ホタテガイ総合戦略推進事業(夏季高水温時の養殖施設管理試験(玉取り試験))

小谷健二

目　的

近年の夏季高水温等、漁場環境変化に対応した成貝養殖のための適正な手法を開発するため、養殖施設の浮力調整作業である玉取り作業を夏季高水温のピーク時に行うことでホタテガイがどのような影響を受けるかについて検証を行った。

材料と方法

1. 2023 年産貝(以下、1 年貝)

2024 年 6 月 20 日～10 月 30 日に久栗坂実験漁場(以下、久栗坂)の養殖施設(図 1)において、1 年貝を使用して試験を行った。

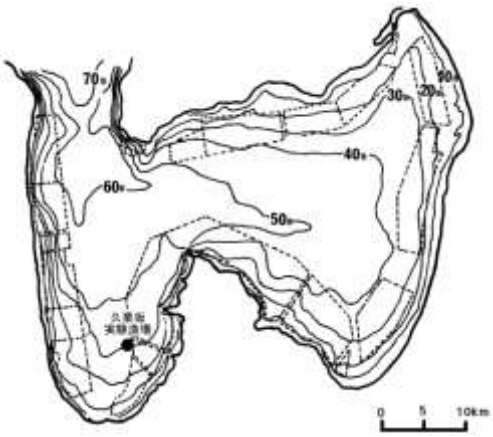

図 1. 久栗坂の養殖施設位置図

1 年貝の試験区は、①夏季高水温のピーク頃に玉取り作業を実施し、垂下水深を 25m から 35m に変更する玉取り区、②夏季に貝の成長を促進させるため、餌料環境の良い中層にパールネットを垂下する中層区、③夏季高水温による貝の衰弱を軽減するため、水温の低い下層にパールネットを垂下する対照区の 3 つを設定した。

試験区作成時、1 年貝は、養殖施設から貝を収容したパールネットを回収して貝を取り出し、外見上異常がある貝や小型の貝を取り除き、選別した。選別した 1 年貝は、試験区毎に目合 7 分の丸篭 1 連に 10 枚/段で収容し、約 2kg のコンクリート錘を取り付け、玉取り区については養殖施設 A の幹綱から 10m 下、中層区については同養殖施設の幹綱のほぼ直下となるように垂下し、対照区については隣接する養殖施設 B の幹綱のほぼ直下となるように垂下した(表 1)。また、回収したパールネット 1 連分の生貝数と死貝数を計数してへい死率を求めるとともに、測定用サンプルとして生貝 30 個体を無作為に採取し、殻長、全重量、軟体部重量を測定した他、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。なお、各試験区の丸篭の 1 段目にメモリー式水温計(Onset Computer 社、HOBO Water Temp Pro v2)を取り付け、1 時間間隔で水温を測定した。また、流速について、別途久栗坂の中層 10m(以下、中層)及び下層 30m(以下、下層)に設置された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)の 1 時間間隔の測定データを用いた。

表 1. 養殖施設の構造(1 年貝)

養殖施設	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 重量 (kg)	アンカー 片側個数 (丁)	土俵	調整玉 サイズ	調整玉 個数 (個)	調整玉 箇所数 (箇所)
A	玉取り区、中層区	45	15	260	100	90	1	40kg･4箇所	尺3	1	2
									尺3+尺2	各1	2
B	対照区	45	35	200	100	90	1	40kg･4箇所	尺3	1	2
									尺3+尺2	各1	2

概ね夏季高水温のピークとなった 2024 年 9 月 6 日に玉取り区の玉取り作業を実施した。通常、玉取り

作業は、養殖施設を引き揚げて幹綱に付けた浮力調整用の浮玉(底玉)を回収し、適正な幹綱深度に調整を行う作業であるが、本試験では玉取り区の丸篭を引き揚げ、手棒の長さを 10m から 20m へ変更することで玉取り作業を疑似的に再現した。また、本作業を除き、試験期間中に各試験区を垂下した養殖施設について、玉取り作業等の養殖施設を引き揚げる作業は一切行わなかった。

試験終了時に養殖施設から各試験区の丸篭を回収し、試験区毎に丸篭の 1、5、10 段目から貝を全て取り出し、3 段分の生貝数と死貝数を計数してへい死率を求めた。また、生貝から無作為に抽出した 30 個体について試験開始時と同様の測定を行った。

2. 2024 年産貝(以下、稚貝)

稚貝の試験区は、1 年貝と同様に久栗坂の養殖施設(図 1)において玉取り区、中層区、対照区の 3 つを設定した。玉取り区及び中層区の試験は、2024 年 7 月 17 日～10 月 17 日に行い、対照区は、本試験と概ね同時期となる 2024 年 7 月 18 日～10 月 25 日に実施した「夏季高水温時の稚貝収容枚数別における成育状況試験[1]」のうち、100 枚区を当該の試験区とした。

試験区作成時、稚貝は、いずれも 2024 年 6 月 12 日に川内実験漁場(以下、川内)から久栗坂に移設し、間引きを行った採苗器に付着した稚貝を目合 2.3 分の篩で選別し、篩に残った個体を用いた。選別後の稚貝は、試験区毎に目合 2 分のパールネット 1 連(10 段/連)に約 100 個体/段で収容した後、約 2kg のコンクリート錘を取り付け、玉取り区については 1 年貝の試験と同一の養殖施設 A の幹綱から 10m 下、中層区については同じく養殖施設 A の幹綱のほぼ直下となるように垂下し、対照区については隣接する養殖施設 C の幹綱のほぼ直下となるように垂下した(表 2)。また、選別後の稚貝から測定用サンプルとして 200 個体程度を無作為に採取し、生貝数と死貝数を計数してへい死率を求めるとともに、生貝 100 個体の殻長を測定した他、異常貝の有無を確認し、異常貝率を求めた。なお、玉取り区のパールネットの 1 段目、中層区及び対照区については、それぞれ養殖施設 A 及び C の幹綱にメモリー式水温計(Onset Computer 社、HOBO Water Temp Pro v2)及びメモリー式深度計(JFE アドバンテック社、DEFI2-D10)を取り付け、1 時間間隔で水温及び深度を測定した。

表 2. 養殖施設の構造(稚貝)

養殖施設	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 重量 (kg)	アンカー 片側個数 (丁)	土俵	調整玉 サイズ	調整玉 個数 (個)	調整玉 箇所数 (箇所)
A	玉取り区、中層区	45	15	260	100	90	1	40kg･4箇所	尺2	1	2
									尺3+尺2	各1	2
C	対照区	45	35	200	100	90	1	40kg･4箇所	尺2	1	2
									尺3+尺2	各1	2

2024 年 9 月 6 日に稚貝の玉取り区の玉取り作業を実施した。作業は、1 年貝と同様に手棒の長さを 10m から 20m へ変更することで玉取り作業を疑似的に再現した。

試験終了時に養殖施設から各試験区のパールネットを回収し、試験区毎にパールネットの 1、5、10 段目から稚貝を全て取り出し、3 段分の生貝数と死貝数を計数してへい死率を求めた。また、生貝から無作為に抽出した 100 個体について試験開始時と同様の測定を行った。

結果と考察

1. 1 年貝

1) 試験開始時

試験開始時における稚貝の測定結果を表 3 に示した。へい死及び異常貝は認められず、殻長は 81.7 ㎜、

全重量は 56.5g、軟体部重量は 25.2g であった。

表 3. 試験開始時における 1 年貝の測定結果

測定年月日	へい死率 (%)	異常貝率 (%)	殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)	
			平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
2024年6月20日	0.0	0.0	81.7	7.5	56.5	11.9	25.2	6.1

2) 試験期間中の水温

試験期間中の各試験区の毎時水温の推移を図 2、各試験区における 1 年貝の成長に影響を及ぼす目安となる水温 20℃[1)]以上の累積時間を表 4 に示した。開始時の水温は、玉取り区が 16.7℃、中層区が 18.4℃、対照区が 15.4℃といずれも 20℃を下回っていた。各試験区の水温を比較すると、いずれも 1 年貝がへい死する危険性が高まる 26℃以上の水温は出現しなかった。また、玉取り区の擬似的な玉取り作業を行った 9 月 6 日の表層の日平均水温(青森ブイ 1m 層)は、25.4℃であった。中層区は、20℃以上の水温が最も多く出現し、その内、24、25℃台のより高い水温が他の 2 試験区よりも多く出現した。玉取り区は、中層区に次いで 20℃以上の水温が多く出現したものの、中層区に比べ水温 24、25℃台の出現が少なく、水温 22℃台が多く出現した。対照区は、20℃以上の水温が最も少なく出現し、他の 2 試験区よりも 23℃台以上の水温がほとんど出現しなかった。

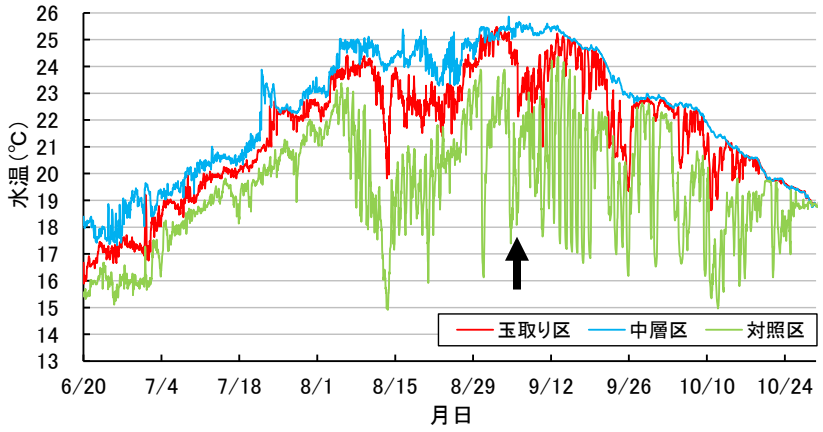

図 2. 試験期間中の各試験区の毎時水温の推移(矢印は、疑似的な玉取り作業実施日)

表 4. 試験期間中の各試験区における水温 20℃以上の累積時間(単位：時間)

試験区	水温							
	20℃台	21℃台	22℃台	23℃台	24℃台	25℃台	26℃以上	20℃以上の累積
玉取り区	441	226	735	401	375	109	0	2,287
中層区	387	178	511	331	651	422	0	2,480
対照区	432	413	290	92	9	0	0	1,236

3) 試験終了時

試験終了時における各試験区の測定結果を表 5、試験期間中の久栗坂の中層及び下層の流速の観測頻度を表 6、各試験区のへい死率、殻長を図 3～7 に示した。へい死率及び異常貝率は、いずれも対照区、玉取り区、中層区の順で低く、対照区と比較すると玉取り区では概ね同じで、中層区では高かった。中層区のへい死率及び異常貝率が高かった要因は、他の 2 試験区よりも丸篭の垂下水深が浅く、1 年貝の成長に影響を及ぼす 20℃以上の水温に最も長く曝されており、さらに、20℃以上の水温の内、1 年貝の成長鈍化や停止の影響がより大きくなる 24、25℃台の水温に最も長く曝されていたこと、試験期間中に下層よりも中層で速い潮流が多く観測されたことから、他の 2 試験区より貝が衰弱し、貝同士のぶつかり合いやかみ合

わせを起こしやすい状況であったためと考えられた。

殻長は、玉取り区が 88.8mm、中層区が 89.0mm、対照区が 94.4mm と、試験区間で明瞭な差は認められなかった。全重量及び軟体部重量は、玉取り区がそれぞれ 72.9g、23.9g、中層区が 73.8g、22.4g、対照区が 94.1g、36.1g と、対照区と比較すると玉取り区、中層区ともにいずれも軽かった。玉取り区及び中層区の全重量と軟体部重量が軽かった要因は、玉取り区では疑似的な玉取り作業実施まで、中層区では終始丸篭の垂下水深が対照区よりも浅く、1 年貝の成長が停止する 20℃以上の水温により長く曝されたことにより衰弱し、中腸腺や貝柱に蓄えたエネルギーをより多く消費したためと考えられた。

これらのことから、夏季高水温ピーク時の玉取り作業及び玉付け作業による 1 年貝のへい死の影響は今回の試験ではほとんどないものの、養殖施設の幹綱深度が浅いほど、1 年貝が高水温ピーク時まで 20℃以上の水温に長期間曝され、徐々に衰弱すると考えられた。そのため、1 年貝の夏季の養殖管理は、水温が 20℃未満の時期に養殖施設を水温の低い下層へ沈め、再び水温が 20℃を下回る秋まで養殖施設に手をかけないこと、軟体部の大きい貝を成育することが最も効果的であると考えられた。また、夏季高水温ピーク時点で養殖施設が想定した水深よりも浮き気味になっている場合、①1 年貝の成長が停止する水温 20℃に到達するまでにできる限り軟体部の大きい 1 年貝を成育すること、②夏季高水温ピーク時の表層水温が 25℃台であること、③漁場水深ができる限り深い場所に敷設した養殖施設であること、④水温 20℃を超えてから夏季高水温のピーク頃まで養殖施設に一切手をかけていないこと、これらの条件に概ね合致する養殖施設において、夏季高水温ピーク時の玉取り作業及び玉付け作業を行った後、水温 20℃を下回る秋まで養殖施設に一切手をかけないことで、夏季高水温による 1 年貝の衰弱を軽減し、へい死を抑制できると考えられた。

表 5. 試験終了時における各試験区の測定結果

測定年月日	試験区	へい死率 (%)	異常貝率 (%)	殻長(mm) 平均	殻長(mm) 標準偏差	全重量(g) 平均	全重量(g) 標準偏差	軟体部重量(g) 平均	軟体部重量(g) 標準偏差
2024年10月30日	玉取り区	4.0	6.7	88.8	3.8	72.9	9.9	23.9	4.5
	中層区	9.2	23.3	89.0	4.7	73.8	16.9	22.4	3.7
	対照区	3.4	5.7	94.4	4.6	94.1	12.7	36.1	5.9

表 6. 試験期間中の久栗坂の中層及び下層の流速の観測頻度

流速	中層	下層
0.2m/s以上	14	8
0.1～0.2m/s	397	192
0.1m/s未満	2,781	2,992

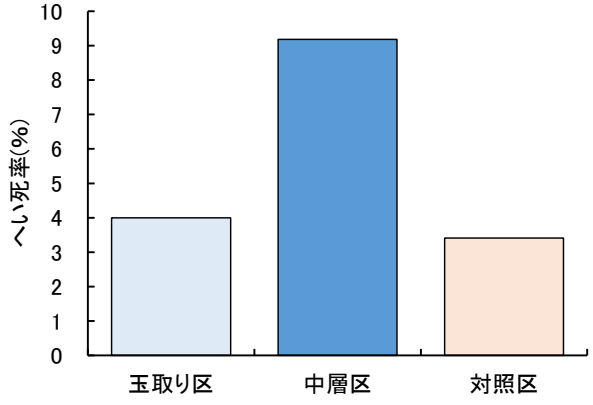

図 3. 試験終了時の各試験区のへい死率

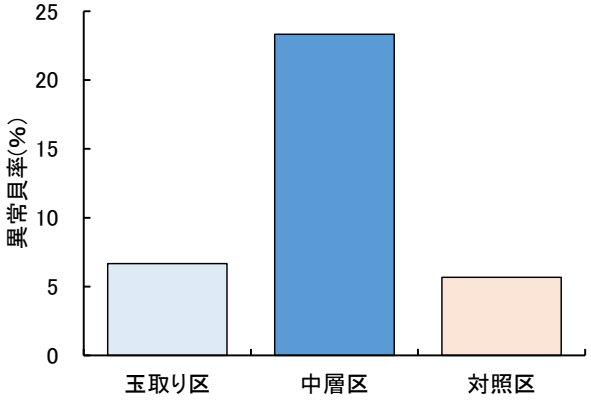

図 4. 試験終了時の各試験区の異常貝率

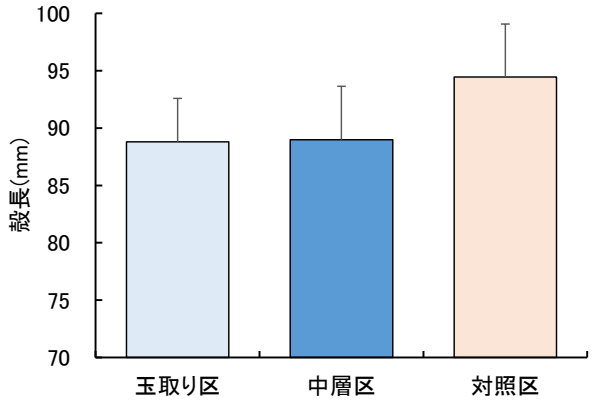

図 5. 試験終了時の各試験区の殻長(バーは標準偏差)

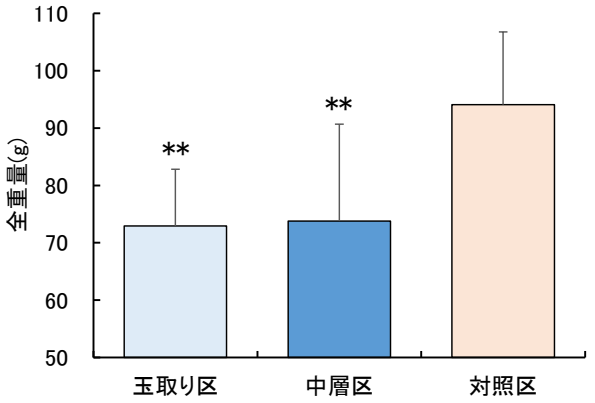

図 6. 試験終了時の各試験区の全重量(バーは標準偏差、**は対照区と比べて p<0.01 で有意差あり)

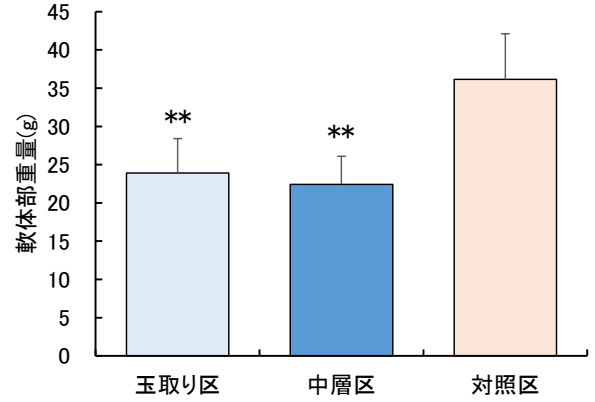

図 7. 試験終了時の各試験区の軟体部重量(バーは標準偏差、**は対照区と比べて p<0.01 で有意差あり)

2. 稚貝

1) 試験開始時

試験開始時における稚貝の測定結果を表 7 に示した。玉取り区及び中層区の稚貝は、へい死率が 2.0%、殻長が 9.7mm で、異常貝は認められなかった。対照区の稚貝は、へい死率が 0.0%、殻長が 9.2mm、異常貝率が 2.0%であった。

表 7. 試験開始時における稚貝の測定結果

測定年月日	試験区	へい死率 (%)	異常貝率 (%)	殻長(mm) 平均	殻長(mm) 標準偏差
2024年7月17日	玉取り区、中層区	2.0	0.0	9.7	1.2
2024年7月18日	対照区	0.0	2.0	9.2	0.8

2) 試験期間中の水温

試験期間中(2024 年 7 月 17 日～10 月 17 日)の各試験区の毎時水温の推移を図 8、各試験区における稚貝の成長に影響を及ぼす目安となる水温 23℃以上の累積時間を表 8 に示した。各試験区の水温を比較すると、いずれも稚貝がへい死する危険性が高まる 26℃以上の水温は出現しなかった。また、玉取り区の擬似的な玉取り作業を行った 9 月 6 日の表層の日平均水温(青森ブイ 1m 層)は、25.4℃であった。中層区は、9 月の前半まで他の 2 試験区よりも概ね高い水温で推移し、稚貝の成長鈍化や停止の影響がより大きくなる 24、25℃台の水温 [2)]が他の 2 試験区よりも多く出現した。玉取り区及び対照区は、8 月までは概ね同様の水温で推移していたものの、9 月以降に玉取り区の水温がやや低く推移し、玉取り区で 24、25℃台の水温

の出現が対照区よりも少なかった。

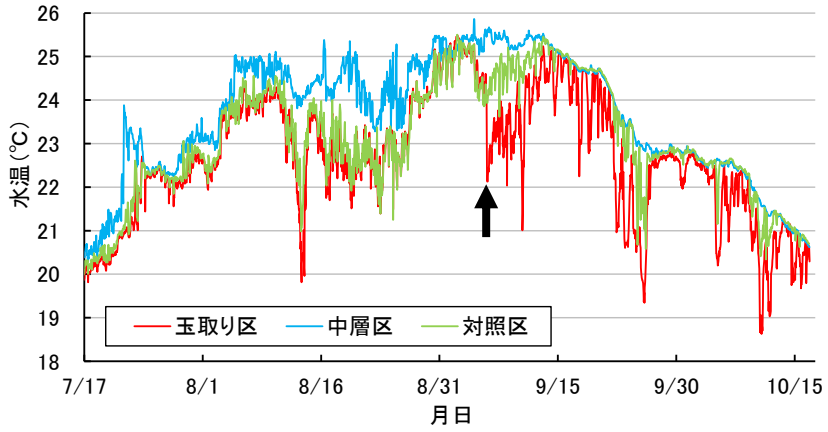

図 8. 試験期間中の各試験区の毎時水温の推移（矢印は、疑似的な玉取り作業実施日）

表 8. 試験期間中の各試験区における水温 23℃以上の累積時間（単位：時間）

試験区	水温				
	23℃台	24℃台	25℃台	26℃以上	23℃以上の累積
玉取り区	401	375	109	0	885
中層区	331	651	422	0	1,404
対照区	332	503	200	0	1,035

3) 試験終了時

試験終了時における各試験区の測定結果を表 9、各試験区のへい死率、殻長を図 9、10、試験期間中の各試験区の深度の推移を図 11 に示した。へい死率は、玉取り区が 5.4%と最も低く、中層区が 17.9%と最も高かったものの、対照区と比較すると玉取り区では低く、中層区では概ね同じであった。玉取り区よりも対照区のへい死率が高かったが、これは、稚貝の成長鈍化や停止の影響がより大きくなる 24、25℃台の水温が対照区でより多く出現していたこと、各試験区に設置した深度計のデータから、特に 9 月以降に対照区の養殖施設が玉取り区よりも動揺していた（図 11）ことから、対照区の稚貝が玉取り区よりも貝同士のぶつかり合いやかみ合わせによるダメージを受けやすい状況であったためと考えられた。また、中層区及び玉取り区では、丸篭の垂下水深が想定よりも 5m 浅かった（図 11）ことで、貝が 24、25℃台の高水温により長期間曝されることとなり、へい死率が高くなったと示唆された。

異常貝は、いずれの試験区も認められなかった。

殻長は、玉取り区が 23.9mm、中層区が 21.9mm、対照区が 24.6mm と、対照区と比較すると中層区が有意に小さかった。

本試験の結果から、夏季高水温ピーク時の玉取り作業及び玉付け作業による稚貝のへい死や成長の影響はほとんどないと考えられたものの、これは陸奥湾内の稚貝を垂下した全養殖施設に対して適応されるわけではなく、次のような条件にできる限り合致する必要がある。①夏季高水温ピーク時の表層水温が 25℃台であること、②漁場水深ができる限り深い場所に敷設した養殖施設であること、③稚貝が成長する目安となる水温 23℃未満の時期に稚貝を採取していること、④稚貝採取以降、養殖施設を水温の低い水深に沈めてあること、⑤稚貝の成長に影響を与える水温 23℃を超えてから夏季水温のピーク頃まで養殖施設に一切手をかけていないこと、⑥夏季高水温のピーク頃に実施した玉取り作業もしくは玉付け作業以降、水温 23℃を下回る秋まで養殖施設に一切手をかけないこと。また、夏季に稚貝の成長を促進させるため、餌環

境の良い中層に稚貝を垂下させる方法については、近年の夏季の水温状況を考慮した場合、高水温により稚貝の成長が鈍化し、へい死を増加させる可能性があるため、有効ではないと考えられた。一方、夏季高水温ピーク時の玉取り作業及び玉付け作業において、表層水温が稚貝のへい死の危険性が高まる 26℃以上で作業を行った場合に稚貝がどのような影響を受けるかについては未解明のため、引き続き同様の試験を行い、検証する必要がある。

表 9. 試験終了時における各試験区の測定結果

測定年月日	試験区	へい死率 (%)	異常貝率 (%)	殻長(mm) 平均	殻長(mm) 標準偏差
2024年10月17日	玉取り区	5.4	0.0	23.9	2.7
	中層区	17.9	0.0	21.9	2.5
2024年10月25日	対照区	15.6	0.0	24.6	3.6

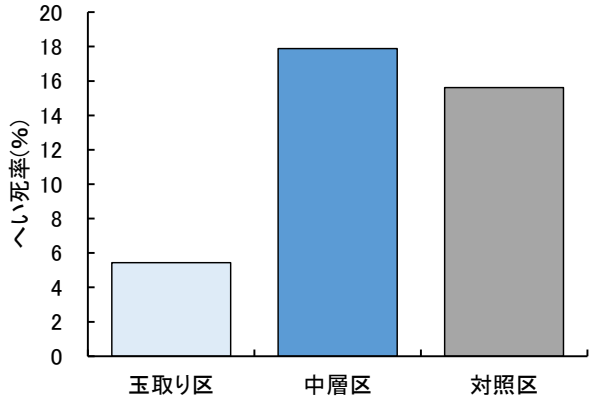

図 9. 試験終了時の各試験区のへい死率

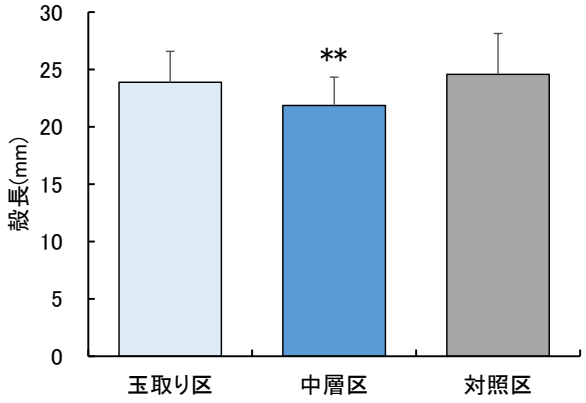

図 10. 試験終了時の各試験区の殻長(バーは標準偏差、**は対照区と比べて p<0.01 で有意差あり)

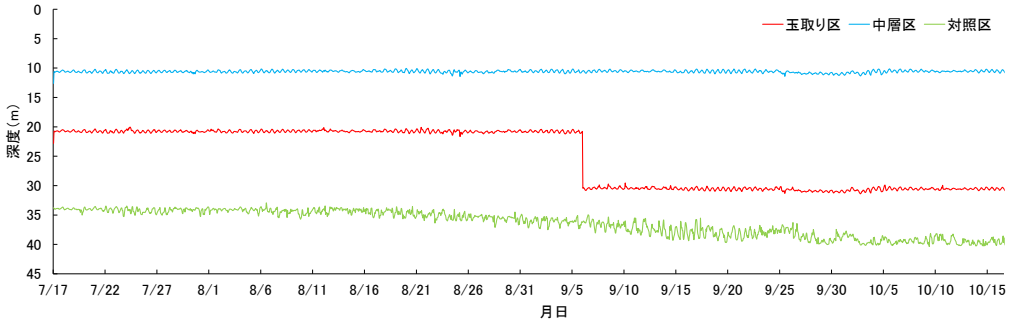

図 11. 試験期間中の各試験区の深度の推移

文 献

1) 小谷健二・吉田達・伊藤良博・東野敏及・小倉大二郎・川村要(2013) 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. 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, 514-521.

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 年度青森県産業技術センター水産総合研 究所事業報告, 394-405.