

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

小泉慎太郎・小谷健二・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

2020年9月30日～12月28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、2020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2021年4月（茂浦、野辺地、浜奥内は12日、久栗坂、川内は23日、奥内は28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。

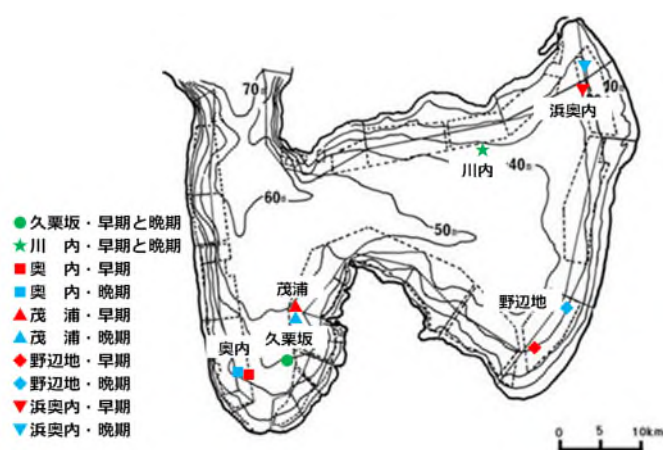


図1. 各試験地区の養殖施設位置図

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	42
	尺3								2	2		
奥内	早期	35	15	100	100	60	1	無	尺2	1	1	510
	尺1								1	2		
奥内	晚期	32	15	100	100	60	1	無	尺2	1	1	460
	尺1								1	2		
茂浦	早期	50	15	200	150	90	2	無	尺3	1	5	1,350
	尺3								1	5		
茂浦	晚期	50	17	200	150	90	2	無	尺3	1	5	1,400
	尺3								1	5		
野辺地	早期	30	12	200	100	80	2	無	尺2	1	1	550
	尺1								1	4		
野辺地	晚期	30	12	200	100	80	2	無	尺2	1	2	150
	尺1								1	2		
浜奥内	早期	26	10	200	100	125	1	60kg・5箇所	尺3	1	2	700
	8寸								1	5		
浜奥内	晚期	23	10	200	100	125	1	60kg・5箇所	尺3	1	2	700
	8寸								1	5		

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	2020年7月3日	50	2020年9月30日	25	8分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
	晚期	2020年7月3日	50	2020年11月25日	25	8分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
川内	早期	2020年7月20日	50	2020年10月2日	25	8分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
	晚期	2020年7月20日	50	2020年11月25日	25	8分	目合3分、10段、ラッセル	鉛100匁
奥内	早期	2020年7月20日	200	2020年10月8日	25	6分	目合3分、8段、ラッセル	鉛50匁
	晚期	2020年8月3日	150	2020年12月11日	28	7.5分	目合4分、8段、ラッセル	鉛50匁
茂浦	早期	2020年7月9日	150	2020年10月1日	22	6分	目合3分、9段、ラッセル	最下段太枠
	晚期	2020年7月18日	130	2020年11月29日	20	8分	目合3分、9段、ラッセル	最下段太枠
野辺地	早期	2020年7月18日	80	2020年10月15日	20	7.5分	目合2分、10段、ラッセル	無
	晚期	2020年7月18日	80	2020年12月28日	22	10.5分	目合2分、10段、ラッセル	鉛75匁
浜奥内	早期	2020年7月18日	150	2020年10月15日	15	7分	目合3分、8段、蛙又	鉛100匁
	晚期	2020年7月23日	150	2020年11月25日	15	7分	目合2分、10段、ラッセル	鉛75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22.2~43.0mm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0.0~4.0%と低い値だった。へい死率は奥内晚期が9.1%と最も高く、次いで浜奥内早期が4.3%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	2020年9月30日	28.5	2.5	0.0	0.7
	2020年11月25日	39.0	3.5	4.0	0.0
川内	2020年10月2日	22.3	2.1	0.0	2.8
	2020年11月25日	43.0	2.9	2.0	0.0
奥内	2020年10月8日	23.6	2.7	0.0	3.3
	2020年12月11日	29.7	3.7	2.0	9.1
茂浦	2020年10月1日	22.2	3.1	0.0	0.0
	2020年11月29日	27.1	3.1	0.0	1.6
野辺地	2020年10月15日	27.1	2.7	0.0	0.0
	2020年12月28日	36.0	3.5	0.0	0.0
浜奥内	2020年10月15日	23.3	3.2	0.0	4.3
	2020年11月25日	35.8	3.7	0.0	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。なお、野辺地晚期については2021年1月

18日から水温計を養殖施設に取り付けたため、試験区作成時の2020年12月28日から2021年1月17日までの水温は測定できなかった。試験区作成時の水温は久栗坂早期が22.0℃、晚期が14.6℃、川内早期が21.5℃、晚期が13.3℃、奥内早期が21.2℃、晚期が11.8℃、茂浦早期が21.2℃、晚期が14.0℃、野辺地早期が20.0℃、浜奥内早期が19.9℃、晚期が12.8℃であり、試験期間中、稚貝の成長が鈍化する目安の水温である23℃²⁾を超えることはなかった。

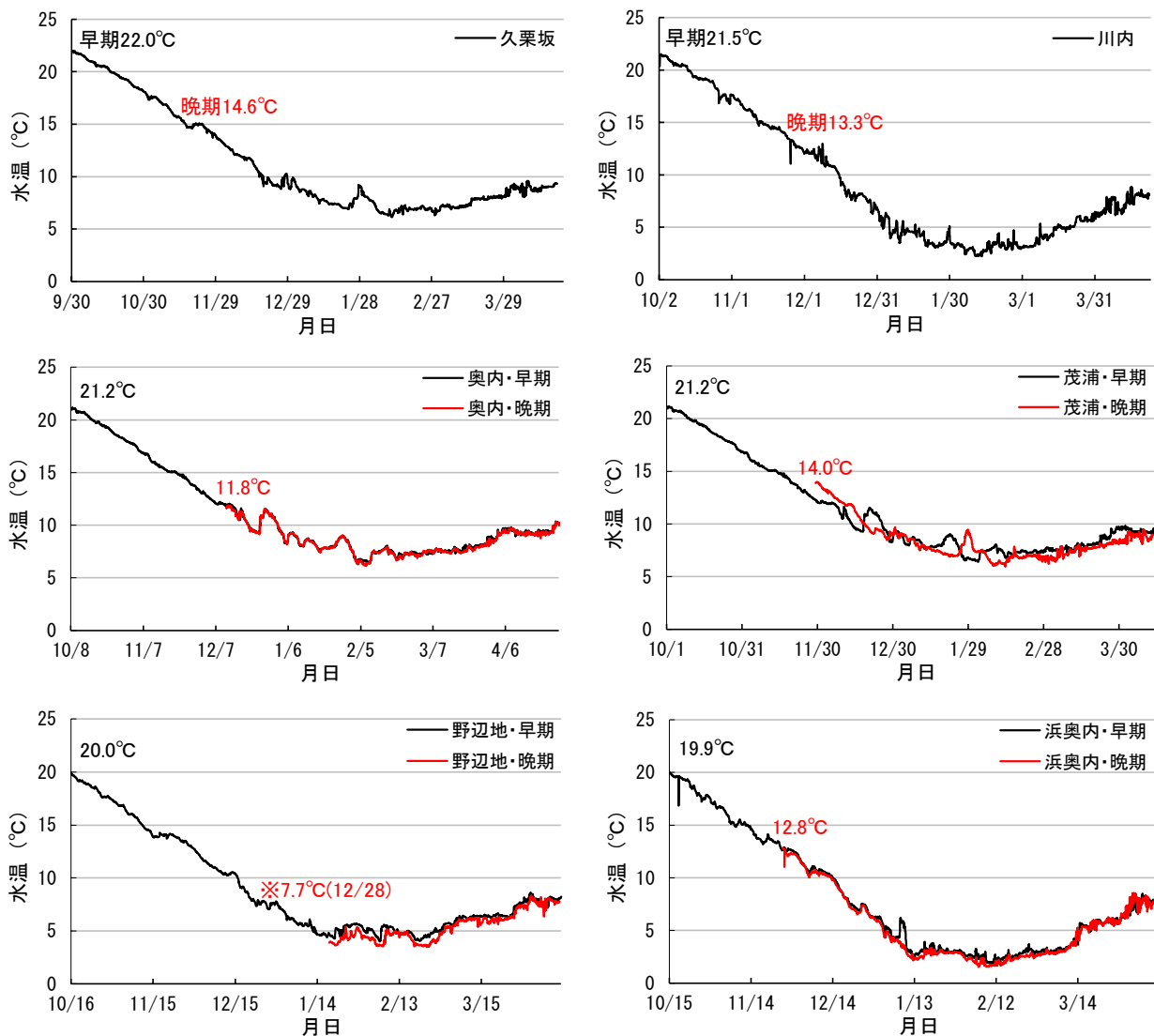


図 2. 試験期間中の水温の推移（数字は試験区作成時の水温、野辺地晩期の数字については参考値）

(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度の推移を図 3～12 に示した。なお、野辺地晩期については 2021 年 1 月 18 日から深度計、加速度計を養殖施設に取り付けたため、試験区作成時の 2020 年 12 月 28 日から 2021 年 1 月 17 日までの深度、加速度は測定できなかった。

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、それらと加速度変化に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、野辺地早期では試験期間中長期にわたり加速度の変動が大きく、最小、最大の絶対値についても他の試験区より大きい値を示した。これは、波浪の影響で振動を受けやす

い調整玉直下の幹綱に測器を取り付けたためと考えられた。野辺地早期以外の試験区については、測器を調整玉直下から距離を離して取り付けたため、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 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、同地区で比較すると晚期より早期で多く出現しており、これは試験期間の日数が晚期より早期の方が長いことによるものと考えられた。野辺地早期を除く試験区では、浜奥内早期で加速度 $\pm 0.3 \text{ m/s}^2$ 以上の出現回数が多かった。

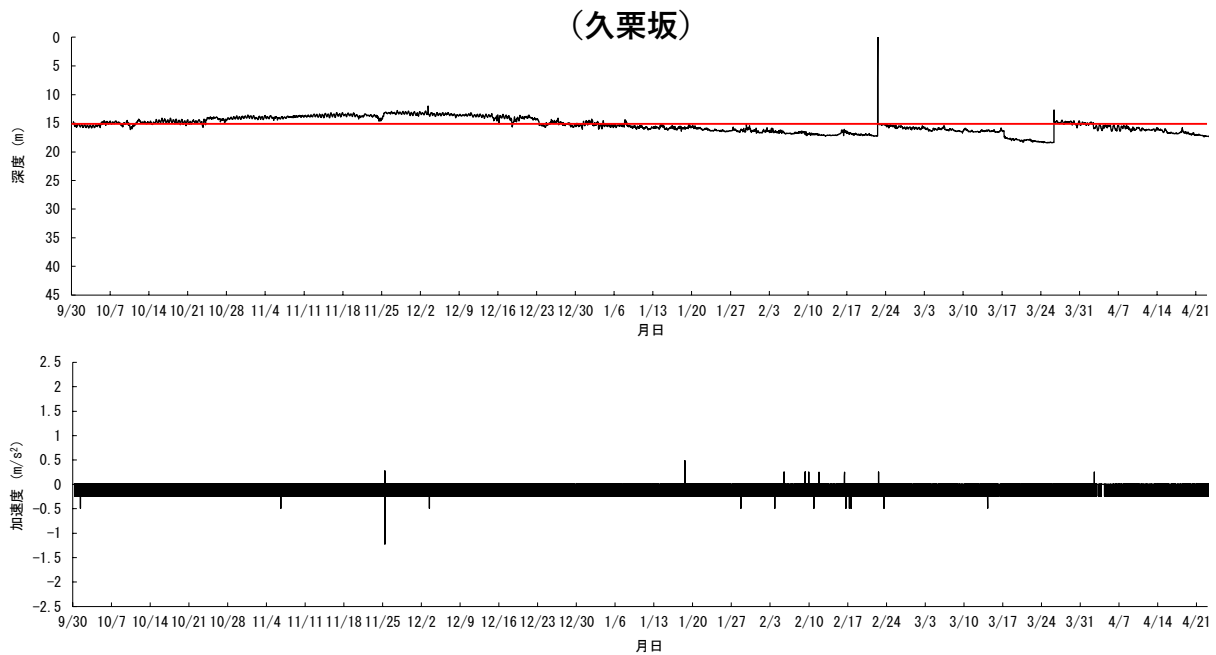


図 3. 久栗坂の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

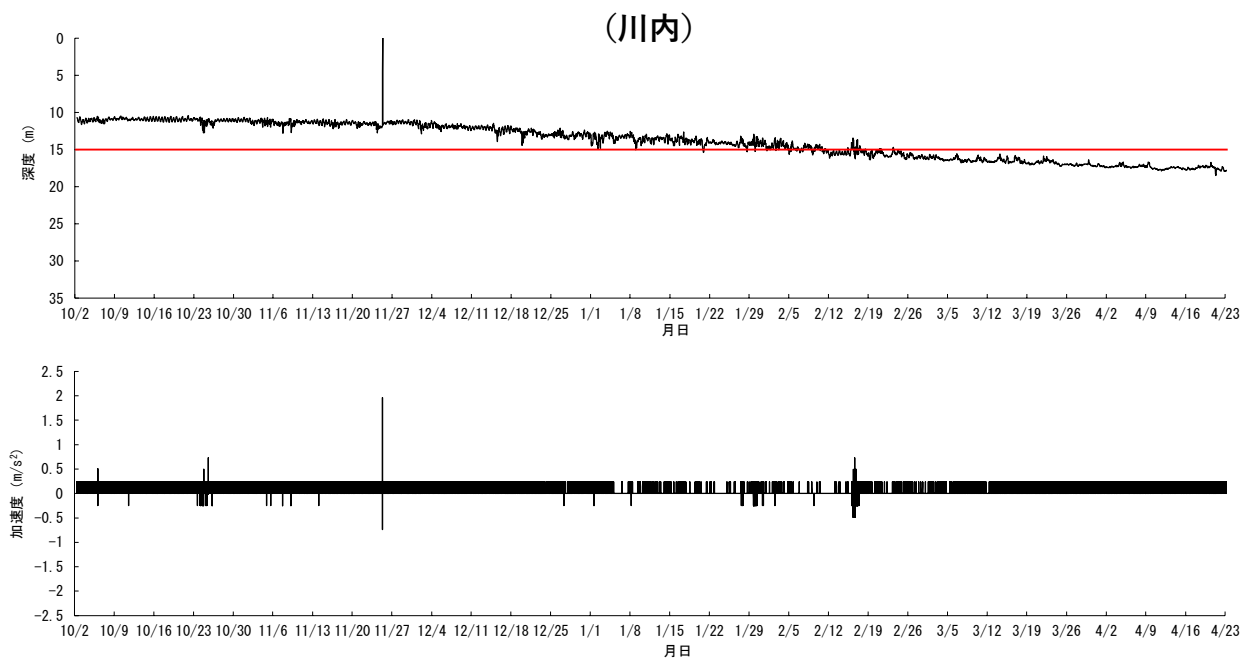


図 4. 川内の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

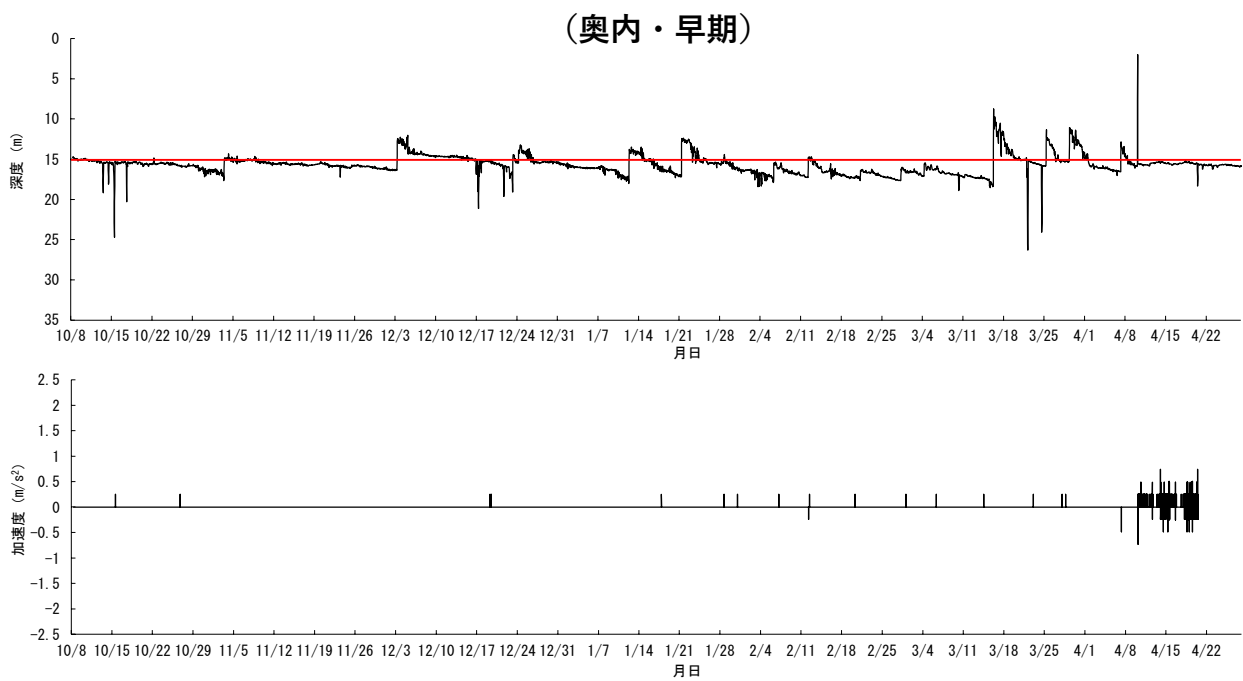


図 5. 奥内早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

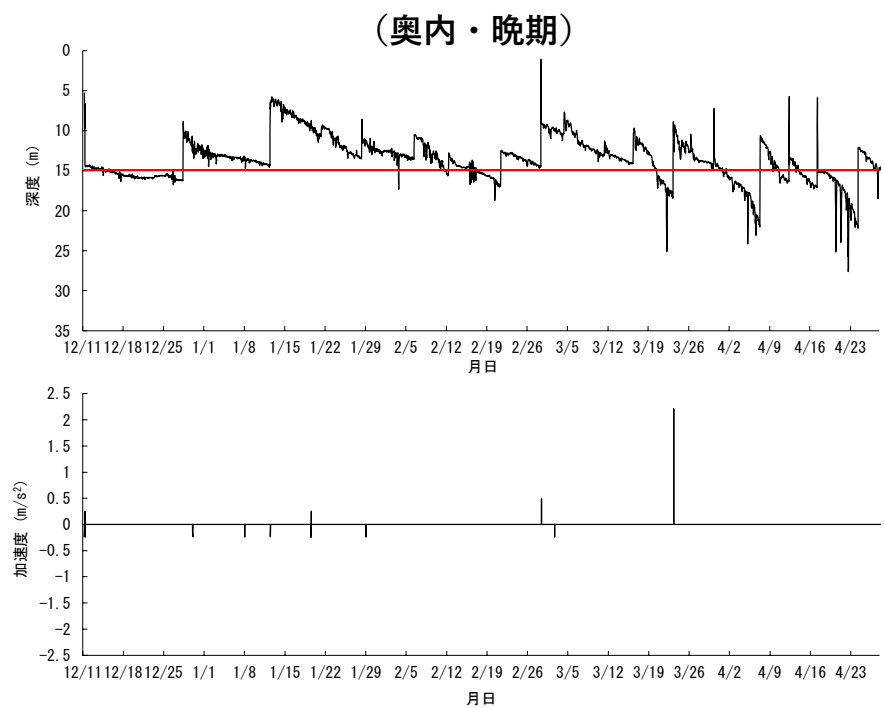


図 6. 奥内晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

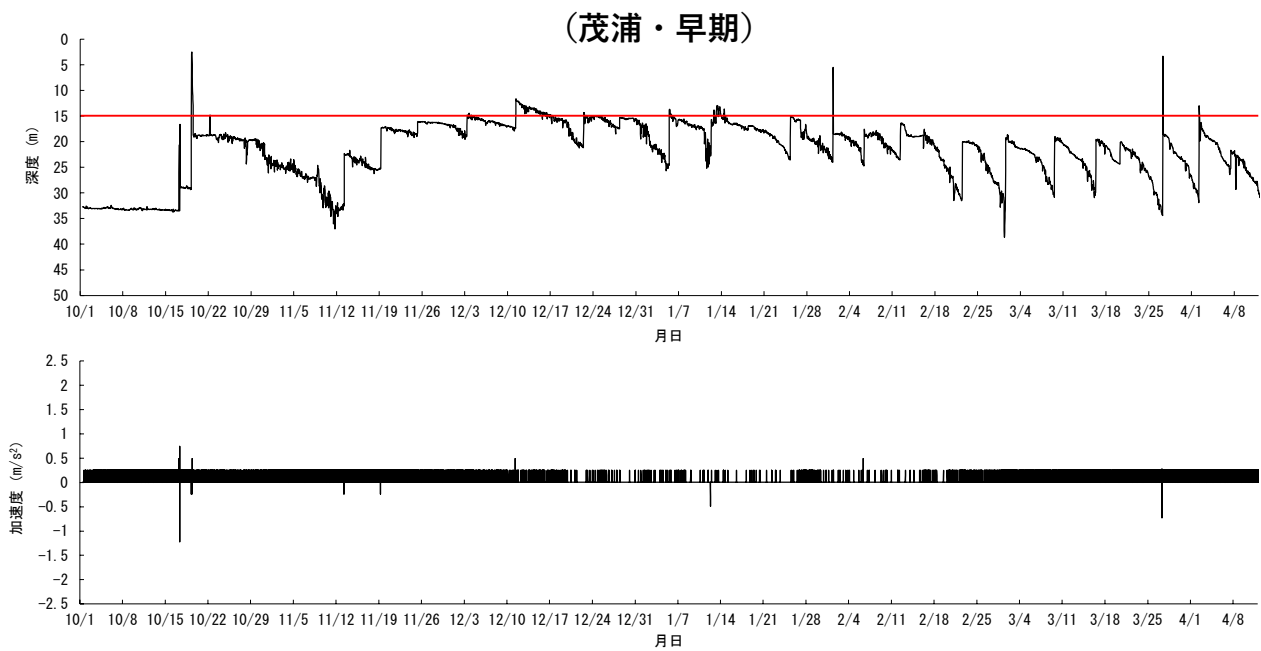


図 7. 茂浦早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

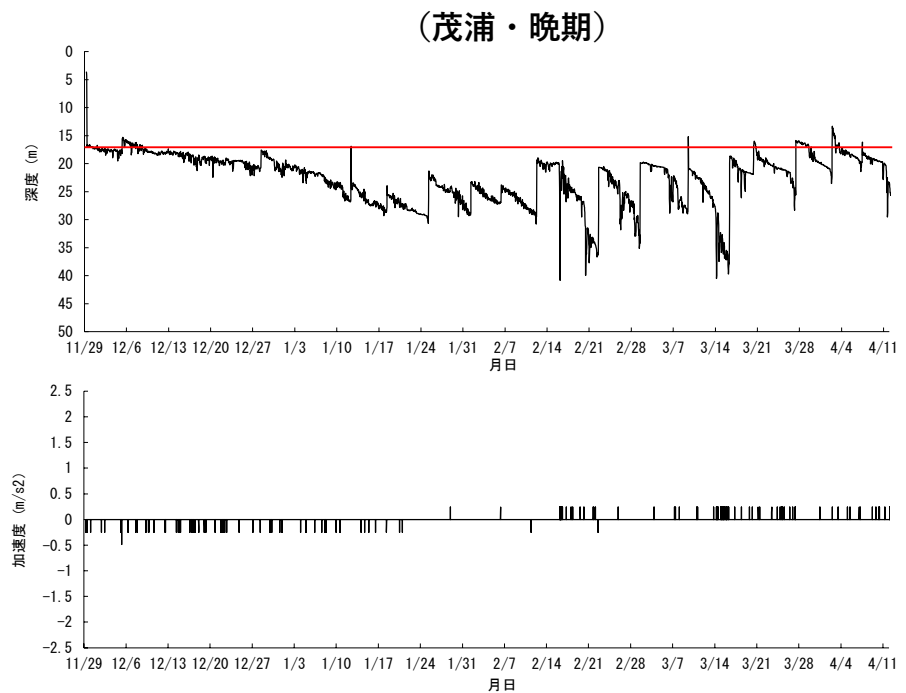


図 8. 茂浦晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

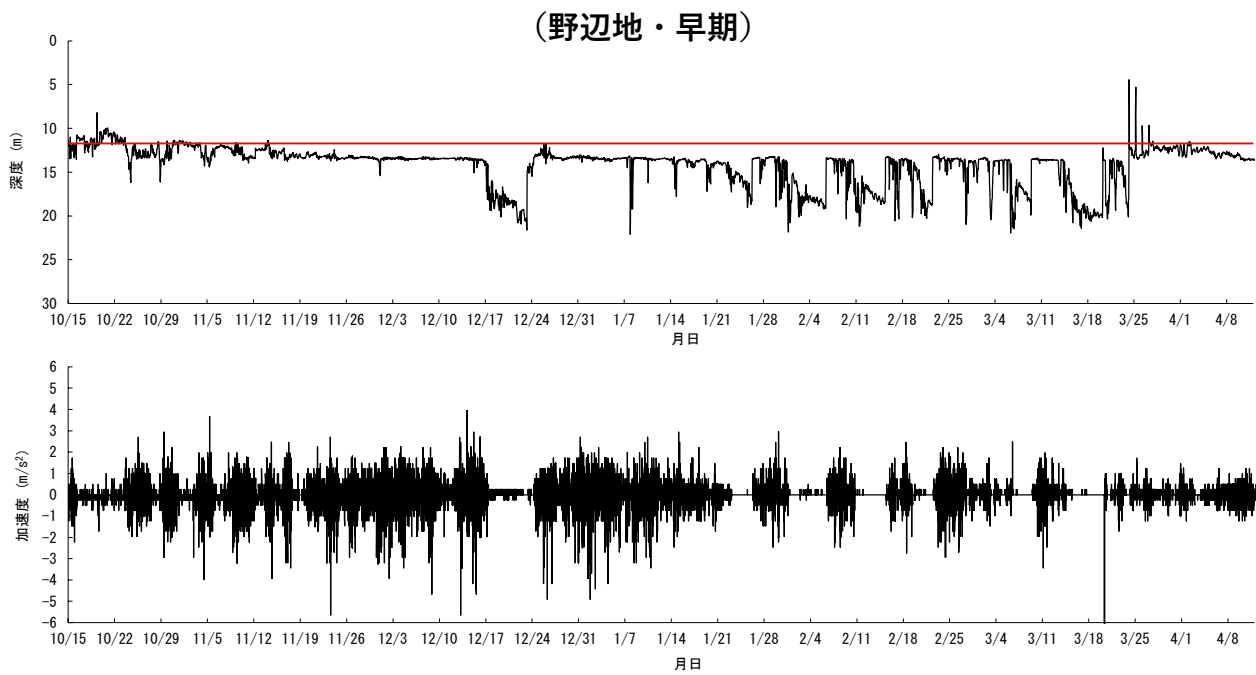


図 9. 野辺地早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

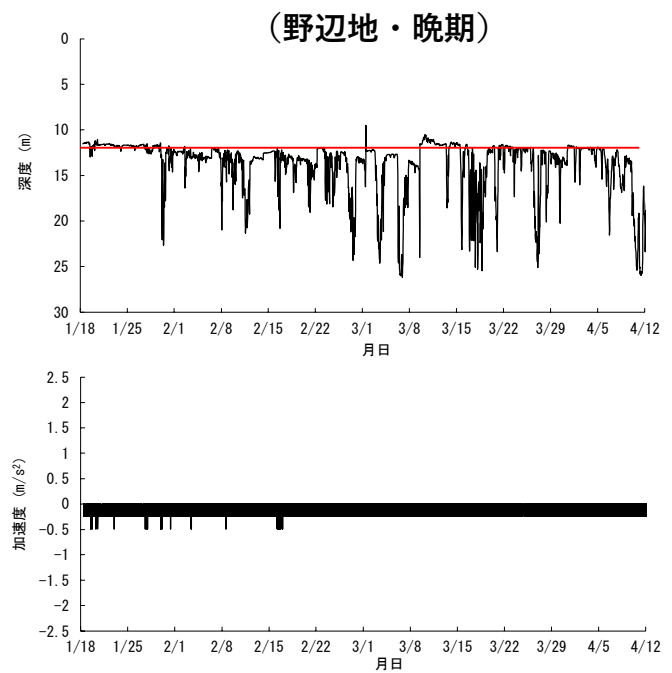


図 10. 野辺地晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移 (赤線は設定した幹綱深度)

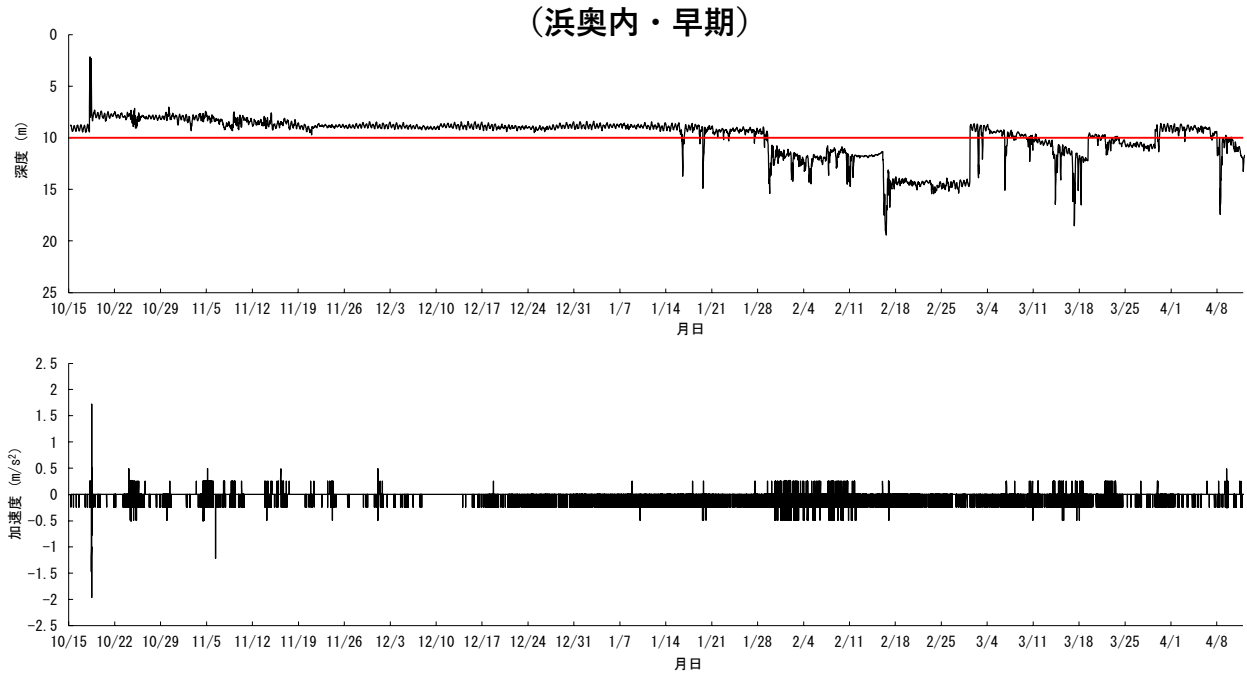


図 11. 浜奥内早期の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

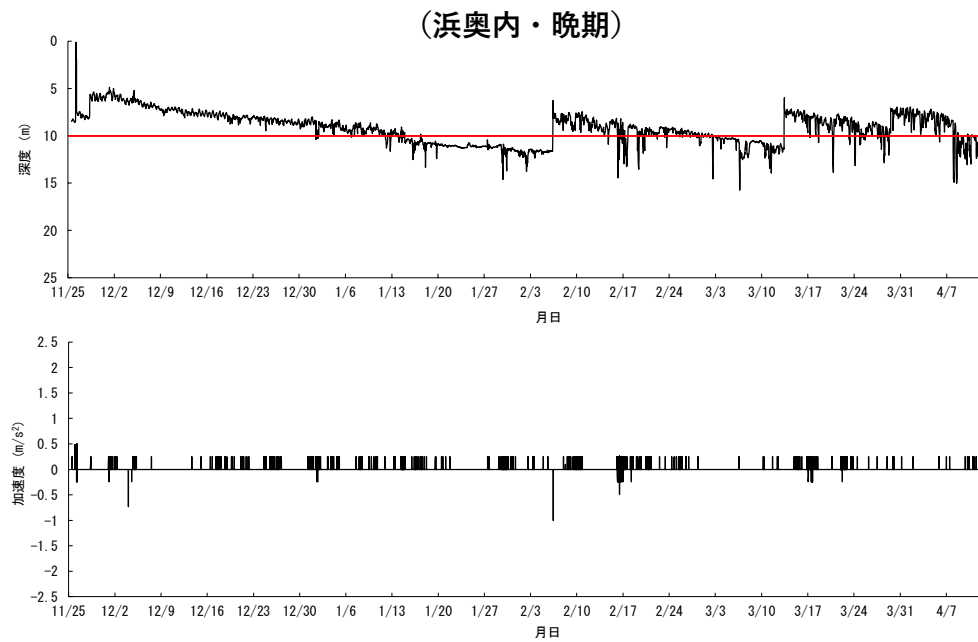


図 12. 浜奥内晩期の深度及び鉛直方向の加速度の推移（赤線は設定した幹綱深度）

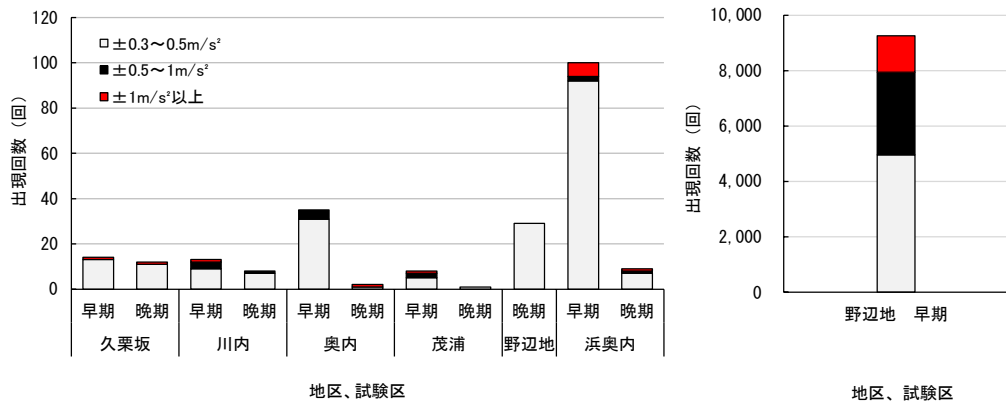


図 13. 試験期間中における幹綱鉛直方向の加速度の値別出現回数

4. 試験終了時

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 14～16 に示した。殻長は 64.3～82.0mm、全重量は 28.1～56.9g、軟体部重量は 11.3～24.6g であり、地区によって貝の成育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成育が良かった。異常貝率は 0.0～10.0% であり、奥内早期が最も高かった。なお、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 0.0～37.2%、成長後のへい死率は 0.4～6.2% だった。稚貝分散直後のへい死率を同地区で比較すると、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30日	82.0	4.5	56.9	7.7	24.6	3.8	0.0	14.6	5.9	20.6	25.3
	晩期	11月25日	79.4	4.3	50.2	6.6	21.2	3.3	0.0	0.4	1.2	1.6	24.3
川内	早期	10月2日	77.1	4.6	47.3	6.5	19.6	2.9	6.7	9.5	0.8	10.3	24.3
	晩期	11月25日	73.1	4.7	41.8	6.9	17.1	3.3	0.0	0.0	1.3	1.3	24.0
奥内	早期	10月8日	74.9	6.7	42.9	10.1	18.8	4.2	10.0	37.2	3.1	40.3	24.5
	晩期	12月11日	70.8	6.5	35.6	8.5	15.2	3.2	6.7	14.7	0.4	15.1	28.1
茂浦	早期	10月1日	73.9	5.0	39.4	7.0	17.5	3.0	0.0	11.5	6.2	17.7	23.2
	晩期	11月29日	64.3	5.6	28.1	6.9	12.0	2.9	0.0	3.7	2.1	5.8	21.1
野辺地	早期	10月15日	73.6	3.7	41.8	5.5	17.4	2.6	0.0	1.7	1.3	3.1	22.9
	晩期	12月28日	66.2	5.7	32.3	7.2	13.8	3.2	0.0	0.0	3.6	3.6	14.0
浜奥内	早期	10月15日	74.0	3.5	38.5	4.8	15.8	3.4	0.0	7.1	1.0	8.2	12.3
	晩期	11月25日	65.2	4.5	28.8	5.4	11.3	2.4	3.3	4.9	3.5	8.4	14.3

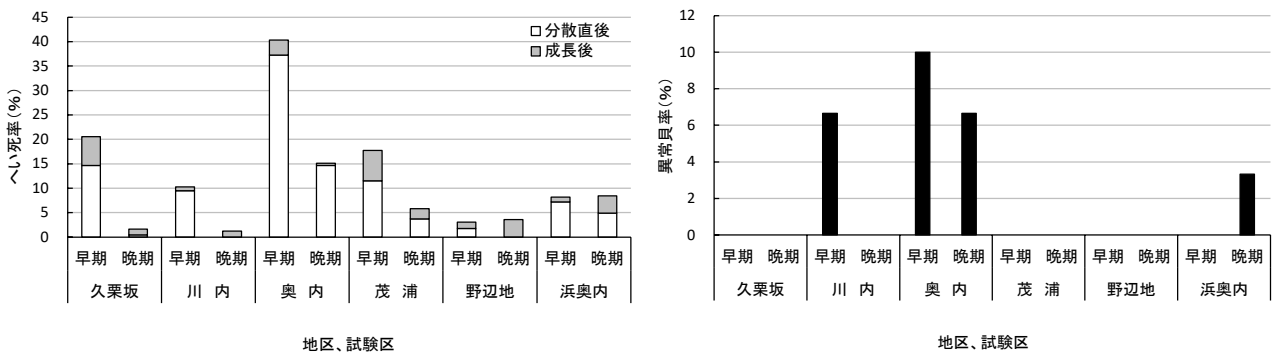
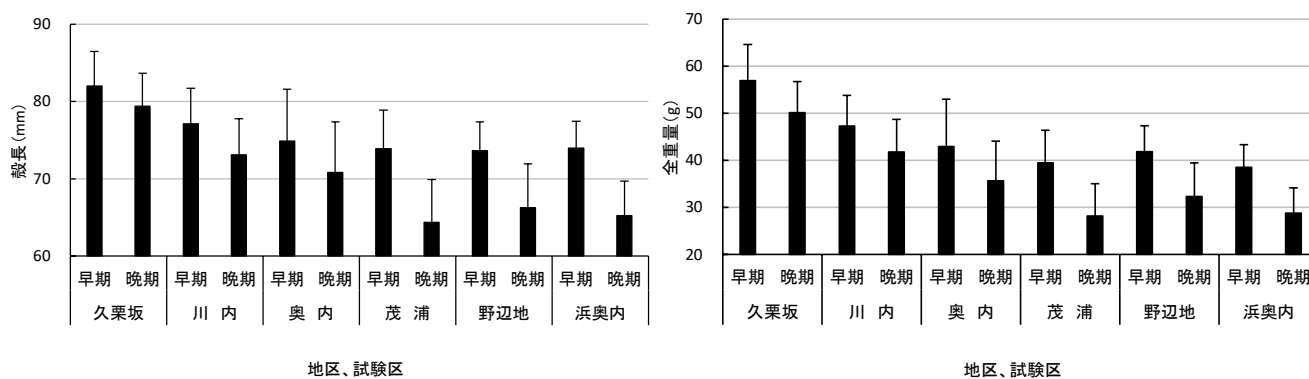
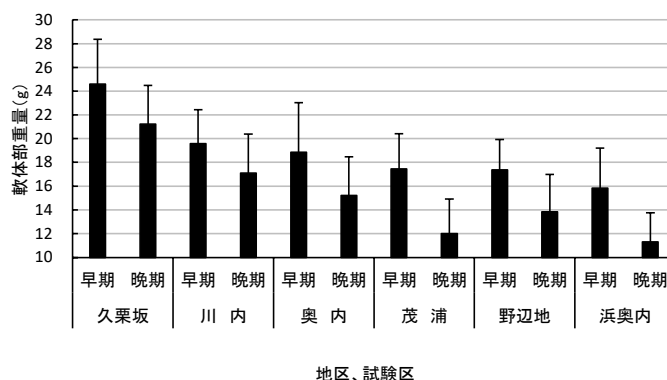


図 14. 試験終了時におけるへい死率と異常貝率



地区、試験区
図 15. 試験終了時における殻長と全重量 (バーは標準偏差)



地区、試験区
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

前年に行った同様の試験 (以下、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 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図 17 に示した。なお、加速度とへい死率の関係で使用した値について、野辺地早期は極端に加速度 $\pm 0.3\text{m/s}^2$ 以上の出現回数が多いため除外した。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⁴⁻¹⁰⁾ 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^{11,12)} 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、2021 年の冬季は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。また、養殖施設の調整玉直下に垂下したパールネットは波浪の影響で振動を受けやすく、ホタテガイの成育状況が悪いこと¹³⁾ がわかっているが、今回の野辺地早期においては、へい死率、異常貝率共に低い値を示したことから、冬季の自然環境が良好な年については、調整玉直下に垂下した際と同様の振動を受けても成育に影響を与えない可能性が示唆された。

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

マガイが順調に育成したことにより、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）の違い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にも、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。

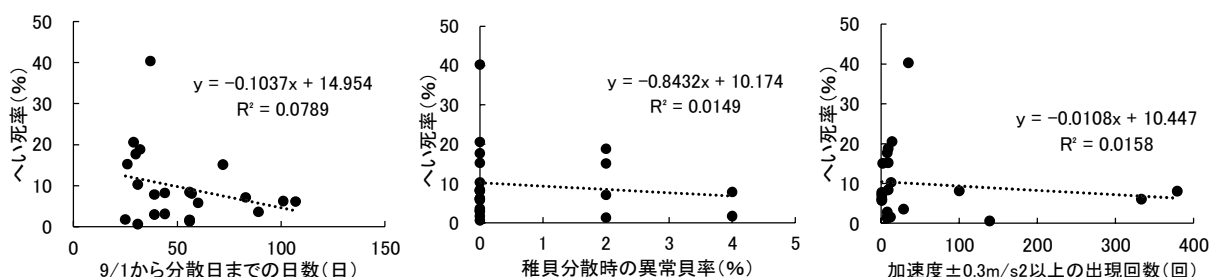


図 17. 稚貝分散時期、稚貝分散時の異常貝率、養殖施設の加速度とへい死率の関係

文献

- 1) 山内弘子・吉田達 (2019) ほたてがいが輸出拡大推進事業 (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・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.
- 4) 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.
- 5) 森恭子・吉田達・伊藤欣吾・伊藤良博・小谷健二・川村要 (2016) ほたてがいが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.
- 6) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要 (2017) ほたてがいが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.
- 7) 森恭子・吉田達・山内弘子・小谷健二 (2018) ほたてがいが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.
- 8) 小谷健二・小泉慎太郎・吉田達 (2019) 持続可能なほたてがいが生産推進事業 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.
- 9) 小泉慎太郎・吉田達 (2020) 持続可能なほたてがいが生産推進事業 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.

- 13) 秋田佳林・吉田達（2020）ICTとリモートモニタリングシステムを用いた高効率・安定的なホタテガイ養殖方法の開発（要約）．平成30年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告，302-303.