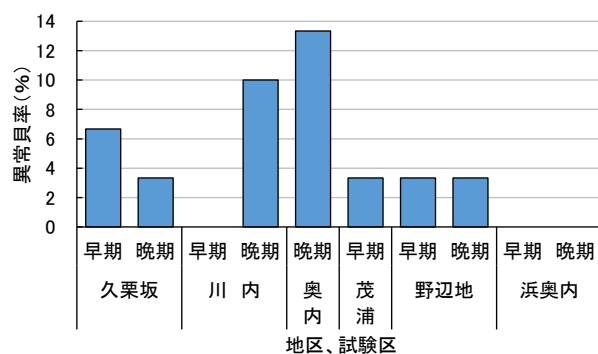


図 13. 試験終了時における異常貝率

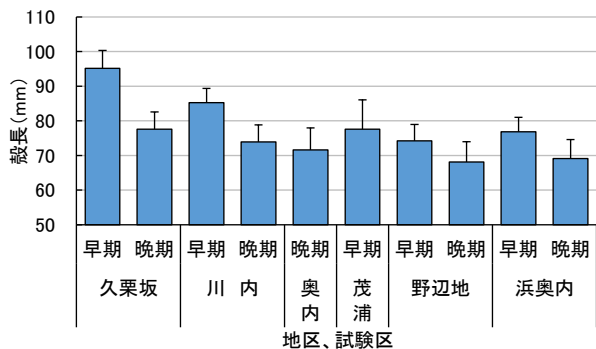


図 14. 試験終了時における殻長(バーは標準偏差)

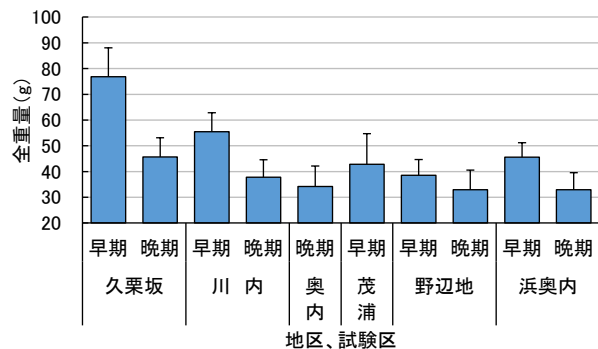


図 15. 試験終了時における全重量(バーは標準偏差)

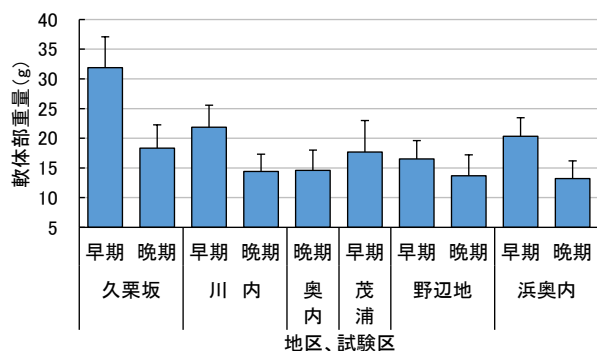


図 16. 試験終了時における軟体部重量 (バーは標準偏差)

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 17～19 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、2019～2021 年度に行った同様の試験²⁻⁴⁾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、野辺地早期の加速度データについては、試験期間中に長期間の欠測機関が存在するため、検討時の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 3 年の試験と同様に 2022 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 20、21) 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 3 年の試験²⁻⁴⁾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。

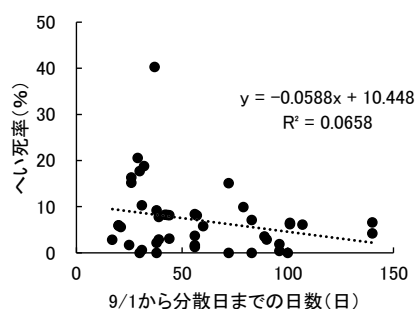


図 17. 稚貝分散時期とへい死率の関係

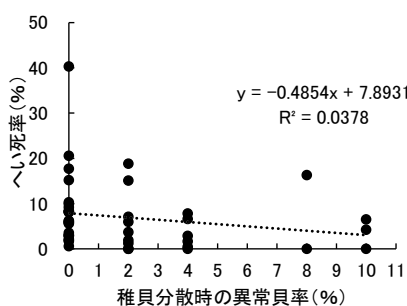


図 18. 稚貝分散時の異常貝率とへい死率の関係

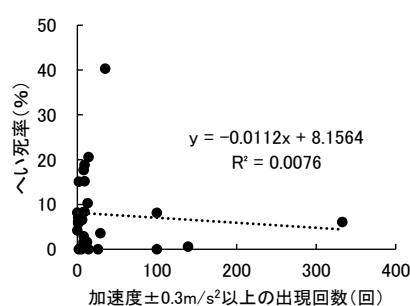


図 19. 養殖施設の加速度とへい死率の関係

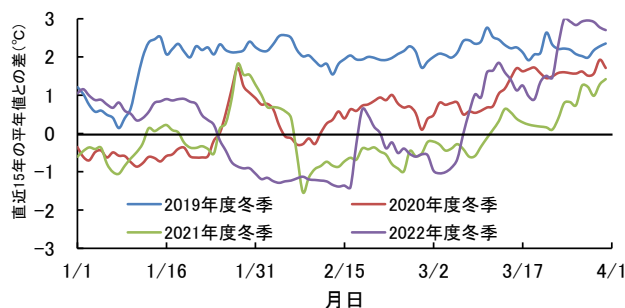


図 20. 青森湾 15m 層における 2019～2022 年度冬季(1～3 月)の日平均水温と直近 15 年間の平年値との差の推移

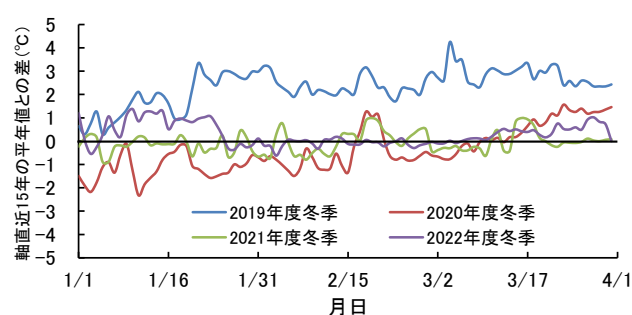


図 21. 東湾 15m 層における 2019～2022 年度冬季(1～3 月)の日平均水温と直近 15 年間の平年値との差の推移

(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、昨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、それぞれのへい死率を独立して解析する必要があることを示している⁴⁾。このことから、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「成長後におけるへい死予測技術」について検討を行い、毎年 5 月に実施している春季陸奥湾養殖ホタテガイ実態調査の 2001～2021 年のへい死率を基に、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、西湾では青森湾 15m 層、東湾では東湾湾 15m 層の 2001～2021 年の 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。

検討の結果、西湾、東湾いずれも冬季水温が平年よりも低い年において、西湾では青森湾 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(a)、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(b)、東湾では東湾湾 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(a)、東湾湾における 3 月の西風 15m/s 以上の出現頻度(b)、平館湾における 2、3 月の 0.2m/s 以上の南下流の出現頻度(c)を説明変数とする下記の重回帰式が得られた。

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

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

また、実測値と予測値の相関係数 r は、西湾では 0.845、東湾では 0.968 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 22、23)ほか、自由度調整済み決定係数(補正 R^2)は西湾で 0.714、東湾で 0.929 といずれの回帰式も当てはまりがよいことから、得られた重回帰式はいずれも成長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。一方、冬季水温が平年並みから平年よりも高い年においては、前述の本試験の結果と概ね同様に、へい死率が 10% 未満と低く、またへい死率の差も小さかったことからへい死予測は不要であると判断した。

以上より、へい死予測技術の内、成長後のへい死におけるへい死予測技術を開発した。残りの分散直後のへい死についても検証を行い、そのへい死予測技術を開発する必要がある。

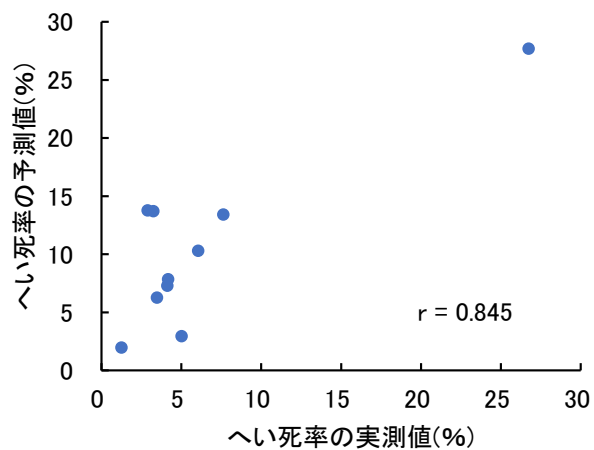


図 22. 西湾の冬季水温が平年よりも低い年における成長後のへい死率の実測値と予測値の関係

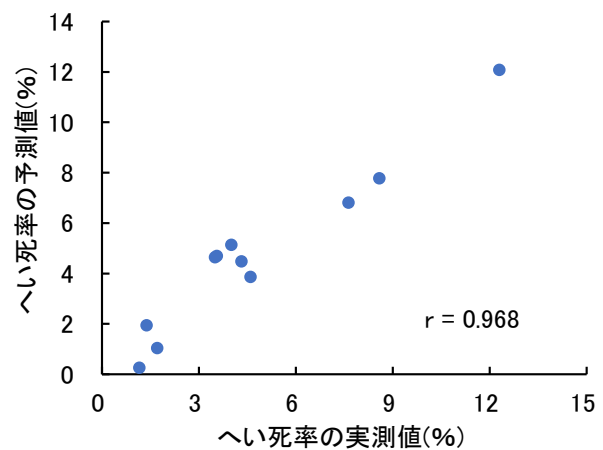


図 23. 東湾の冬季水温が平年よりも低い年における成長後のへい死率の実測値と予測値の関係

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 ホタテガイ半成員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 ホタテガイ半成員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 ホタテガイ半成員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．