

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・吉田雅範

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

2021年9月18日～12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、2021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「晚期」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、HOBO 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、HOBO 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、早期と晚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2022年4月(野辺地は11日、浜奥内は13日、久栗坂、川内は18日、茂浦は19日、奥内は22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、 $(分散直後の死貝数) \div (生貝数 + 分散直後の死貝数 + 成長後の死貝数) \times 100$ で求め、成長後のへい死率は、 $(成長後の死貝数) \div (生貝数 + 分散直後の死貝数 + 成長後の死貝数) \times 100$ で求めた。

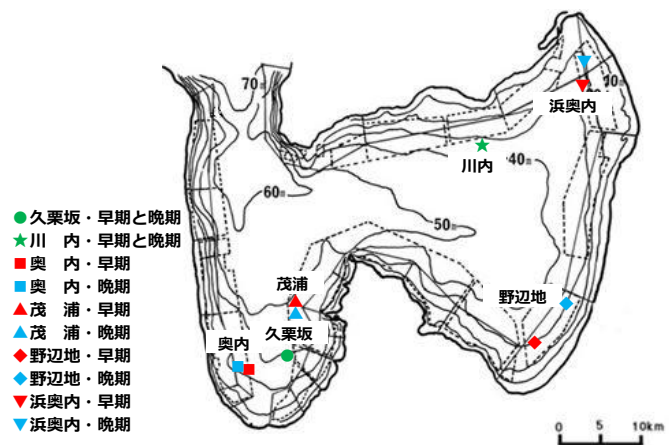


図1. 各試験地区の養殖施設位置図

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
	尺3								2	2		
川内	早期	33	15	200	100	90	1	40kg・4箇所	尺3	1	2	47
	尺3								2	2		
奥内	早期	34	15	200	100	60	1	無	尺2	1	3	505
	尺1 尺2+尺1								2 各1	1 2		
茂浦	早期	50	17	200	200	90	2	無	尺3	1	5	1,330
	尺3 尺3+尺2								1 各1	3 2		
野辺地	早期	32	13	200	100	80	1	無	尺3 尺2 尺1	2 2 1	1 1 4	540
	尺2								2	2		
野辺地	晚期	30	12	200	100	80	2	無	尺2 尺1	1 1	3 1	140
	尺2								1	3		
浜奥内	早期	27	10	200	100	125	1	80kg・5箇所	尺2 8寸	1 1	2 3	600
	尺2								1	2		
浜奥内	晚期	27	10	200	100	125	1	80kg・5箇所	尺2 8寸	1 1	2 3	500
	尺2								1	3		

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	2021年7月16日	50	2021年9月21日	25	7.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
	晚期	2021年7月16日	50	2021年12月6日	25	9.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
川内	早期	2021年7月19日	50	2021年9月22日	25	7.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
	晚期	2021年7月19日	50	2021年12月6日	25	9.0分	目合3分、10段、ラッセル	無
奥内	早期	2021年7月24日	200	2021年9月27日	30	16mm	目合3分、8段、ラッセル	鉛50匁
	晚期	2021年8月4日	150	2021年12月11日	25	22mm	目合2分、8段、ラッセル	鉛50匁
茂浦	早期	2021年7月17日	150	2021年9月18日	22	5.0分	目合3分、9段、ラッセル	最下段太枠
	晚期	2021年7月23日	130	2021年11月19日	22	7.0分	目合2分、9段、ラッセル	最下段太枠
野辺地	早期	2021年7月30日	80	2021年10月9日	18	7.5分	目合2分、10段、ラッセル	無
	晚期	2021年8月6日	80	2021年11月30日	20	10分	目合2分、8段、ラッセル	鉛75匁
浜奥内	早期	2021年7月21日	70	2021年9月21日	15	7.0分	目合4分、8段、蛙又	鉛100匁
	晚期	2021年7月21日	70	2021年10月27日	15	9.0分	目合4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19.9~45.0mmであり、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、奥内では早期が8.0%、奥内晚期が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4.9%と最も高く、次いで奥内晚期が4.5%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	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	2021年9月21日	27.2	2.4	0.0	0.0
	2021年12月6日	43.2	3.7	2.0	0.0
川内	2021年9月22日	27.9	2.6	0.0	0.0
	2021年12月6日	45.0	4.0	4.0	2.2
奥内	2021年9月27日	21.4	2.2	8.0	4.9
	2021年12月11日	27.9	2.5	10.0	4.5
茂浦	2021年9月18日	19.9	3.5	4.0	0.5
	2021年11月19日	27.4	3.2	0.0	3.7
野辺地	2020年10月15日	29.7	3.3	0.0	0.0
	2021年11月30日	43.2	4.6	0.0	0.0
浜奥内	2021年9月21日	30.5	2.4	2.0	0.0
	2021年10月27日	36.2	3.1	2.0	0.0

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 21.7℃、晚期が 15.5℃、川内早期が 22.6℃、晚期が 11.8℃、奥内早期が 21.8℃、晚期が 13.7℃、茂浦早期が 21.8℃、晚期が 16.6℃、野辺地早期が 20.5℃、晚期が 13.4℃、浜奥内早期が 21.8℃、晚期が 17.9℃ であり、いずれも作成時の水温が稚魚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。

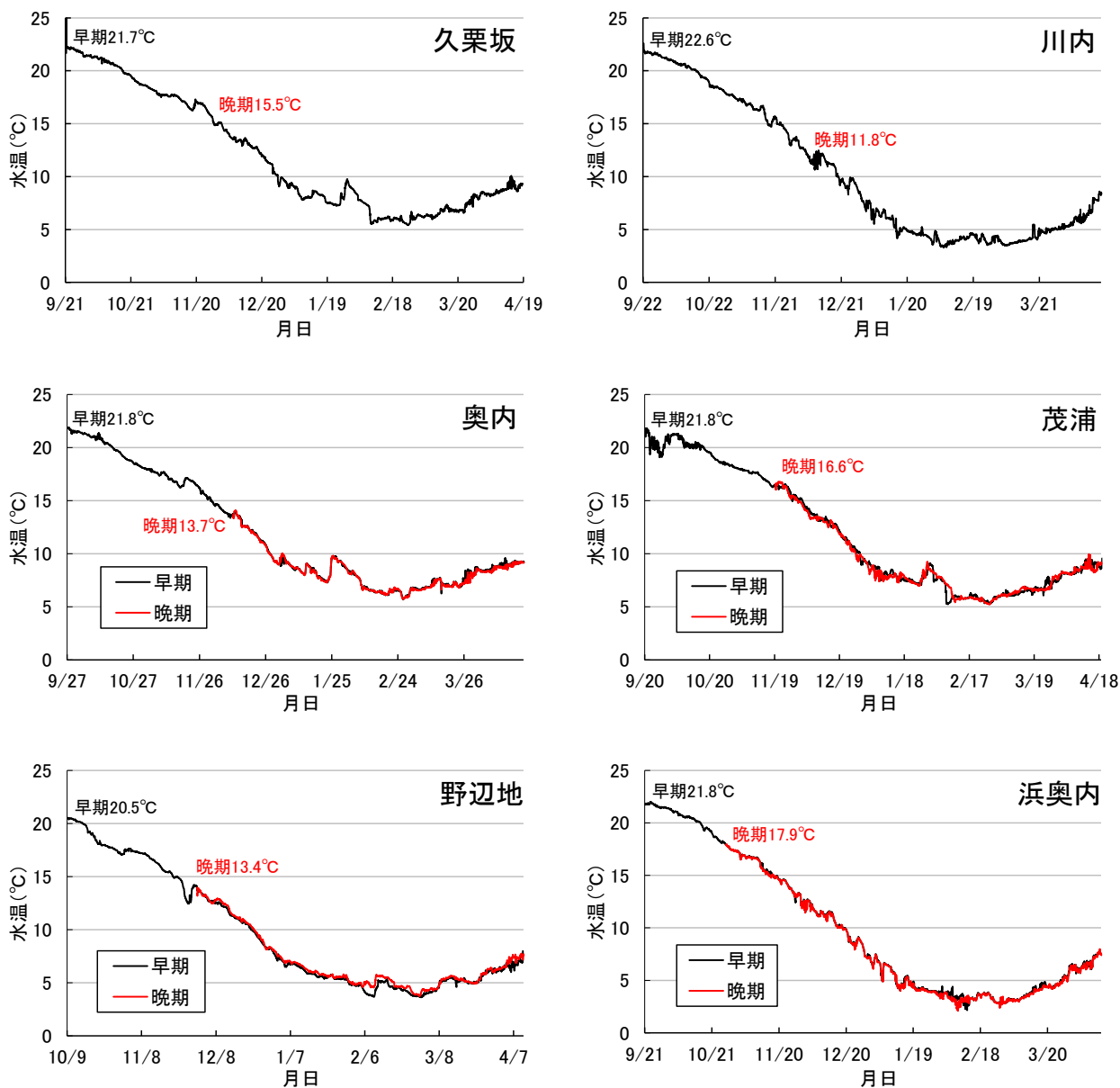


図 2. 試験期間中の水温の推移 (数字は試験区作成時の水温)

(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の推移を図 3~8 に示した。なお、久栗坂については深度計のバッテリー電圧が低下し、2022 年 3 月 1 日 22 時から試験終了までの深度が測定できず、茂浦晚期については深度計の通信機能が故障し、機器から観測データを収集することができなかつたため欠測とした。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

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。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。

試験期間中における幹綱鉛直方向の加速度 $\pm 0.3\text{m/s}^2$ 以上の出現回数を図 9、使用した加速度を室内で静置した状態で数日間稼働した際の鉛直方向の加速度の 2 パターンの推移を図 10 に示した。なお、茂浦晩期については加速度計の基盤部分が腐食し、データを収集できなかったため欠測とし、茂浦早期についてはデータを収集できたものの、晩期と同様に加速度計の基盤部分が腐食しており、それ以降、加速度計が稼働しなくなったため、前述の室内での動作検証を行わなかった。加速度 $\pm 0.3\text{m/s}^2$ 以上の出現回数は、奥内及び川内では 2~616 回であるのに対し、その他の試験地区の試験区では 1,485~16,343 回と著しく多く出現していた(図 9)が、いずれも波浪の影響により振動を受けやすい調整玉直下から距離を離して加速度計を設置していた。一方、前年に行った同様の試験(以下、前年試験)において調整玉直下に加速度計を設置した試験区では $\pm 0.3\text{m/s}^2$ 以上の出現回数が著しく多く出現したが、調整玉から距離を離して設置したその他の試験区では $\pm 0.3\text{m/s}^2$ 以上の出現がほとんどなかった³⁾。また、各試験区の使用した加速度計を室内で静置した状態で数日間稼働させたところ、奥内早期及び晩期、川内早期及び晩期、浜奥内晩期の加速度計が不規則にエラー値を観測していた(図 10)。これらのことから、本試験で使用した加速度計はいずれも何らかの原因により不良となっていた可能性が考えられたため、後述のへい死予測技術の解析時のデータとして不適格と判断し、使用しなかった。

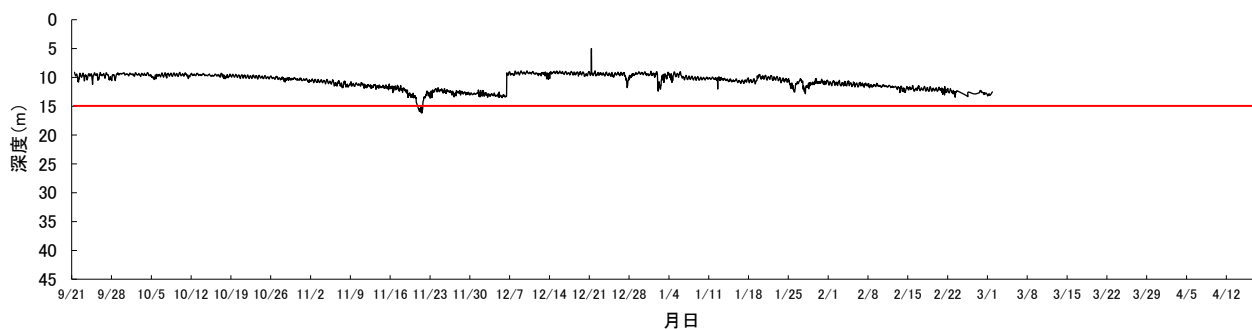


図 3. 久栗坂の深度の推移(赤線は設定した幹綱深度)

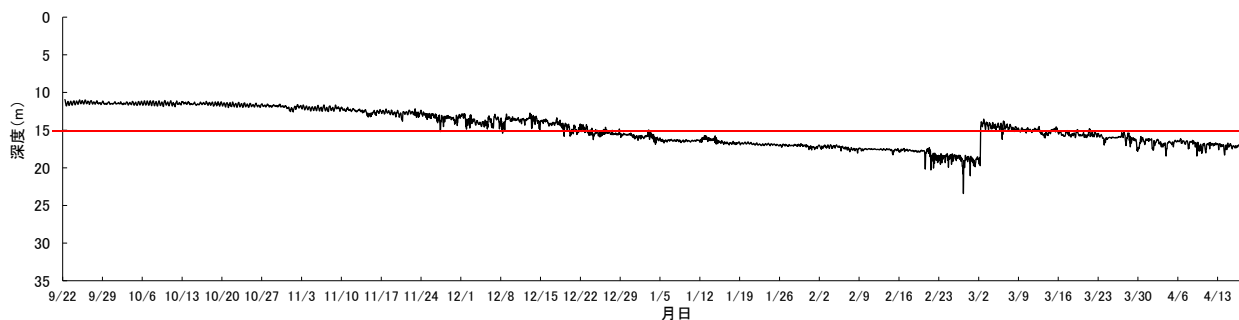


図 4. 川内の深度の推移(赤線は設定した幹綱深度)

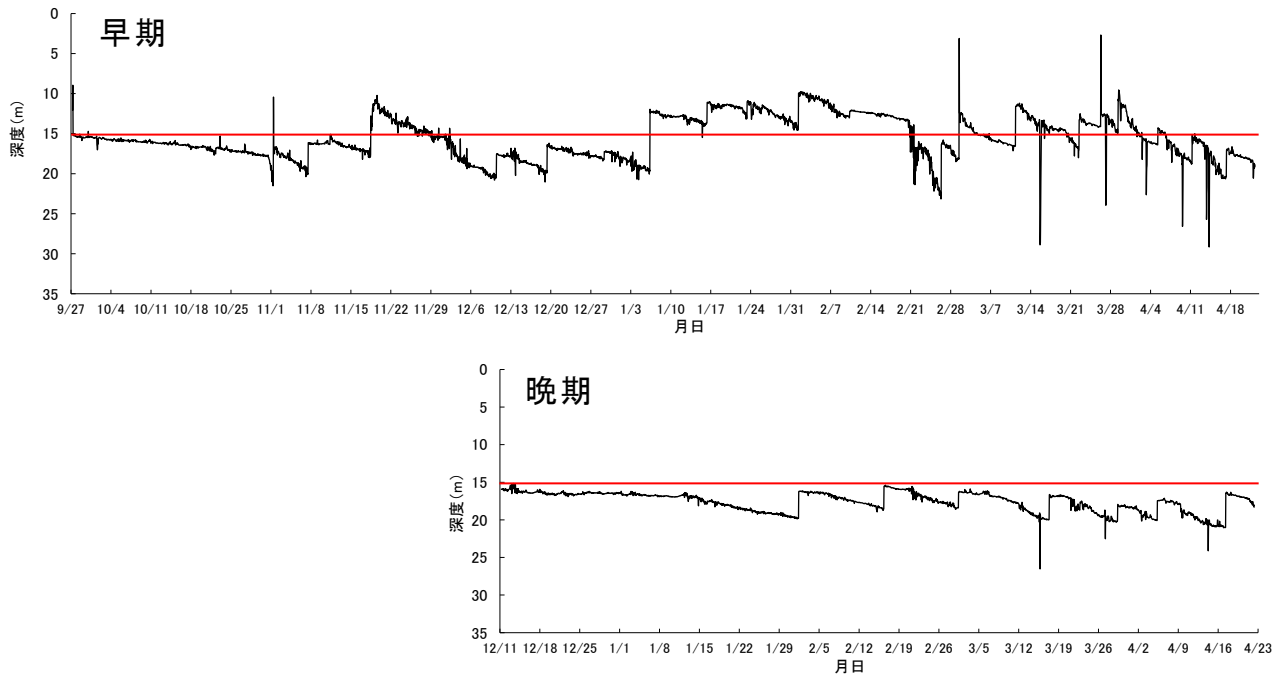


図 5. 奥内の深度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

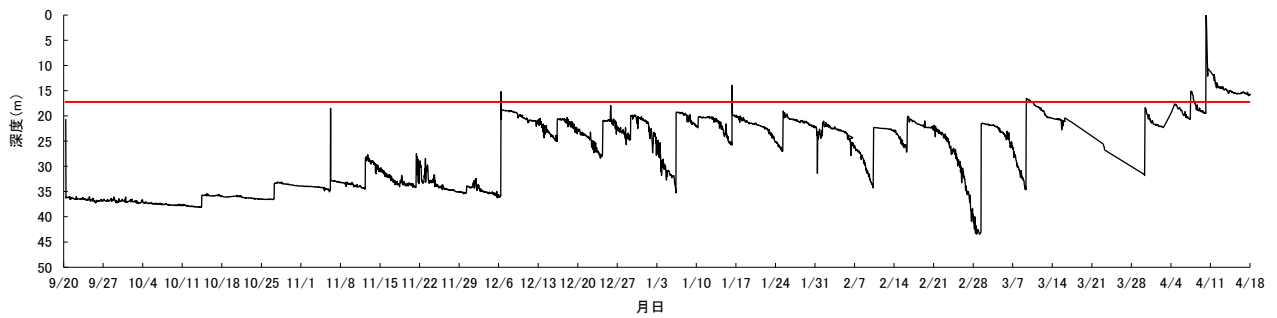


図 6. 茂浦早期の深度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

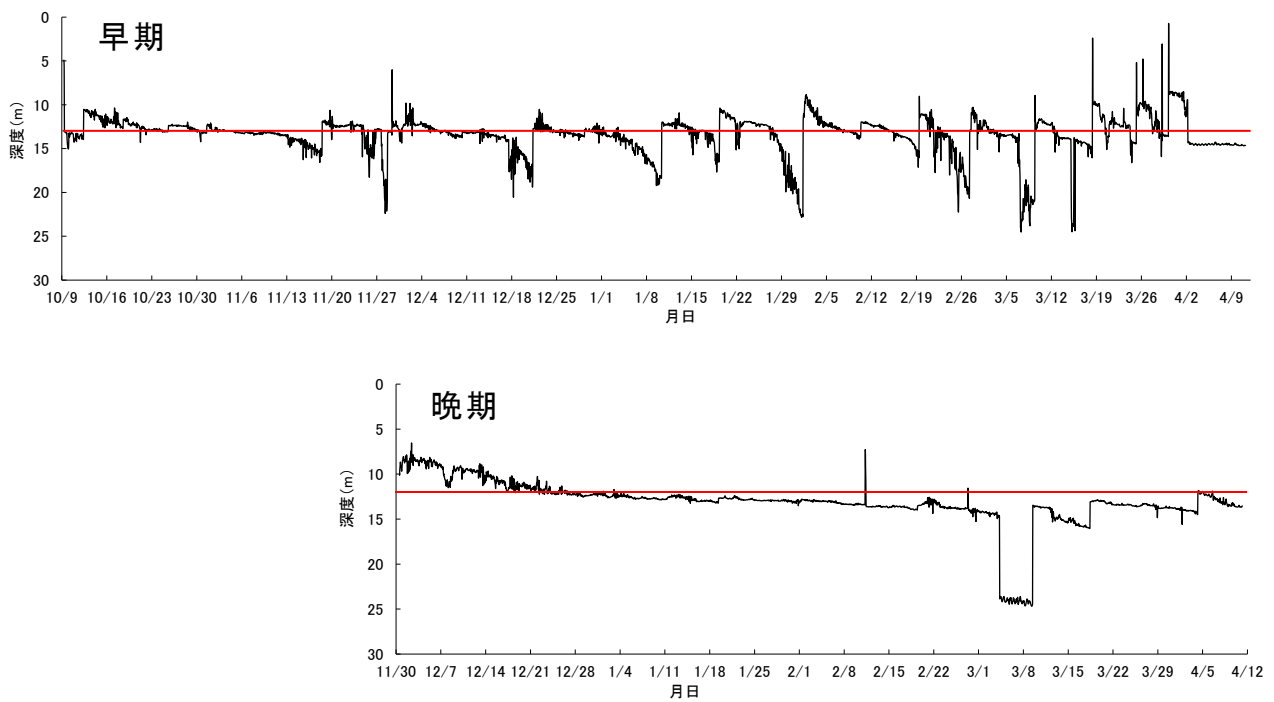


図 7. 野辺地の深度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

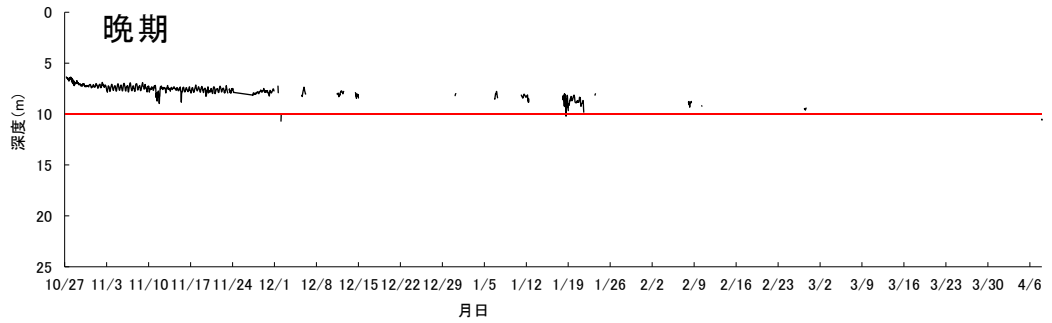
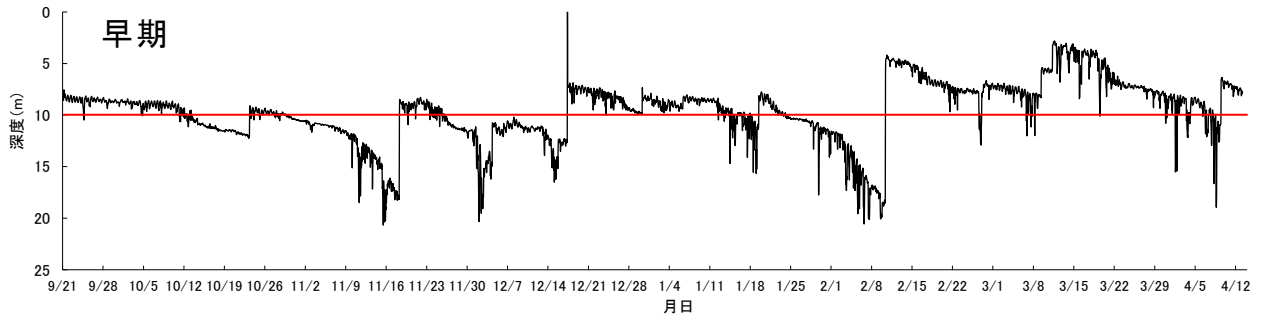


図 8. 浜奥内の深度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

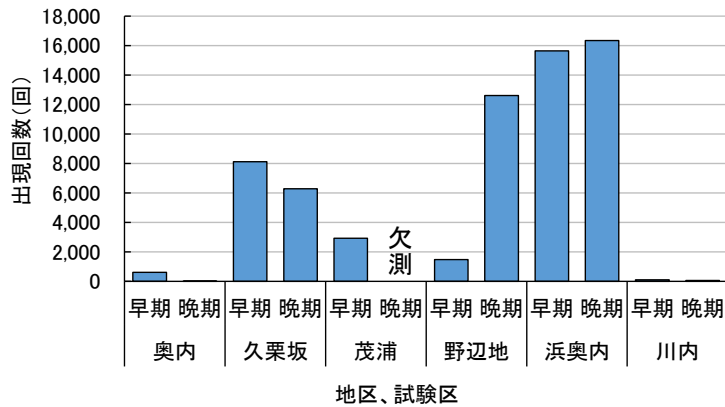


図 9. 試験期間中における幹綱鉛直方向の[N1]加速度 $\pm 0.3\text{m/s}^2$ 以上の出現回数

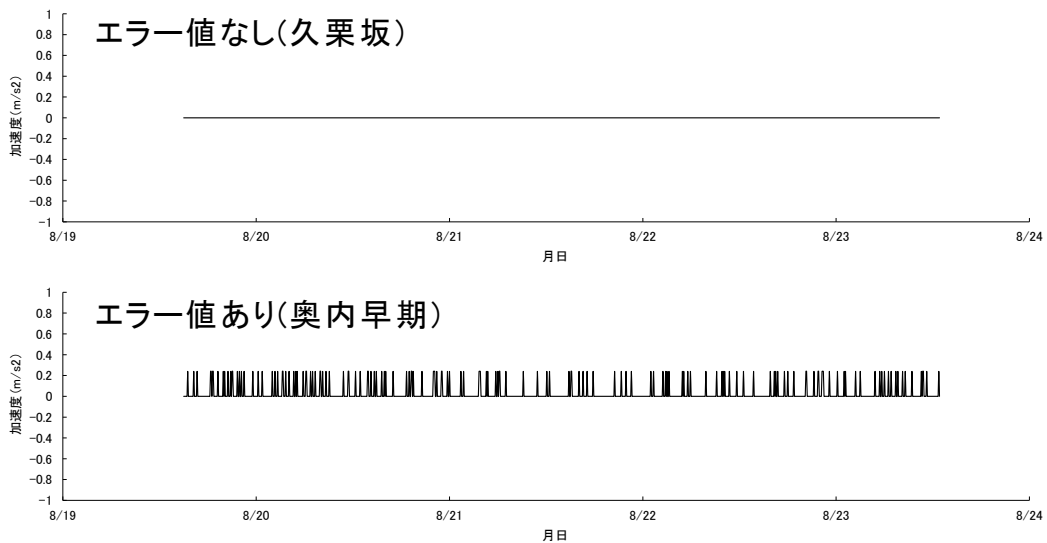


図 10. 使用した加速度を室内で静置した状態で数日間稼働した際の鉛直方向の加速度の 2 パターンの推移

4. 試験終了時

試験終了時となる2021年4月のホタテガイ測定結果を表4、図11～15に示した。殻長は61.2～79.9mm、全重量は20.8～53.1g、軟体部重量は9.0～22.5g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、浜奥内早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0.4～15.3%、成長後のへい死率は0.0～2.4%だった。稚貝分散直後のへい死率を同地区で比較すると、概ね晩期より早期で高い傾向が見られた。これは、稚貝分散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⁾より低い20～22℃台ではあったものの、夏季高水温の影響で稚貝の体力が低下しており、体力が回復する前に稚貝分散を行ったため、稚貝分散直後のへい死率が高くなった可能性が考えられる。

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	9月21日	78.4	4.4	48.5	6.8	20.1	3.3	0.0	3.6	2.3	5.9	30.6
	晩期	12月6日	76.1	5.0	44.2	7.6	18.9	3.9	0.0	1.9	0.0	1.9	26.5
川内	早期	9月22日	79.9	5.5	53.1	9.3	22.5	4.5	0.0	4.4	1.2	5.6	27.8
	晩期	12月6日	69.7	4.8	43.4	6.6	17.5	3.0	3.3	0.4	0.0	0.4	23.4
奥内	早期	9月27日	70.2	7.2	32.2	9.2	14.0	4.3	0.0	15.3	1.1	16.3	23.8
	晩期	12月11日	61.2	5.0	20.8	4.6	9.0	2.2	0.0	5.6	0.9	6.5	26.9
茂浦	早期	9月18日	71.1	5.4	33.2	6.0	15.0	2.9	0.0	1.4	1.4	2.9	23.3
	晩期	11月19日	66.6	5.5	27.0	6.4	12.0	2.9	3.3	8.4	1.5	9.9	22.4
野辺地	早期	10月9日	77.6	4.8	44.3	7.1	20.2	3.8	3.3	2.2	0.0	2.2	18.5
	晩期	11月30日	68.3	4.8	31.6	5.7	13.6	2.9	3.3	2.9	0.0	2.9	17.3
浜奥内	早期	9月21日	75.6	3.4	43.0	6.1	18.1	2.8	13.3	3.6	2.4	6.0	20.9
	晩期	10月27日	72.7	5.1	39.7	7.2	17.5	4.2	10.0	3.7	0.0	3.7	21.7

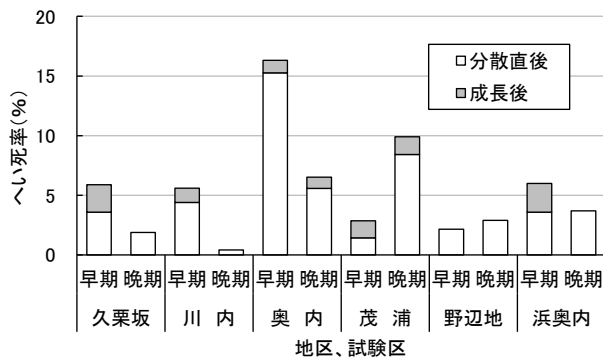


図11. 試験終了時におけるへい死率

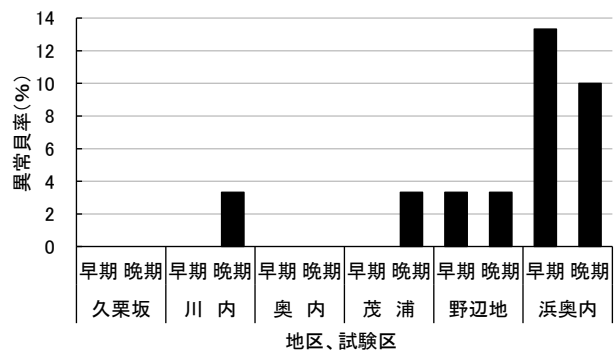


図12. 試験終了時における異常貝率

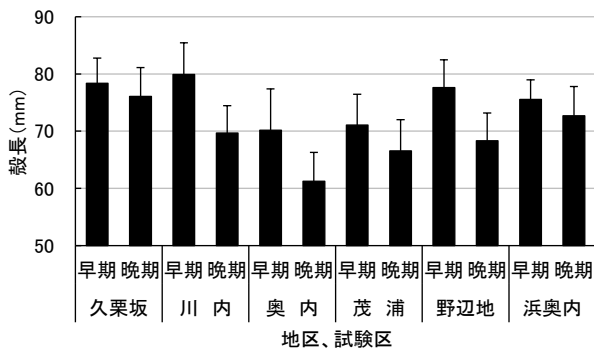


図13. 試験終了時における殻長(バーは標準偏差)

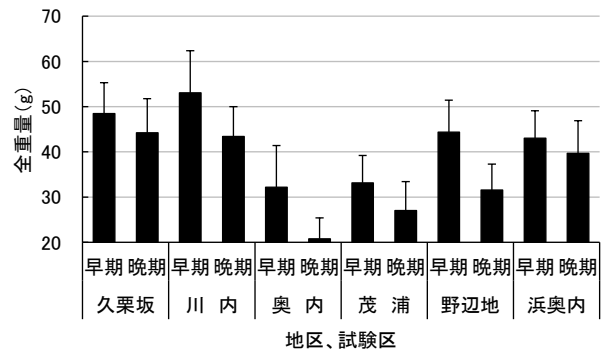


図14. 試験終了時における全重量(バーは標準偏差)

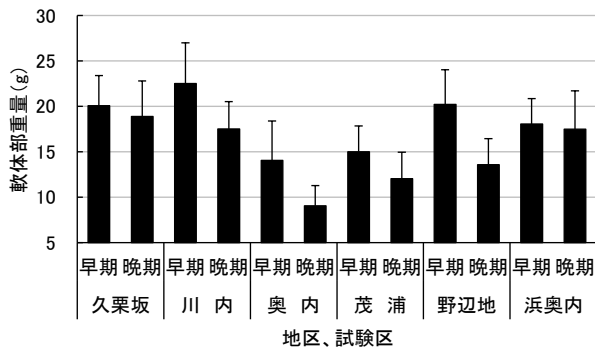


図 15 試験終了時における軟体部重量 (バーは標準偏差)

5. へい死予測技術、生産量予測技術の開発検討

前々年に行った同様の試験 (以下、前々年試験⁴⁾及び前年試験³⁾に引き続き、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、へい死に与える影響が大きいと考えられる2項目「稚貝分散時期」、「稚貝分散時の異常貝率」とへい死率の関係について図16~17に示した。なお、前々年度試験及び前年度試験において検証した「養殖施設の振動(加速度)」とへい死率の関係については、前述のとおり加速度計の不良の可能性を考慮し、本試験の加速度のデータを加えて検証を行わなかった。その他、へい死に与える影響があると考えられる項目として、養殖籠の種類、養殖施設の構造、自然環境(水温、時化、潮流)等が挙げられるが、養殖籠1段あたりの稚貝収容枚数や養殖籠への錘の有無については、過去の試験結果⁵⁻¹¹⁾からへい死に与える影響が小さいことがわかっており、冬季の稚貝のへい死は波浪が原因という過去の知見^{12,13)}もあるが、自然環境の予測は困難であるため、本試験では関係式作成の要素から除外した。

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2年の試験と同様に2022年の冬季も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。前々年試験⁴⁾及び前年試験³⁾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わかった。

以上のとおり、本試験は、稚貝分散時に稚貝の異常貝率が低かったこと、冬季の自然環境が良好でホタテガイが順調に成育したことにより、稚貝分散時期、稚貝分散時の異常貝率によってへい死率に差が見られず、試験区間で一定の傾向が見られなかったことから、へい死予測技術及び生産量予測技術を開発することができなかった。予測技術を開発するため、来季に同様の試験を行い、作業時期や作業状況とへい死の関係について検証を続ける必要がある。また、稚貝のへい死率は、分散直後については夏季の水温、成

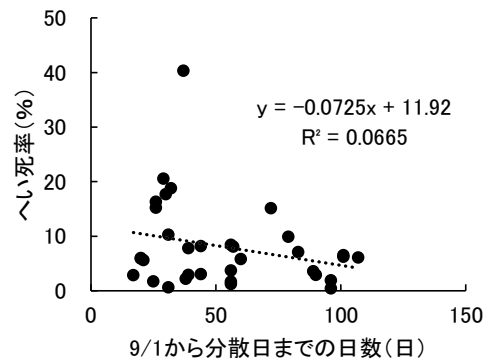


図 16. 稚貝分散時期とへい死率の関係

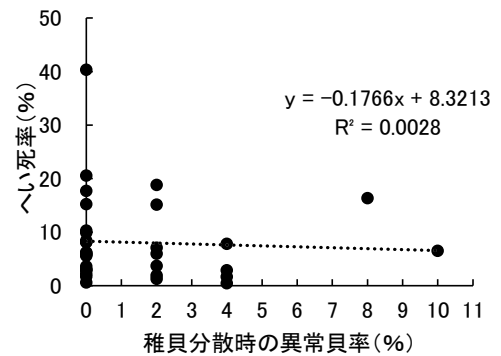


図 17. 稚貝分散時の異常貝率とへい死率の関係

長後については冬季の海水温の影響を強く受けていることから、それぞれのへい死率を独立して解析するとともに、稚貝のへい死率の要因と考えられる要素について過去の知見を再度検証し、本試験のデータと合わせて、へい死予測技術を開発する必要がある。

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) 小谷健二・吉田達・伊藤良博・東野敏及・川村要 (2014) 猛暑時のホタテガイへい死率を低減する養殖生産技術の開発(ホタテガイ養殖生産技術の改善). 平成24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, 394-405.
- 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.
- 5) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要 (2015) ホタテガイ稚貝の冬期へい死原因について. 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, 383-391.
- 6) 森恭子・吉田達・伊藤欣吾・伊藤良博・小谷健二・川村要 (2016) ほたてがい冬季へい死対策事業. 平成26年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 368-412.
- 7) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要 (2017) ほたてがい冬季へい死対策事業. 平成27年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 373-426.
- 8) 森恭子・吉田達・山内弘子・小谷健二 (2018) ほたてがい冬季へい死モニタリング調査. 平成28年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 335-370.
- 9) 小谷健二・小泉慎太郎・吉田達 (2019) 持続可能なほたてがい生産推進事業 基礎生産量調査ならびにホタテガイ半成貝と耳吊り貝の生産方法に関する実証試験. 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, 318-329.
- 10) 小泉慎太郎・吉田達 (2020) 持続可能なほたてがい生産推進事業 基礎生産量調査及びホタテガイ半成貝の生産方法に関する実証試験. 平成30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, 286-297.
- 11) 小泉慎太郎・吉田達 (2021) ホタテガイ半成貝の生産方法に関する実証試験. 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, 432-438.
- 12) 東野敏及・吉田達・伊藤良博・小谷健二・小倉大二郎・川村要 (2013) ホタテガイ稚貝の冬季へい死原因について. 平成23年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 522-540.
- 13) 東野敏及・吉田達・伊藤良博・森恭子・小谷健二・川村要 (2014) ホタテガイ稚貝の冬季へい死原因について. 平成24年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 406-422.