海面養殖業高度化事業
(ホタテガイ養殖技術等モニタリング事業)

東野敏及・吉田達・伊藤良博・小谷健二・小倉大二郎・川村要

目　　的

潮流や波浪が原因と考えられるホタテガイのへい死が依然として発生していること、将来的には温暖化の影響によるへい死も危惧されることから、ホタテガイ及び漁場環境の長期的モニタリングを行う。また、漁業者から要望の強いホタテガイのへい死原因の解明と対策に取り組む。

材料と方法

1　養殖ホタテガイと漁場環境のモニタリング

漁業者が養殖しているホタテガイの成長を長期的にモニタリングするために、蓬田村、平内町小湊、むつ市川内町の 3 地区(図1)で、同一の養殖施設に垂下されているホタテガイを平成 23 年 8 月～平成 24 年 3 月にかけて定期的に採取して、生貝数と死貝数を計数し、へい死率を求めた。また、生貝 50 個体の殻長、全重量、軟体部重量、異常貝数を測定及び計数し、異常貝率を求めた他、死貝の殻長を測定し、へい死時期を推定した。

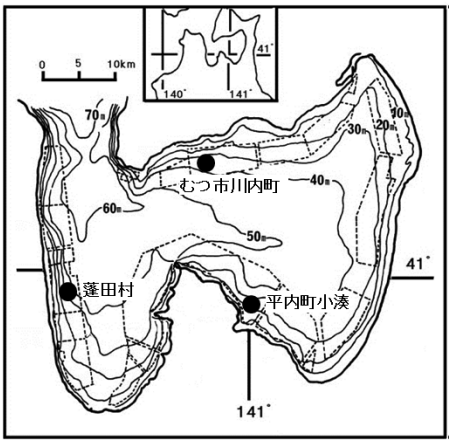

図 1　モニタリング地点

ホタテガイを採取した養殖施設における漁場環境を同時にモニタリングするために、メモリー式流向流速計(アレック電子 COMPACT EM、水温センサー内蔵)を設置し、1 時間間隔で流向、流速、水温を記録した。また、潮流・波浪による養殖施設の動揺に関するデータを収集するために、蓬田村においては超小型温度・深度ロガー（Star-Oddi 社、DST milli）を用いて 1 時間間隔で、平内町小湊、むつ市川内町においてはメモリー式深度計(アレック電子 MDS-MkV/D)を用いて 1 分間隔で幹綱水深を記録した他、メモリー式加速度計(Onset Computer 社、HOBO G Logger)を用いて、6 分間隔で垂直方向の加速度を記録した。

2　ホタテガイのへい死対策

(1) ゴム式改良調整玉の経費削減に向けた更なる改良

平成 21～22 年度の調査[1)、2)]で、ゴム式改良調整玉は波浪によって生じる施設の上下動を軽減し、ホタテガイの成長、生残率を向上させる効果があることが明らかになってきたが、波浪による施設の上下動を抑制するためのゴム紐（以下、ゴム）として使用している船舶用のショックコードは 1m あたりの単価が通常のロープに比べて約 2 倍と高いため、漁業者からコストダウンの要望があり、以下のような試験を実施した。

平成 23 年 8 月 4 日に久栗坂実験漁場(図 2)の養殖施設へ従来調整玉(従来調整玉区)、調整玉ロープに船舶用のショックコードを使用し、長さ及び本数を変えたゴム式改良調整玉(ゴム 2m×2 本区、ゴム 2m×1 本区、ゴム 1m×1 本区)を取り付けた(図 3)。従来調整玉区、各ゴム式改良調整玉を使用した試験区及び試験施設の両端の調整玉は 1 尺 2 寸のものを 2 個連結(浮力 433N)して、浮力を同じにした。全ての調整玉直下の幹綱には前述のメモリー式加速度計を設置し、3 分間隔で垂直方向の加速度を記録した。調整玉直下

の幹綱を基点として、1m 離れた位置に目合 1.5 分、段数 10 段、鉛 100 匁（1 匁は 3.75g）の錘を取り付けたパールネットを設置し、それぞれの段に平成 23 年産ホタテガイを 1 段当り約 100 個体収容した。加速度計が潮流の影響を受けないようにするために、調整玉直下には 20kg の土俵を錘としてそれぞれ取り付けた。

平成 23 年 10 月 14 日に観測機器とパールネットを回収し、上段（1 段目）、中段（5 段目）、下段（10 段目）のホタテガイの生貝数、死貝数をそれぞれ計数することによりへい死率を求めた。それぞれの段の生貝については殻長を測定するとともに、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

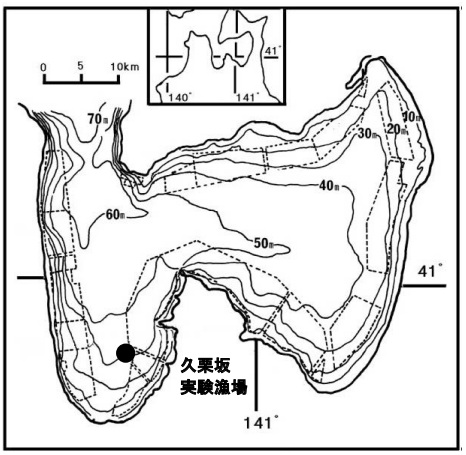

図 2 試験施設の位置

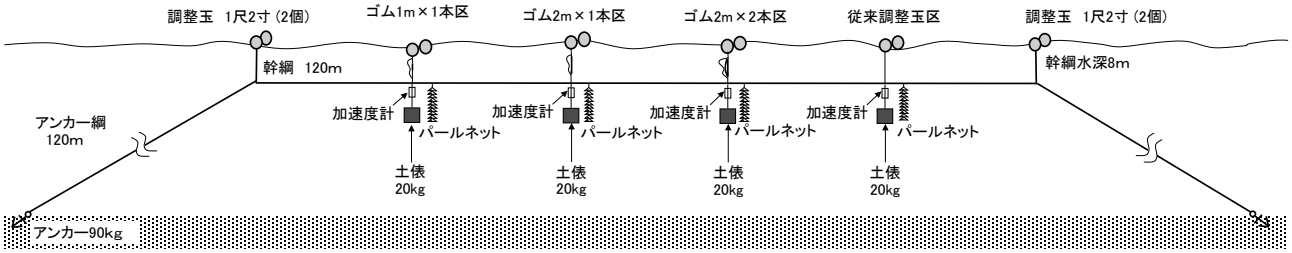

図 3 養殖施設の構造（久栗坂実験漁場）

(2) ゴム式改良調整玉を使用した場合の養殖管理手法の検討

平成 22 年度のゴム式改良調整玉を用いた試験において、久栗坂実験漁場では養殖施設の上下動を抑制する効果が見られたが、平内町浦田地区の漁業者の養殖施設では同様の効果が見られなかった。これは、漁業者の養殖施設は底玉を追加せず、養殖施設を沈めていたためと考えられたことから、ゴム式改良調整玉の効果を発揮するための底玉の使用方法に関して以下のような試験を実施した。

平成 23 年 10 月 4 日に久栗坂実験漁場（図 2）の養殖施設へ従来調整玉を取り付けた試験区（以下、従来調整玉区）、ゴム式改良調整玉（調整玉ロープとして船舶用ショックコード 2m を 2 本使用した調整玉）を取り付け、ゴム式改良調整玉直下の幹綱に 1 尺 2 寸の底玉を 1 個取り付けた試験区（以下、ゴム底玉あり区）と底玉がない試験区（以下、ゴム底玉なし区）を設け、各調整玉直下には 20kg の土俵を錘としてそれぞれ取り付けた。また、幹綱の浮力が増大した場合のゴム式改良調整玉の効果を検証するため、前述のゴム式改良調整玉の直下には 10kg の軽い土俵を錘として取り付けた試験区（以下、ゴム 10kg 土俵区）も併せて設置した（図 4）。従来調整玉区、各ゴム式改良調整玉を使用した試験区及び試験施設の両端の調整玉は 1 尺 2 寸を 2 個連結（浮力 433N）して、浮力を同じにした。全ての調整玉直下の幹綱には前述のメモリー式加速度計を設置し、5 分間隔で垂直方向の加速度を記録した。また、調整玉直下の幹綱を基点として、1m 離れた位置に目合 3 分、段数 10 段、鉛 100 匁の錘を取り付けたパールネットを設置し、それぞれの段に平成 23 年産ホタテガイを 1 段当り約 15 個体収容した。

平成 24 年 5 月 24 日に観測機器とパールネットを回収し、上段（1～2 段目）、中段（5～6 段目）、下段（9～10 段目）のホタテガイの生貝数、死貝数をそれぞれ計数することによりへい死率を求めた。また、それぞれの段の生貝については殻長、全重量及び軟体部重量を測定するとともに、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

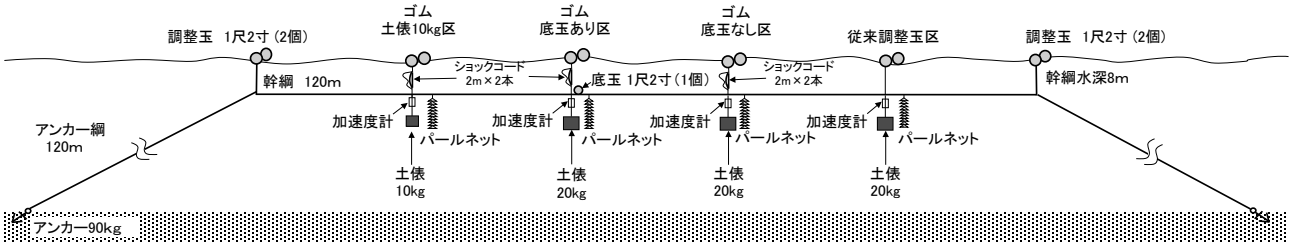

図 4　養殖施設の構造(久栗坂実験漁場)

(3) 漁業者の養殖施設におけるゴム式改良調整玉の効果の確認

漁業者の養殖施設におけるゴム式改良調整玉の効果については、吉田ら[2)]が外ヶ浜町蟹田地先において確認しているが、秋の稚貝分散から約 2 カ月経過して試験を開始した場合の結果であることから、秋の稚貝分散直後から試験を開始した場合の効果について調べるため、平成 23 年 10 月 23 日から平成 24 年 4 月 18 日にかけて、外ヶ浜町蟹田地先(図 5)の例年、へい死率が高い陸側の養殖施設(漁場水深 18m)と、へい死率が低い沖側の養殖施設(漁場水深 58m)を使用し、試験を実施した。

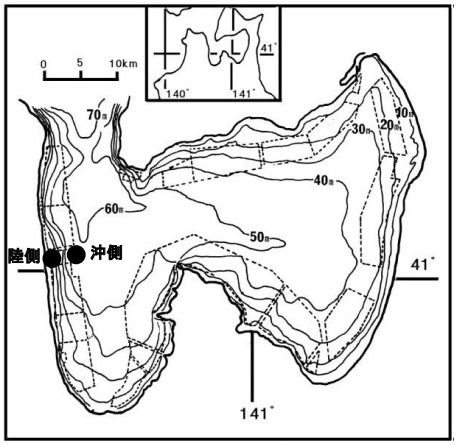

図 5　試験施設の位置

陸側施設は幹綱が 150m、アンカー綱が 60m、土俵がなく、調整玉が 6 箇所(全て 1 尺 3 寸)で、幹綱水深が 5.4m であった。沖側施設は幹綱が 200m、アンカー綱が 200m、土俵がなく、調整玉が 5 箇所(全て 1 尺 3 寸)で、幹綱水深が 10.8m であった (図 6)。

陸側の養殖施設の中ほどの調整玉 2 箇所をゴム式改良調整玉(船舶用ショックコード 2m を 2 本使用した調整玉)にし、調整玉と幹綱を結ぶロープの長さは 5.4m に調整した。

陸側及び沖側施設の従来調整玉 (以下、従来区) 直下の幹綱には、メモリー式水温計 (Onset Computer 社、HOBO ウォーターテンププロ)、前述の超小型温度・深度ロガー、メモリー式加速度計を設置し、水温及び幹綱水深については 1 時間間隔で、垂直方向の加速度については 5 分間隔でそれぞれ記録した。

また、陸側施設のゴム式改良調整玉 (以下、ゴム区) 直下及び従来区と従来区の間、ゴム区とゴム区の間の幹綱において、施設の上下動を調べるために、前述のメモリー式加速度計を設置し、垂直方向の加速度を 5 分間隔で記録した。

平成 24 年 4 月 18 日に観測機器とパールネットをそれぞれ回収して、生貝数と死貝数をそれぞれ計数することによりへい死率を求めた。また、それぞれの試験区において、パールネット上段 (1～2 段目)、中段 (5～6 段目)、下段 (9～10 段目) の生貝の殻長、全重量、軟体部重量を測定するとともに、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

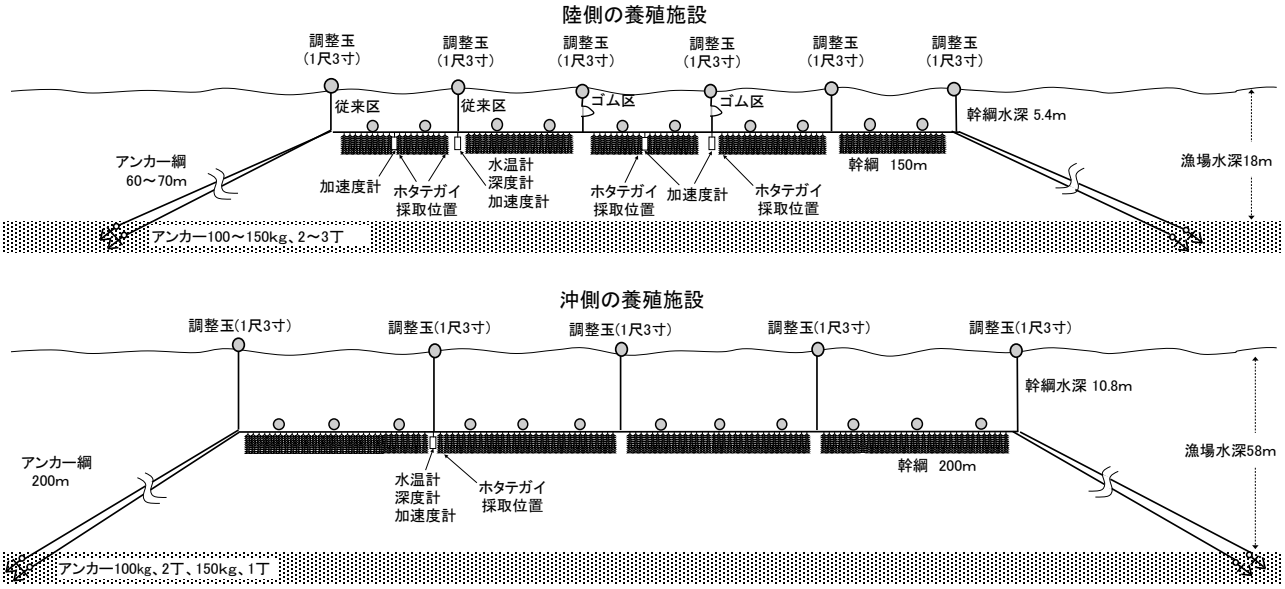

図 6　外ヶ浜町蟹田地区の漁業者の養殖施設

結果と考察

1 漁場環境、養殖ホタテガイのモニタリング

(1) 蓬田村

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表 1 に、養殖施設の構造を表 2 に示した。

平成 22 年度と平成 23 年度で調査対象の漁業者が異なるため、作業時期や施設の基本的な構造等は前年度と若干異なっていた。稚貝採取や稚貝分散の時期については、前年度に比べ約 1 週間程度遅くなっていた。養殖施設の基本構造については、前年度に比べ、漁場水深が 45m から 43m に、幹綱水深が稚貝採取時は 18m から 15m に、稚貝分散時は 11m から 10m に、錨綱長が 100m から 130m に、アンカー重量が 150kg から 100kg へと変わっていた。また、分散時の調整玉の個数は 3 個から 4 個に、底玉の個数が 25 個から 16 個に、パールネットの目合いが 2 分から 3 分に、パールネットの連数が稚貝採取時は 550 連から 400 連に、稚貝分散時は 500 連から 380 連に、パールネットへの収容数が稚貝分散時に 1 段あたり 20 個体から 25 個体に、パールネットの錘が鉛 75 匁から鉛 50 匁に、稚貝採取時の篩の目合いが 2 分 5 厘から 2 分に、稚貝分散時の選別機の目合いが 21 ㎜から 20mm へと変わっていた。

表 1　養殖作業等の時期

稚貝採取	稚貝分散	試験終了
H23.8.9	H23.11.4	H24.3.28

表 2　養殖施設の構造

漁場水深	幹綱水深		幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵	
	稚貝採取時	分散時			重量	個数		
43m	15m	10m	100m	130m	100kg	片側1丁	無	

	調整玉			底玉(最初)		パールネット					備考
	種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数	錘	
稚貝採取時	ABS製1尺3寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺3寸	20個	2分	10段	400連	100個体/段	鉛50匁	篩の目合2分
分散時	ABS製1尺3寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺3寸	16個	3分	10段	380連	25個体/段	鉛50匁	選別機の目合20mm

ホタテガイの測定結果を表 3 に示した。また、平成 19 年度から平成 23 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 7～9 に示した。

稚貝採取時のへい死率は 0.3%、殻長は 12.1 ㎜であり、過去 4 ヵ年と比較すると、へい死率は最も低く、殻長は最も大きかった。

稚貝分散時のへい死率は 2.2%、殻長は 29.7mm であり、過去 4 ヵ年と比較すると、へい死率は平成 19、

21 年度と同様に低く、殻長は最も大きかった。

試験終了時のへい死率は 6.5%、異常貝率は 5.5%であり、過去 4 ヵ年と比較しても、極端に高い値ではなかった。また、殻長、全重量、軟体部重量はそれぞれ 64.8mm、26.6g、10.4g であり、過去 4 ヵ年と比較しても、成長が悪かった平成 22 年度を除けば、平成 23 年度はほぼ例年並みの成長であった。

表 3　ホタテガイの測定結果

	作業内容	調査年月日	サンプリング方法	生貝（枚）	死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率(%)	異常貝出現率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部歩留(%)
蓬田村	稚貝採取	H23.8.9	選別後の稚貝を適宜	724	2	－	0.3	－	12.1 ± 1.7	－	－	－
	分散	H23.11.4	パールネット(未分散)1段分	89	2	－	2.2	－	29.7 ± 3.6	－	－	－
	試験終了	H24.3.28	パールネット1連分	145	10	8	6.5	5.5	64.8 ± 7.2	26.6 ± 7.2	10.4 ± 3.0	39.0

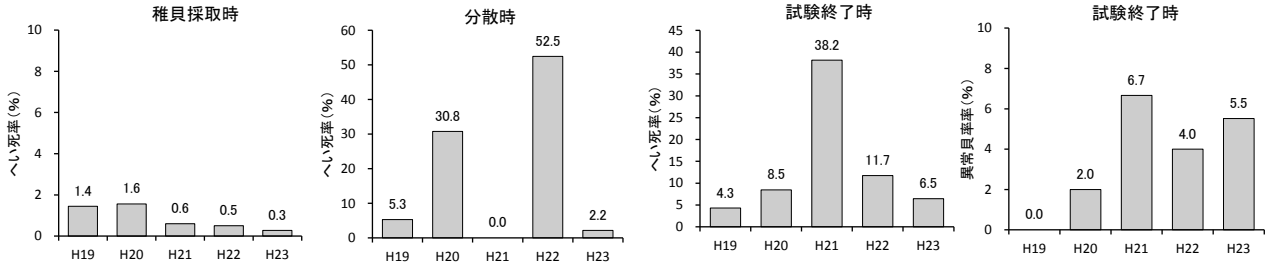

図 7　年度別、時期別のホタテガイのへい死率、異常貝率の推移

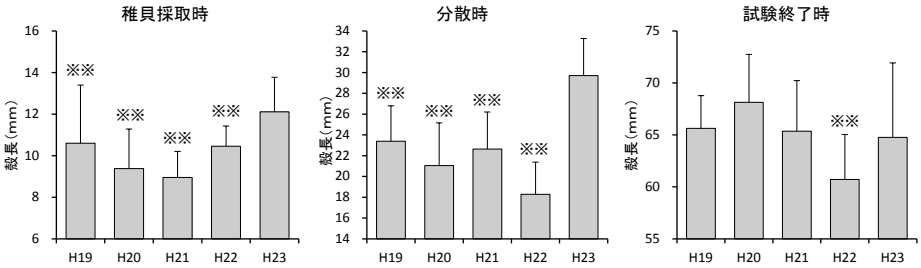

図 8　年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移
（バーは標準偏差、※※は H23 と比較して P<0.01 で有意差あり）

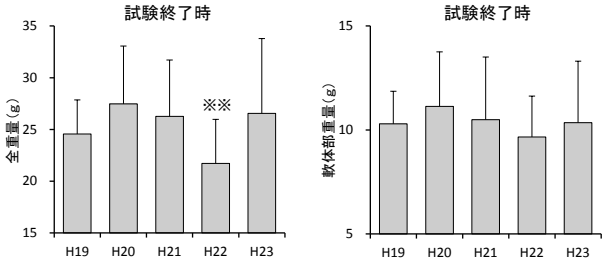

図 9　年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移
（バーは標準偏差、※※は H23 と比較して P<0.01 で有意差あり）

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図 10 に示した。

平成 23 年 8 月 9 日の稚貝採取時の生貝殻長と、11 月 4 日の稚貝分散時の死貝殻長がほとんど同じであることから、稚貝分散時の死貝は稚貝採取後にほとんど成長できないままへい死に至ったものと考えられた。

また、平成 24 年 3 月 28 日の試験終了時における死貝殻長が稚貝分散時の生貝殻長よりもやや大きいことから、稚貝分散後、やや成長してからへい死に至ったものと考えられた。なお、死貝殻長が広範囲にわたっていることから、へい死時期は特定の時期ではなく、徐々にへい死が起きたと考えられた。

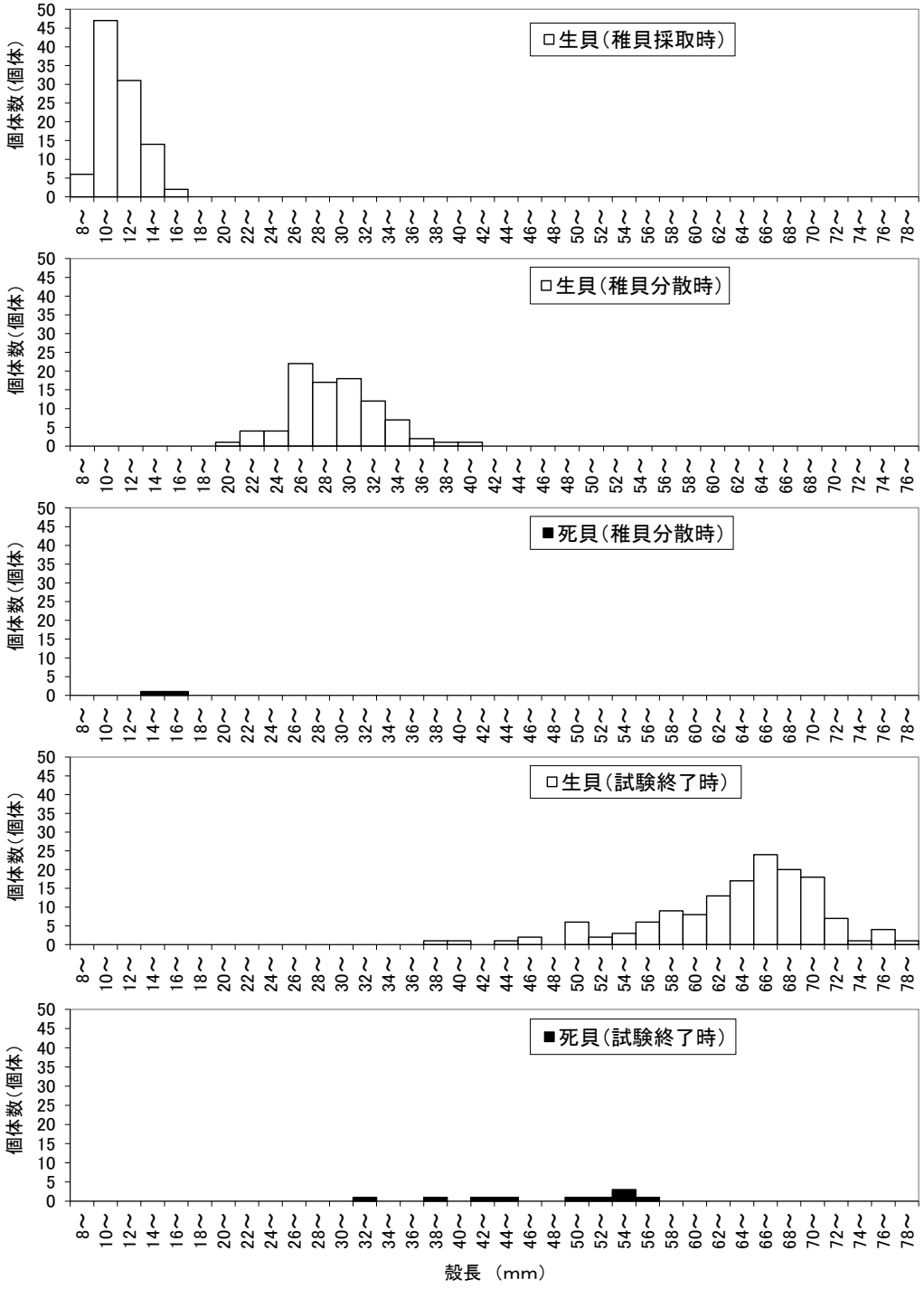

図 10　時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設の水温の推移を図 11 に示した。なお、平成 23 年 8 月 9 日～平成 23 年 12 月 19 日においては、潮流の影響により全ての観測機器が幹綱から外れて紛失したため、水温、幹綱深度、流向流速は欠測となっている。

水温は 2.9～9.9℃の間で推移しており、短期間で 2℃程度、大きく変化することがしばしば見られた。これは、玉付け作業によって幹綱水深が浅くなったこと及び湾内外への海水の流出入による影響と考えられた。

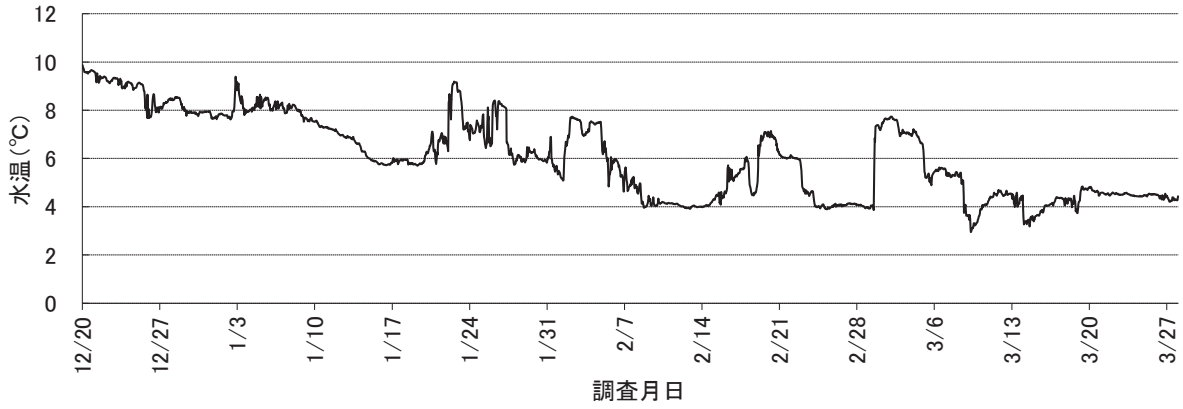

図 11　養殖施設の水温の推移

養殖施設の幹綱水深の変化を図 12 に、幹綱の上下動を図 13 に示した。

幹綱水深は、平成 23 年 12 月 20 日に約 12m であった。その後、次第に深くなっていたが、平成 24 年 1 月 18 日、2 月 14 日、2 月 29 日及び 3 月 14 日の計 4 回、幹綱水深を約 15m 前後に維持するように玉付け作業がなされていた。

また、幹綱の上下動については、加速度がほぼ一定の値で推移していることから、波浪の影響をあまり受けず、比較的安定していたものと考えられた。

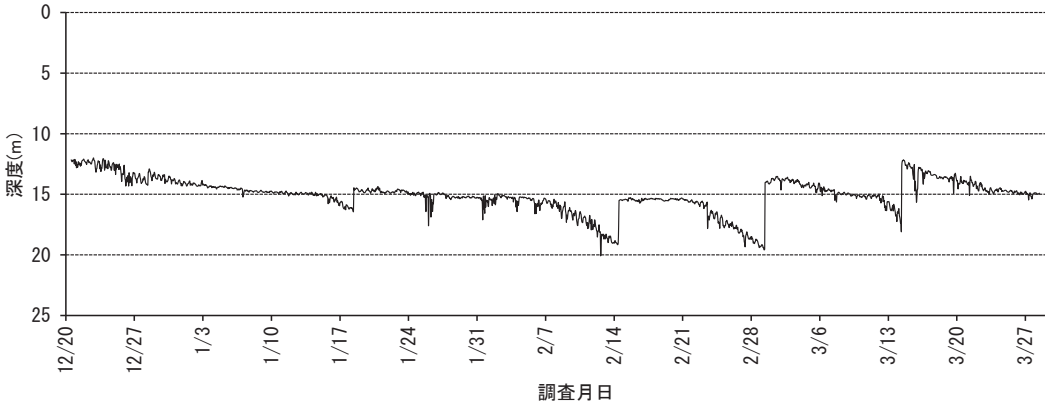

図 12　養殖施設の幹綱水深の変化

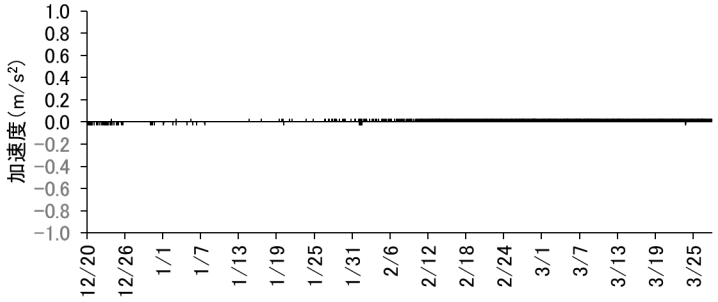

図 13　養殖施設の幹綱の上下動

養殖施設の流向流速の推移を図 14 に示した。

平成 23 年 12 月 20 日～平成 24 年 3 月 28 日における最高流速は 12 月 23 日の 0.14m/s（0.26 ノット）であり、0.54m/s（1 ノット）以上の強い流れは観測されなかった。

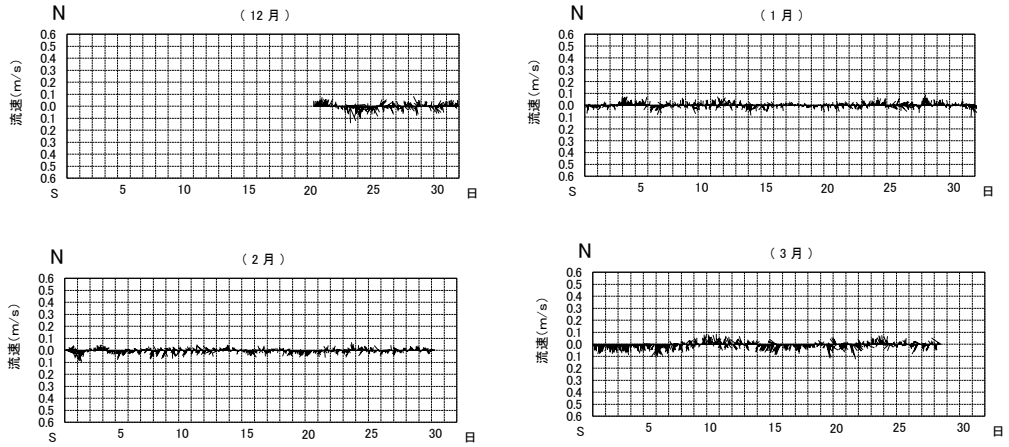

図 14　養殖施設の流向流速の推移

以上の結果から、波浪による施設の上下動や潮流の影響が少なかったため、へい死率が比較的低かったものと考えられた。

(2) 平内町小湊

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表 4 に、養殖施設の構造を表 5 に示した。作業時期については、稚貝採取及び稚貝分散が前年度に比べ約 10 日程度遅れていた。また、施設の基本的な構造については、例年とほぼ同じであったが、前年度とは漁場水深が 26m から 20m に、幹綱長が 160m から 120m に、稚貝採取時のパールネットの目合が 2 分から 1 分 5 厘に、パールネット 1 段あたりの収容数が稚貝採取時において 150 個体から 200 個体に、稚貝分散時において 12～13 個体から 20 個体に、稚貝採取時に用いた篩の目合が 2 分から 1 分 5 厘に、稚貝分散時に用いた選別機の目合が 18 ㎜から 16.5 ㎜に変わっていた。

表 4 養殖作業等の時期

稚貝採取	稚貝分散	試験終了
H23.8.20	H23.10.23	H24.3.29

表 5　養殖施設の構造

漁場水深	幹綱水深		幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵	
	稚貝採取時	分散時			重量	個数		
20m	6m	7m	120m	80m	100kg	片側2丁	60kg2個	

	調整玉			底玉(最初)		パールネット					備考
	種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数	錘	
稚貝採取時	発泡	1個	7ヶ所	ABS製1尺2寸 ABS製1尺3寸	13個 2個	1分5厘	8段	420連	200個体/段	鉛100匁	篩の目合1分5厘
分散時	発泡	1個	7ヶ所	ABS製1尺2寸 ABS製1尺3寸	45個	3分	8段	500連	20個体/段	鉛75匁	選別機の目合16.5mm

※1　両端がABS製1尺2寸、その内側5ヶ所はABS製1尺

ホタテガイの測定結果を表 6 に示した。また、平成 18 年度から平成 23 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 15～17 に示した。

稚貝採取時のへい死率は 1.0%、殻長は 8.5 ㎜であり、過去 5 ヵ年と比較すると、へい死率は例年並みに低い値であったが、殻長は前年度と同様、低い値であった。

稚貝分散時のへい死率は 8.4%、殻長は 21.2mm であり、過去 5 ヵ年と比較すると、へい死率は異常高水温の影響により過去最高であった前年度を除いた値とほぼ同様に低く、殻長は過去最低であった前年度に次いで低い値であった。

試験終了時のへい死率は 3.6%、異常貝率は 0.5%であり、過去 5 ヵ年と比較すると、極端に高い値ではなかった。殻長、全重量、軟体部重量はそれぞれ 63.9mm、29.3g、11.9g であり、過去 5 ヵ年と比較すると、

過去最低であった前年度に次いで低い値であった。

表 6　ホタテガイの測定結果

作業内容	調査年月日	サンプリング方法	生貝（枚）	死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率（%）	異常貝出現率（%）	殻長（mm）平均値±SD	全重量（g）平均値±SD	軟体部重量（g）平均値±SD	軟体部歩留（%）
稚貝採取	H23.8.20	選別後の稚貝を適宜	290	3	−	1.0	−	8.5 ± 1.1	−	−	−
分散	H23.10.23	パールネット（未分散）1段分	174	16	−	8.4	−	21.2 ± 2.0	−	−	−
試験終了	H24.3.29	パールネット（未分散）1段分	187	7	1	3.6	0.5	63.9 ± 5.5	29.3 ± 6.6	11.9 ± 2.9	40.6

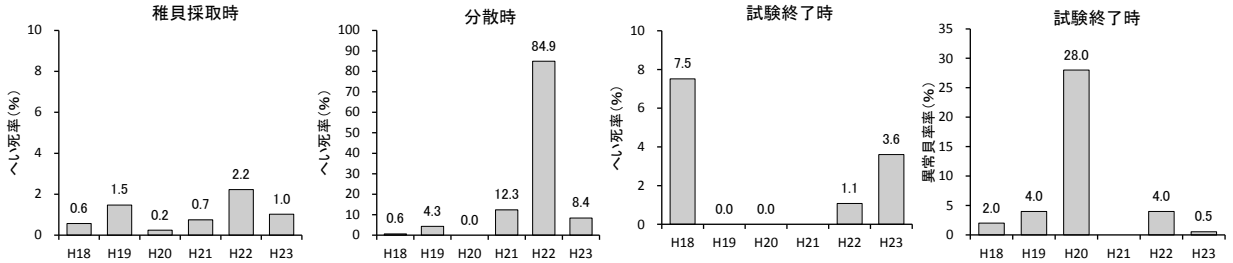

図 15　年度別、時期別のホタテガイのへい死率、異常貝率の推移

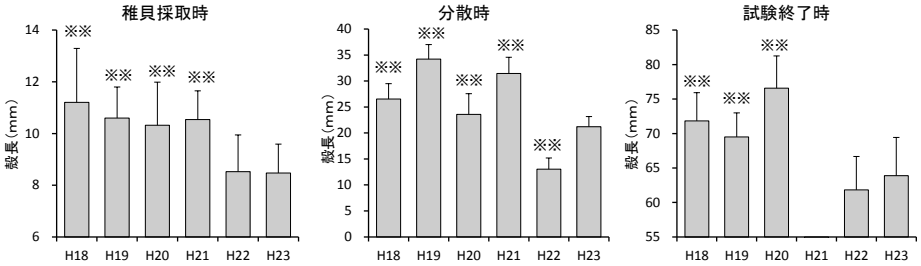

図 16　年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移
（バーは標準偏差、※※は H23 と比較して P<0.01 で有意差あり）

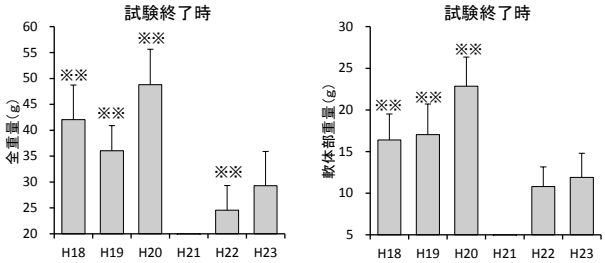

図 17　年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移
（バーは標準偏差、※※は H23 と比較して P<0.01 で有意差あり）

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図 18 に示した。

平成 23 年 8 月 20 日の稚貝採取時の生貝殻長と、10 月 23 日の稚貝分散時の死貝殻長がほとんど同じであることから、稚貝分散時の死貝は稚貝採取後にほとんど成長できないままへい死に至ったものと考えられた。

また、平成 24 年 3 月 29 日の試験終了時において、①死貝殻長が 2 個体を除いて平成 23 年 10 月 23 日の稚貝分散時の生貝殻長よりもやや大きく、大部分は稚貝分散後、かなり成長してからへい死に至った、②死貝殻長が広範囲にわたっていることから、へい死時期は特定の時期ではなく、徐々にへい死が起きたと考えられた。なお、生貝殻長は 62～64 ㎜と 70～72 ㎜の 2 つのピークが見られることから、ホタテガイが何らかのダメージを受け、その程度の差により成長の良い貝と悪い貝が生じた可能性が考えられた。

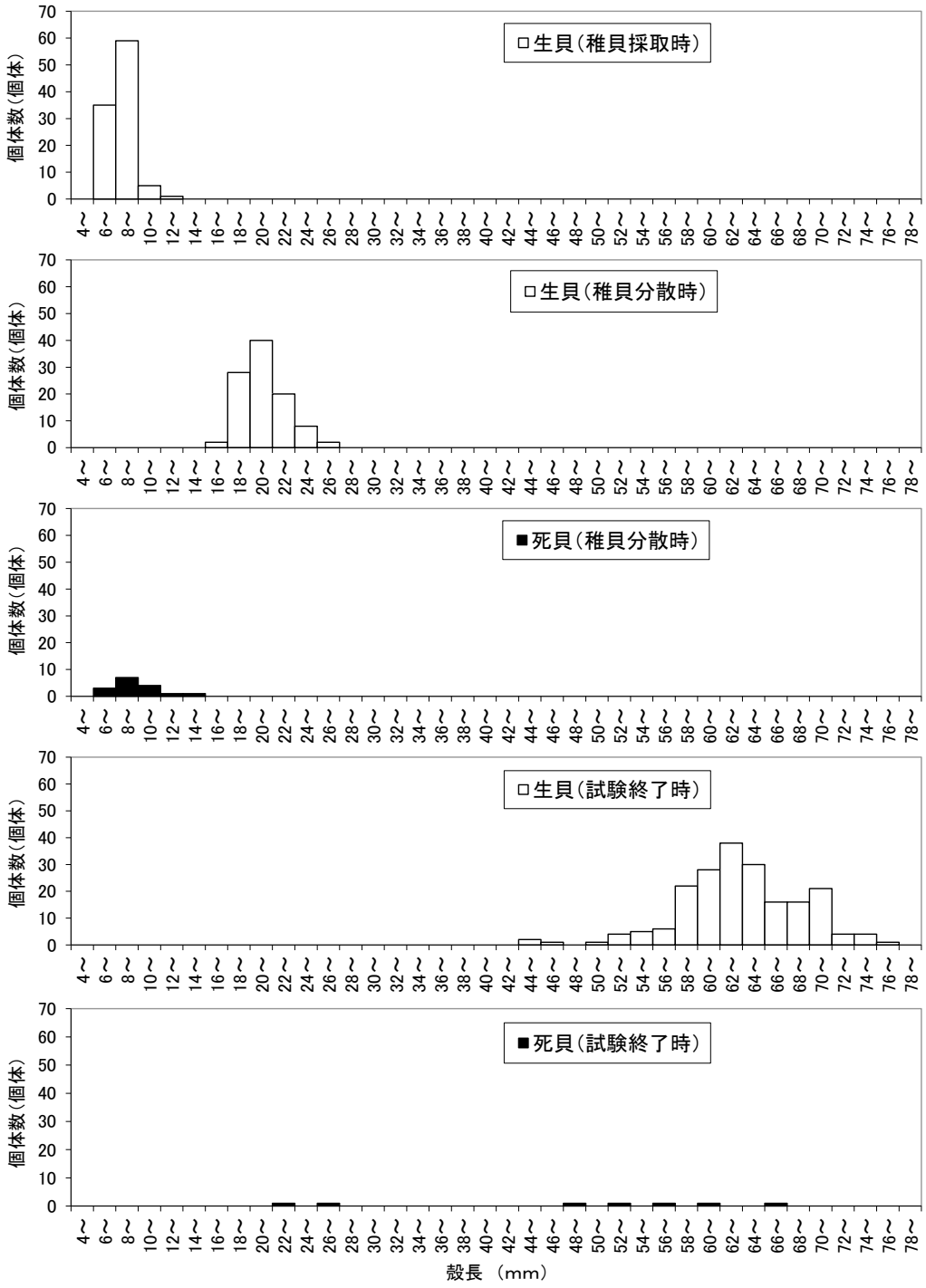

図 18　時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設の水温の推移を図 19 に示した。

調査期間を通じての最高水温は 24.1℃（平成 23 年 8 月 29 日)、最低水温は 1.3℃（平成 24 年 2 月 24 日）であった。

図 19　養殖施設の水温の推移

養殖施設の幹綱水深の変化を図 20 に、幹綱の上下動を図 21 に示した。

幹綱水深が約 8m を維持するように施設管理されていたが、ホタテガイや付着生物の成長に伴い、幹綱が少しずつ沈み込む様子がたびたび見られた。また、平成 23 年 9 月 21 日～22 日、10 月 7 日、11 月 25 日、12 月 4 日、平成 24 年 1 月 20 日、2 月 1 日、3 月 7 日において、幹綱水深が大きく変化していた。

幹綱の上下動については、加速度がほぼ一定の値で推移していることから、養殖施設は波浪の影響をあまり受けず、比較的安定していたものと考えられた。

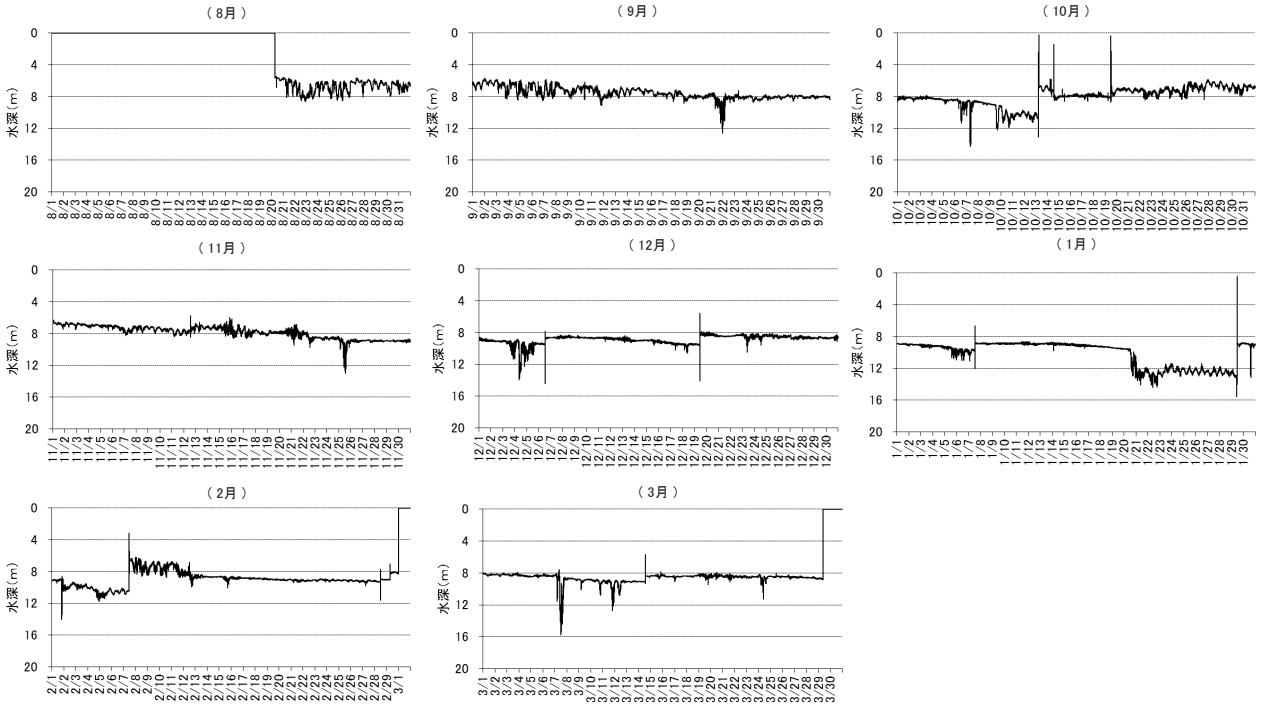

図 20　養殖施設の幹綱水深の変化

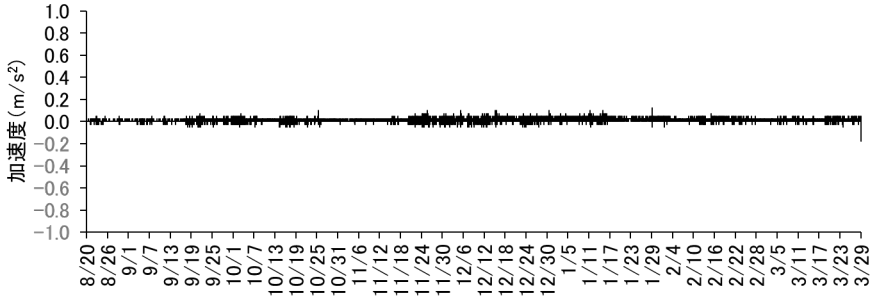

図 21　養殖施設の幹綱の上下動

養殖施設の流向流速の推移を図 22 に示した。

平成 23 年 8 月 20 日～9 月 23 日にかけて、0.1m/s（約 0.185 ノット）を超える流れの観測された日が多かったが、9 月 23 日以降、観測終了時までにおいては 0.1m/s（約 0.185 ノット）を超える流れが観測された日は少なかった。また、観測期間を通じての最高流速は平成 23 年 9 月 21 日の 0.23 m/s（約 0.43 ノット）であり、0.54m/s（1 ノット）以上の強い流れは観測されなかった。

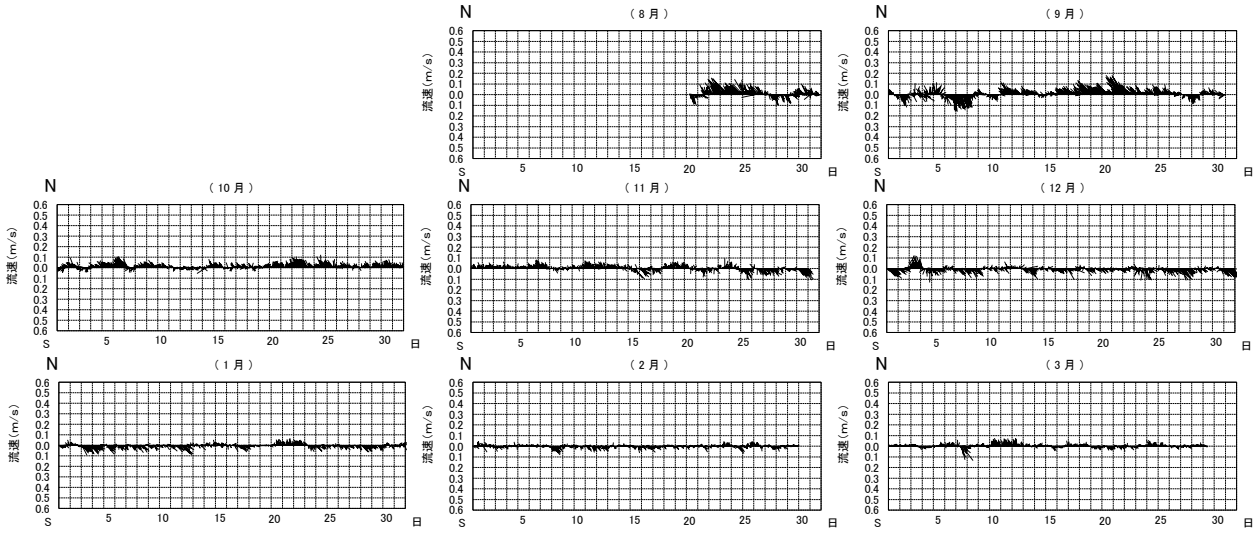

図 22　養殖施設の流向流速の推移

以上の結果から、波浪による施設の上下動や潮流の影響が少なかったため、へい死率は比較的低かったものと考えられた。なお、試験終了時の生貝に成長差があること、死貝が成長後に断続的にへい死していること、幹綱水深に大きな変化が見られることから、潮流による急激な施設の沈み込みによる貝のぶつかり合いの影響があったものと考えられた。

(3) むつ市川内町

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表 7 に、養殖施設の構造を表 8 に示した。作業時期については、前年度に比べ稚貝採取は 5 日遅れていたが、稚貝分散は 1 ヶ月以上早い時期に行われていた。施設の基本的な構造等は例年とほぼ同じであったが、前年度とは稚貝採取時の幹綱水深が 15m から 20m に、錨綱長が 130m から 150m に、アンカーが片側 1 丁から片側 2 丁に、稚貝分散時のパールネットの目合が 3 分 5 厘から 3 分に、稚貝採取時のパールネットの連数が 450 連から 270 連に、稚貝採取時に用いた篩の目合が 2 分から 2 分 2 厘に、稚貝分散時に用いた選別機の目合が 21 ㎜から 23 ㎜に変わっていた。

表 7 養殖作業等の時期

稚貝採取	稚貝分散	試験終了
H23.8.14	H23.10.13	H24.3.22

表 8　養殖施設の構造

漁場水深	幹綱水深		幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵	
	稚貝採取時	分散時			重量	個数		
35m	20m	15m	200m	150m	100kg	片側2丁	無	

	調整玉			底玉(最初)		パールネット					備考
	種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数	錘	
稚貝採取時	※1	1個	7ヶ所	ABS製1尺2寸	10個	2分	8段	270連	100個体/段	鉛70匁	篩の目合2分2厘
分散時	※1	1個	7ヶ所	ABS製1尺2寸	20個	3分	8段	500連	15個体/段	鉛75匁	選別機の目合23mm

※1　両端がABS製1尺2寸、その内側5ヶ所はABS製1尺

ホタテガイの測定結果を表 9 に示した。また、平成 19 年度から平成 23 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 23～25 に示した。

表 9　ホタテガイの測定結果

作業内容	調査年月日	サンプリング方法	生貝（枚）	死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率（%）	異常貝出現率（%）	殻長（mm）平均値±SD	全重量（g）平均値±SD	軟体部重量（g）平均値±SD	軟体部歩留（%）
稚貝採取	H23.8.14	選別後の稚貝を適宜	105	1	−	0.9	−	7.5 ± 1.0	−	−	−
分散	H23.10.13	パールネット(未分散)1段分	77	2	−	2.5	−	28.2 ± 3.3	−	−	−
試験終了	H24.3.22	パールネット1連分	123	1	6	0.8	4.9	70.4 ± 3.2	35.2 ± 4.2	14.9 ± 1.9	42.4

稚貝採取時のへい死率は 0.9%、殻長は 7.5 ㎜であり、過去 4 ヵ年と比較すると、へい死率は例年並みに低く、殻長は最も小さかった。

稚貝分散時のへい死率は 2.5%、殻長は 28.2mm であり、過去 4 ヵ年と比較すると、へい死率は異常高水温の影響により過去最高であった前年度を除いた値とほぼ同様に低く、殻長は過去最低であった前年度に次いで低い値であった。

試験終了時のへい死率は 0.8%、異常貝率は 4.9%と、へい死率は低く、異常貝率も極端に高い値ではないものの、過去 4 ヵ年で最も高い値を示した。殻長、全重量、軟体部重量はそれぞれ 70.4mm、35.2g、14.9g であり、過去 4 ヵ年と比較すると、ほぼ例年並みの値であった。

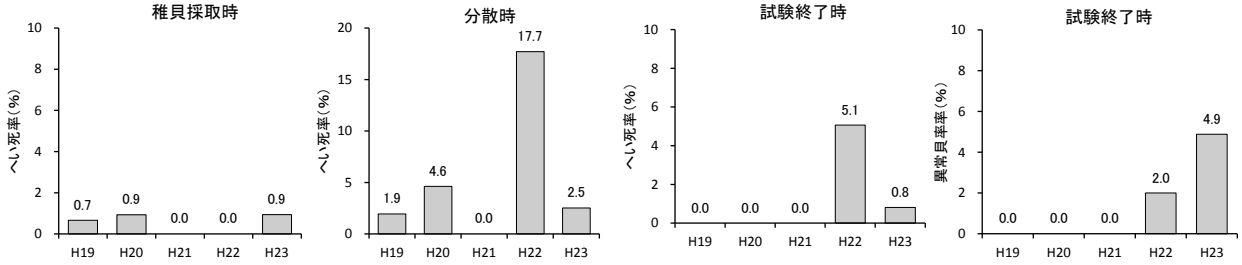

図 23　年度別、時期別のホタテガイのへい死率、異常貝率の推移

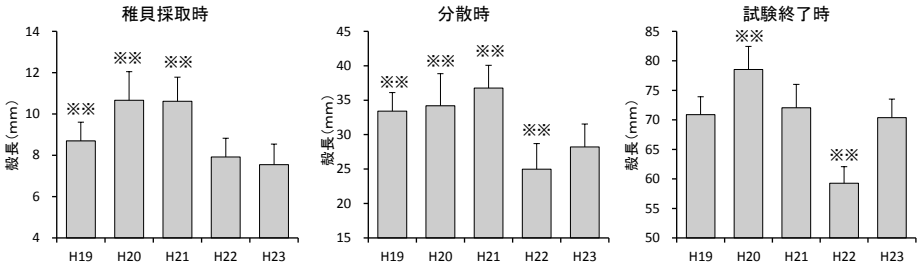

図 24　年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移
（バーは標準偏差、※※は H23 と比較して P<0.01 で有意差あり）

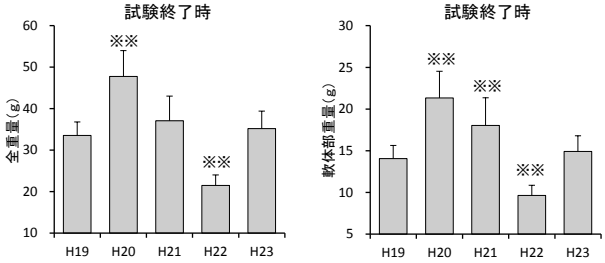

図 25　年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移
（バーは標準偏差、※※は H23 と比較して P<0.01 で有意差あり）

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図 26 に示した。

平成 23 年 8 月 14 日の稚貝採取時の生貝殻長と、10 月 13 日の稚貝分散時の死貝殻長がほとんど同じであることから、稚貝分散時の死貝は稚貝採取後にほとんど成長できないままへい死に至ったものと考えられた。

また、平成 24 年 3 月 22 日の試験終了時における死貝殻長と平成 23 年 10 月 13 日の稚貝分散時の生貝殻

長がほとんど同じであることから、試験終了時の死貝についても稚貝分散後にほとんど成長できないままへい死に至ったものと考えられた。

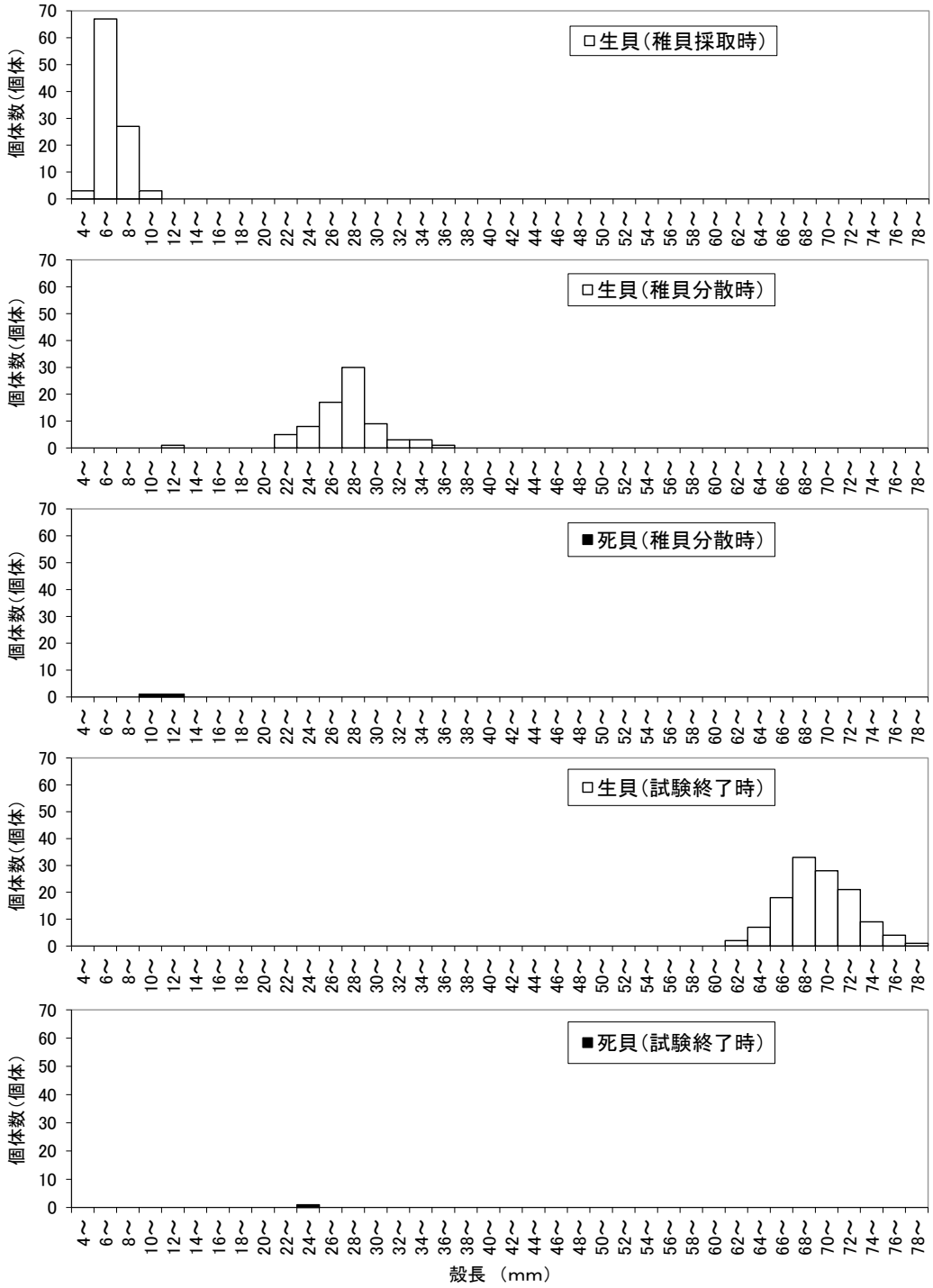

図 26　時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設の水温の推移を図 27 に示した。

調査期間を通じての最高水温は 24.1℃（平成 23 年 9 月 4 日）、最低水温は 1.1℃（平成 24 年 2 月 19 日、2 月 20 日）であった。

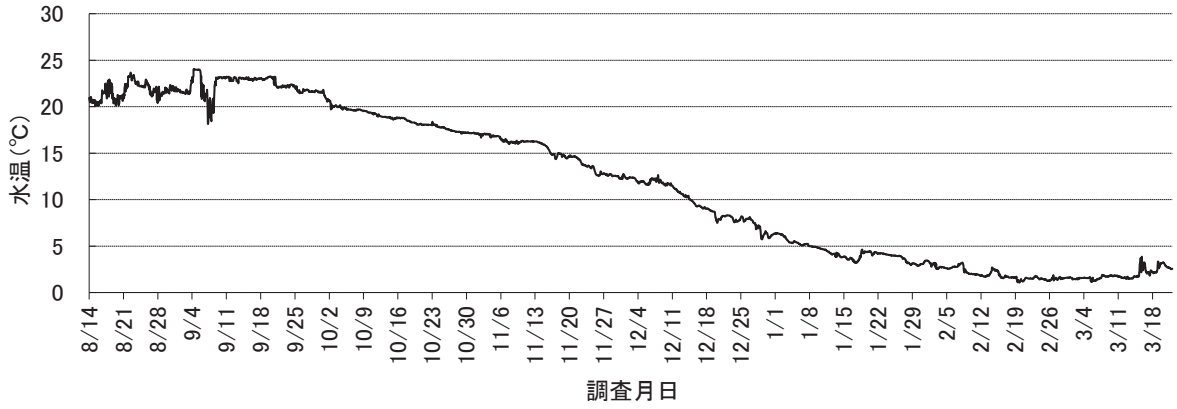

図 27　養殖施設の水温の推移

養殖施設の幹綱水深の変化を図 28 に、幹綱の上下動を図 29 に示した。なお、深度計及び加速度計については、平成 24 年 1 月 17 日以降は未設置のため欠測となっている。

幹綱水深が平成 23 年 8 月 14 日～9 月 9 日には約 21m、9 月 9 日～12 月 2 日には約 16m、平成 23 年 12 月 2 日～平成 24 年 1 月 16 日には約 12m を維持するように施設管理されていたが、ホタテガイや付着生物の成長に伴い、幹綱が少しずつ沈み込む様子がたびたび見られた。また、平成 23 年 9 月 6 日～9 月 8 日、11 月 21 日、11 月 24 日～11 月 25 日、11 月 27 日、12 月 23 日、12 月 28 日には幹綱水深が大きく変化していた。

また、幹綱の上下動については、加速度がほぼ一定の値で推移していることから、波浪の影響をあまり受けず、比較的安定していたものと考えられた。

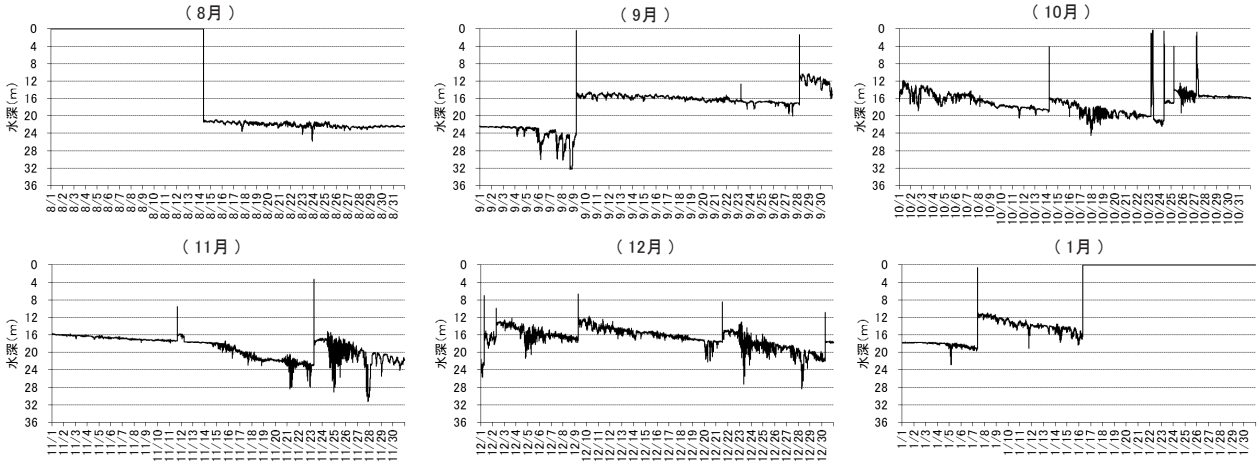

図 28　養殖施設の幹綱水深の変化

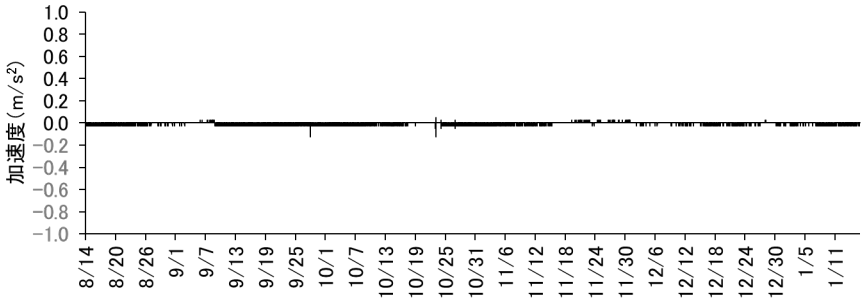

図 29　養殖施設の幹綱の上下動

養殖施設の流向流速の推移を図 30 に示した。

平成 23 年 10 月 29 日～10 月 17 日、平成 23 年 11 月 29 日～平成 24 年 1 月 16 日について、ほぼ同じ向きと速さの流れであった。平成 24 年 1 月 16 日にメンテナンスのため流向流速計を交換しており、交換後の流向流速が一定ではないことから、これらの期間における流向流速は計器によるエラー値の可能性が高いと考えられる。これらエラー値の可能性が高い期間を除く観測期間を通じての最高流速は平成 23 年 9 月 8 日の 0.29m/s（約 0.54 ノット）であり、0.54m/s（1 ノット）以上の強い流れは観測されなかった。

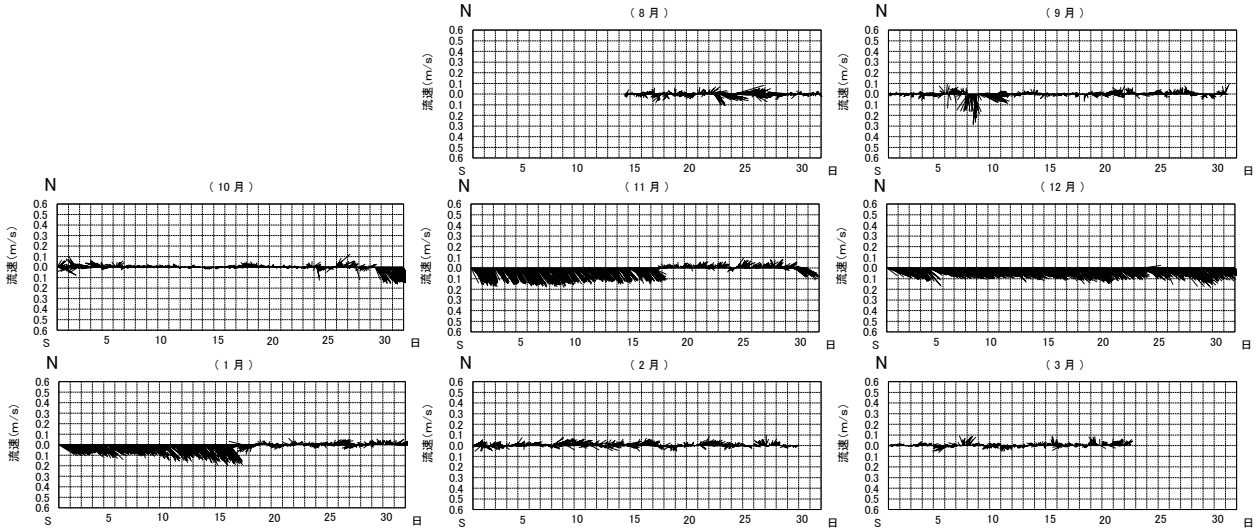

図 30　養殖施設の流向流速の推移

以上の結果から、波浪による施設の上下動や潮流の影響が少なかったため、へい死率が比較的低かったものと考えられた。

2　ホタテガイのへい死対策

(1) ゴム式改良調整玉の経費削減に向けた更なる改良

ホタテガイの測定結果を表 10、図 31 に示した。

へい死率はゴム 2m×2 本区が 0～2.2%(平均 0.9%)、ゴム 2m×1 本区が 3.1～5.0%(平均 4.2%)、ゴム 1m×1 本区が 0～27.1%(平均 11.3%)、従来調整玉区が 1.4～5.5%(平均 3.9%)で、ゴム 1m×1 本区でやや高いへい死率であった。

異常貝率はゴム 1m×1 本区の上段で 21.4%、中段で 18.5%、下段で 12.5%、従来調整玉区の中段で 25.5%と、他の試験区に比べやや高い値であった。

平均殻長はゴム 2m×2 本区が 18.7～23.3mm(平均 21.2mm)、ゴム 2m×1 本区が 17.8～21.6mm(平均 20.4mm)、ゴム 1m×1 本区が 16.6～20.8mm(平均 19.1mm)、従来調整玉区が 14.8～20.3mm(平均 17.6mm)であった。従来調整玉区と比較するため、段別に平均値の差の検定を有意水準 1%で行ったところ、ゴム 2m×2 本区、ゴム 2m×1 本区の全ての段及びゴム 1m×1 本区の上段で有意差が見られた。

表 10　ホタテガイの測定結果

	ゴム2m×2本区			ゴム2m×1本区			ゴム1m×1本区			従来調整玉区		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
生貝(個体)	120	108	89	94	85	115	70	92	112	104	94	71
死貝(個体)	1	0	2	3	4	6	26	9	0	6	4	1
へい死率(%)	0.8	0.0	2.2	3.1	4.5	5.0	27.1	8.9	0.0	5.5	4.1	1.4
異常貝率(%)	8.3	2.8	6.7	8.5	4.7	4.3	21.4	18.5	12.5	2.9	25.5	7.0
平均殻長(mm)	18.7	22.2	23.3	17.8	21.5	21.6	16.6	18.9	20.8	14.8	19.0	20.3

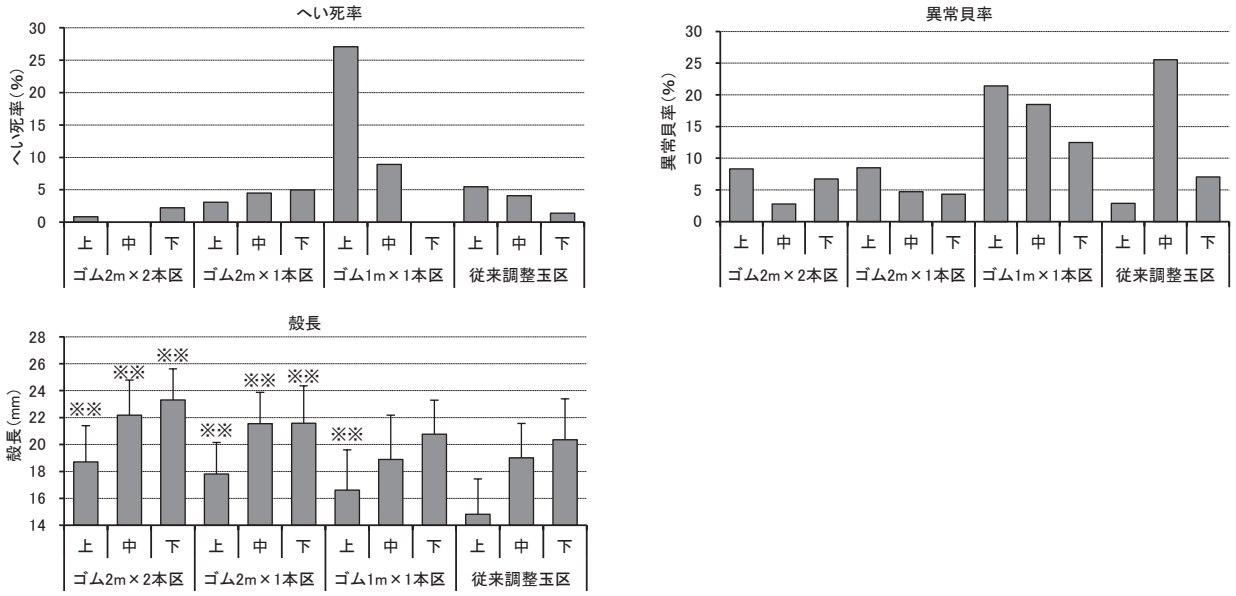

図 31　ホタテガイの測定結果(バーは標準偏差､従来調整玉区と段別に比較した場合、※※は P<0.01 で有意差あり)

養殖施設の幹綱の垂直方向における加速度の推移を図 32 に示した。

各試験区の加速度を比較するために分散を求めたところ、ゴム 2m×1 本区が 0.00217 m/s^2、従来調整玉区が 0.00229 m/s^{2}と大きく、ゴム 2m×2 本区及びゴム 1m×1 本区が 0.00107m/s^{2}と小さかった(図 33)。

ゴム 2m×1 本区よりもゴム 1m×1 本区で加速度は小さかったが、ホタテガイの成長はゴム 1m×1 本区よりもゴム 2m×1 本区が良かった。なお、試験区の設置において、加速度計を取り付けた土俵を垂下する際にこれらの試験区を誤って逆に取り付けた可能性が高いため、今後、同様の試験を行って再確認する必要がある。

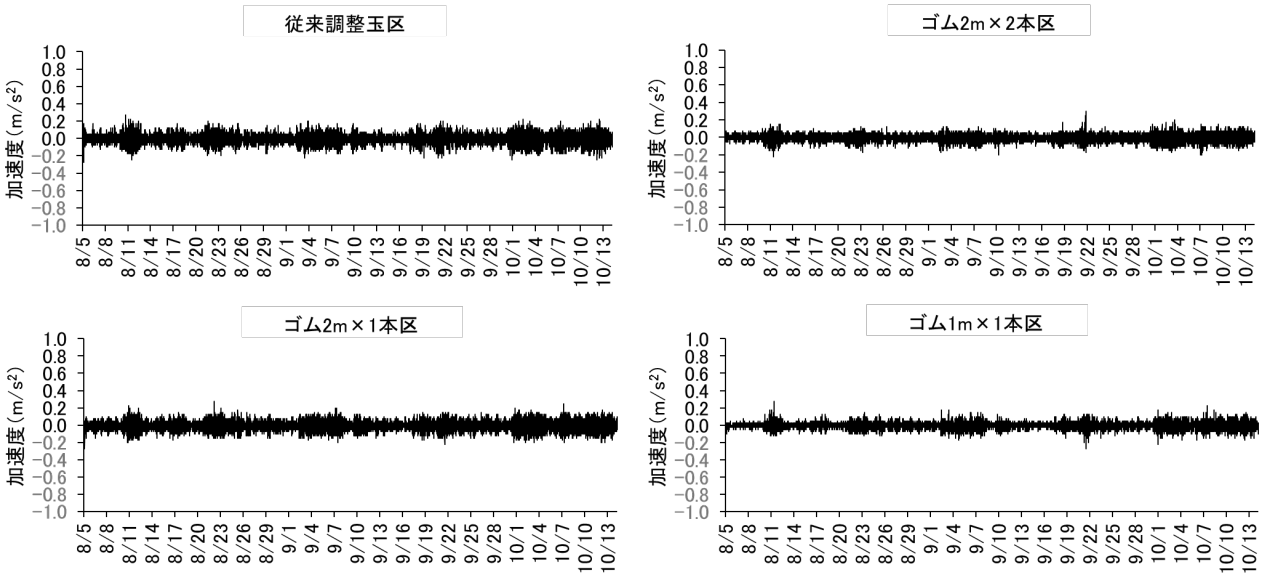

図 32　養殖施設の幹綱の垂直方向における加速度の推移

また、従来調整玉区よりもゴム 2m×2 本区で加速度の分散は小さかったが、平成 22 年度に実施した試験[2)]において、同じ 2m のショックコードを 2 本使用した試験区の加速度の分散は 0.00017m/s^2 と今回（0.00107m/s^2）よりもかなり小さかった。これは、平成 22 年度の試験では、垂下した土俵の重さが 10kg であったのに対し、今回の試験では 20kg と重く、養殖施設がやや沈み、ゴムが伸びきらないまでも少し伸びた状態になり、波浪による上下動を抑制するゴムの効果が弱まっていたためと考えられる。

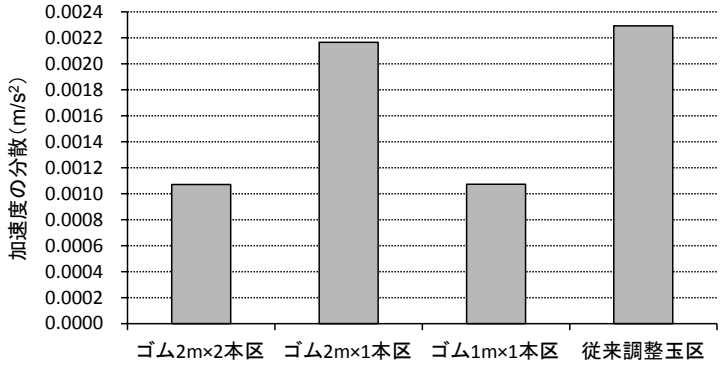

図 33　加速度の分散

以上の結果から、ゴム 2m×2 本区及びゴム 2m×1 本区において、へい死率が低く、ホタテガイの成長も良いことから、ゴムの本数を 2 本から 1 本へ減らすことで経費削減が可能であると考えられた。

(2) ゴム式改良調整玉を使用した場合の養殖管理手法の検討

ホタテガイの測定結果を表 11、図 34 に示した。

へい死率はゴム底玉なし区が 4.3～13.8%(平均 11.1%)、ゴム底玉あり区が 0～13.8%(平均 8.0%)、ゴム土俵 10kg 区が 4.8～16.7%(平均 11.5%)、従来調整玉区が 29.4～41.7%(平均 35.1%)で、ゴム式改良調整玉の試験区で低く、従来調整玉区で高い値を示していた。ゴム式改良調整玉の試験区の中でもゴム底玉あり区で特にへい死率が低かった。

異常貝率はゴム底玉なし区の上段で 4.5%、ゴム土俵 10kg 区の中段で 5.0%の他は 0%であり、全体的に低かった。

平均殻長、平均全重量、平均軟体部重量はゴム底玉なし区がそれぞれ 60.0～72.1mm(平均 66.5mm)、31.7～45.5g(平均 39.2g)、11.1～18.1g(平均 14.3g)、ゴム底玉あり区が 72.7～76.8mm(平均 74.8mm)、45.3～51.1g(平均 48.2g)、18.0～19.8g(平均 19.0g)、ゴム土俵 10kg 区が 69.0～71.1mm(平均 70.0mm)、40.6～43.1g(平均 41.8g)、14.8～17.0g(平均 15.6g)、従来調整玉区が 62.1～69.2mm(平均 66.0mm)、29.9～40.7g(平均 35.7g)、10.9～14.3g(平均 13.0g)であった。従来調整玉区と比較するため、段別に平均値の差の検定を有意水準 1%で行ったところ、殻長、全重量及び軟体部重量について、ゴム底玉あり区の全ての段及びゴム土俵 10kg 区の上段で有意差が見られた。

表 11　ホタテガイの測定結果

	ゴム底玉なし区			ゴム底玉あり区			ゴム土俵10kg区			従来調整玉区		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
生貝(個体)	22	25	25	25	30	26	30	40	30	14	25	24
死貝(個体)	1	4	4	4	0	3	5	2	6	10	14	10
へい死率(%)	4.3	13.8	13.8	13.8	0.0	10.3	14.3	4.8	16.7	41.7	35.9	29.4
異常貝率(%)	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
平均殻長(mm)	60.0	67.2	72.1	72.7	74.9	76.8	69.0	69.9	71.1	62.1	66.6	69.2
平均全重量(g)	31.7	40.5	45.5	45.3	48.3	51.1	40.6	41.9	43.1	29.9	36.4	40.7
平均軟体部重量(g)	11.1	13.8	18.1	18.0	19.2	19.8	14.8	15.1	17.0	10.9	13.7	14.3

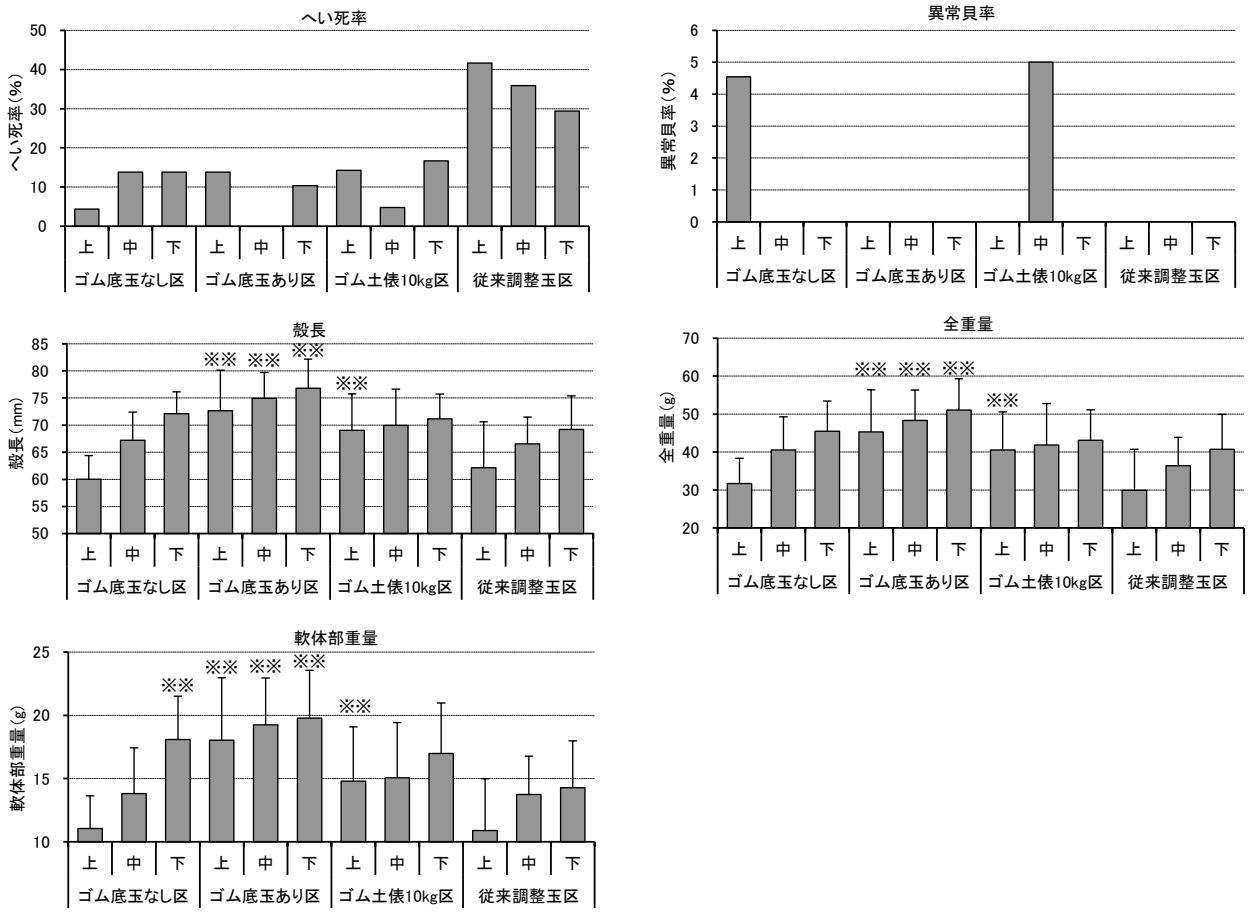

図 34　ホタテガイの測定結果(バーは標準偏差､従来調整玉区と段別に比較した場合、※※は P<0.01 で有意差あり)

養殖施設の幹綱の垂直方向における加速度の推移を図 35 に示した。

各試験区の加速度を比較するために分散を求めたところ、従来調整玉区が 0.00249 m/s^{2}と大きく、ゴム底玉なし区が 0.00109m/s^2、ゴム土俵 10kg 区が 0.00087m/s^2、ゴム底玉あり区が 0.00022m/s^{2}と小さかった(図 36)。ゴム式改良調整玉の試験区の中では、底玉を取り付けた試験区が最も小さい値を示した。

施設の上下動について、同じゴム式改良調整玉の試験区でも、底玉を付けた試験区が底玉を付けなかった試験区よりも抑制されており、また、土俵の重さについても 20kg の試験区よりも 10kg の試験区でやや抑制されていたことから、養殖施設が沈むと調整玉のゴムの伸びる余裕が少なくなり、少しの波浪でもゴムが伸びきった状態になり、ゴムによる施設の上下動の軽減効果が弱まると考えられた。

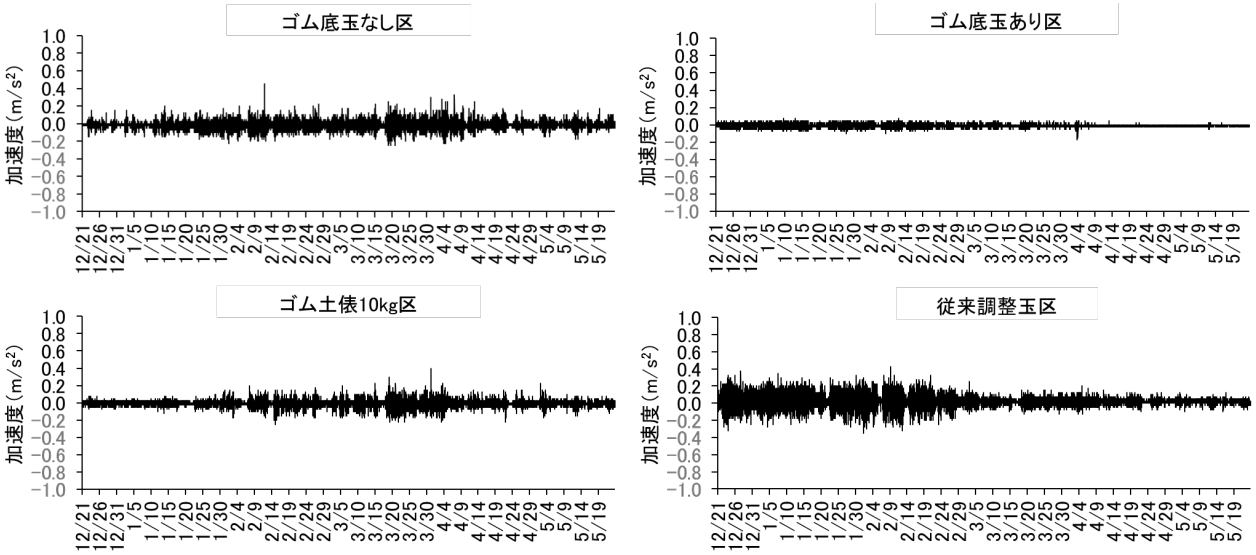

図 35　養殖施設の幹綱の垂直方向における加速度の推移

加速度やへい死率、ホタテガイの成長の結果から、ゴム式改良調整玉を使用した場合には、底玉を付けて養殖施設を浮き気味にすることにより波浪による上下動の軽減効果を得られることが明らかとなった。従来の調整玉を使用する場合は底玉を少なくし、施設の沈む力を強くすることにより、調整玉が波浪で上下せずに、波下に隠れるため、幹綱は上下動せず、施設を安定させることができる。これに対して、ゴム式改良調整玉を使用する場合は、底玉を多くし、施設が浮く力を強くしてゴムの伸縮性を維持することにより、調整玉は波浪で上下動するが、幹綱は上下動せず、施設を安定させることができることから、ゴムを用いた改良調整玉を使用する場合は従来と逆の発想で施設を管理する必要があると考えられた（図 37)。

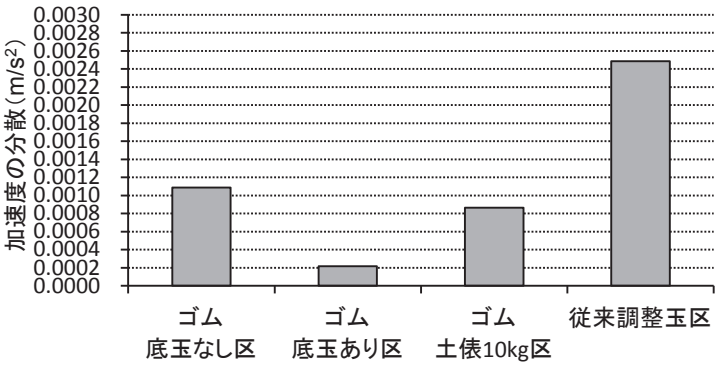

図 36　加速度の分散

また、養殖施設を沈めることができる比較的深い場所よりも、養殖施設を沈めることができない漁場水深の浅い場所で漁業者は底玉を多めに付ける傾向にあることから、ゴム式改良調整玉をより有効に活用できるものと考えられた。

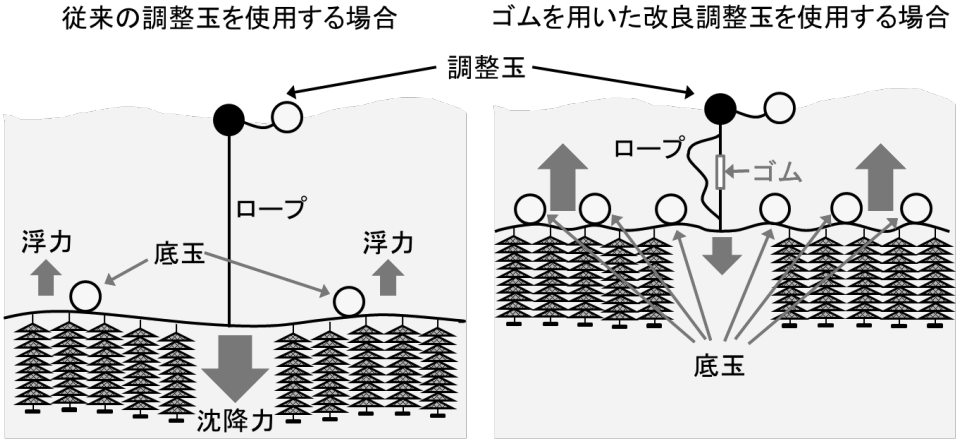

図 37　従来の調整玉及びゴム式改良調整玉を使用する場合の養殖管理手法の違い

(3) 漁業者の養殖施設におけるゴム式改良調整玉の効果の確認

ホタテガイの測定結果を表 12 と図 38～39 に示した。

へい死率は陸側養殖施設（以下、陸側）のゴム区が 1.9～11.4%(平均 7.0%)、ゴム区とゴム区の間が 6.4～17.6%(平均 11.0%)、従来区と従来区の間が 7.5～9.5%(平均 8.3%)、従来区が 7.7～20.0%(平均 14.0%)、沖側養殖施設（以下、沖側）の従来区が 1.6～4.7%(平均 2.7%)で、沖側よりも陸側で高い値を示していた。

また、同じ陸側では、従来区よりもゴム区のへい死率が低かった。さらに、ゴム区とゴム区の間、従来区と従来区の間についても、従来区に比べ、へい死率は低かった。

異常貝率は陸側のゴム区の下段で 14.0%とやや高い値であったが､その他の試験区については 0～8.1%であり、全体的に低かった。

平均殻長、平均全重量、平均軟体部重量は陸側のゴム区がそれぞれ 61.3～62.6mm(平均 62.0mm)、24.2～25.4g(平均 24.6g)、9.6～10.2g(平均 9.9g)、ゴム区とゴム区の間が 60.9～64.0mm(平均 62.7mm)、24.7～28.2g(平均 26.6g)、10.0～11.4g(平均 10.8g)､従来区と従来区の間が 63.5～64.5mm(平均 63.9mm)､27.0～28.0g(平均 27.6g)、10.7～11.4g(平均 11.1g)、従来区が 58.6～61.5mm(平均 59.7mm)、21.7～25.0g(平均 23.0g)､8.5～9.9g(平均 9.1g)､沖側の従来区が 60.9～65.0mm(平均 62.7mm)､24.5～27.7g(平均 26.4g)、9.2～10.6g(平均 10.0g)であった。陸側の従来区と比較するため、段別に平均値の差の検定を有意水準 1%で行ったところ、殻長についてはゴム区の上段、ゴム区とゴム区の上段、従来区と従来区の間の上、中段及び沖側の中段で、全重量についてはゴム区とゴム区の上段、従来区と従来区の間の上、中段及び沖側の中段で、軟体部重量についてはゴム区の中段、ゴム区とゴム区の上、中段、従来区と従来区の間の上、中段、沖側の中段でそれぞれ有意差が見られた。

表 12　ホタテガイの測定結果

	陸側												沖側		
	ゴム区			ゴム区とゴム区の間			従来区と従来区の間			従来区			従来区		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
生貝(個体)	51	39	43	42	44	43	47	37	38	43	48	44	62	54	61
死貝(個体)	1	5	4	9	3	4	4	3	4	7	4	11	1	1	3
へい死率(%)	1.9	11.4	8.5	17.6	6.4	8.5	7.8	7.5	9.5	14.0	7.7	20.0	1.6	1.8	4.7
異常貝率(%)	2.0	2.6	14.0	7.1	4.5	7.0	6.4	8.1	7.9	4.7	4.2	2.3	0.0	3.7	6.6
平均殻長(mm)	61.3	62.3	62.6	63.2	60.9	64.0	64.5	63.6	63.5	58.6	59.0	61.5	60.9	65.0	62.2
平均全重量(g)	24.3	24.2	25.4	27.0	24.7	28.2	27.0	28.0	27.7	22.4	21.7	25.0	24.5	27.7	27.1
平均軟体部重量(g)	9.6	10.0	10.2	10.9	10.0	11.4	10.7	11.4	11.3	8.8	8.5	9.9	9.2	10.6	10.3

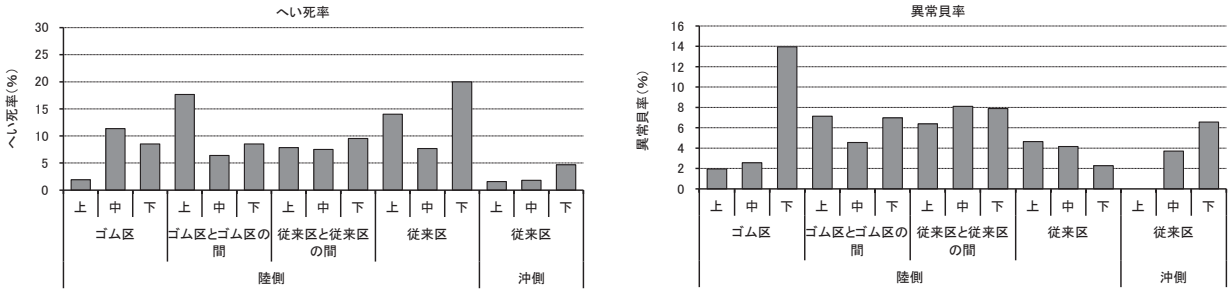

図 38　ホタテガイのへい死率、異常貝率

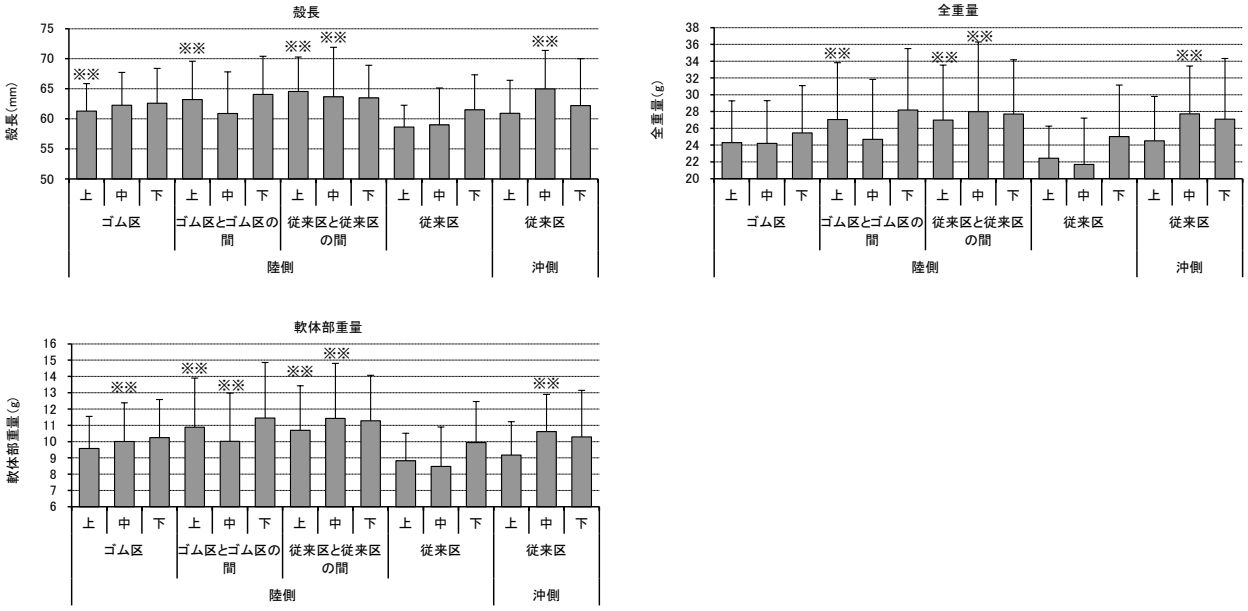

図 39　ホタテガイの殻長、全重量、軟体部重量
（バーは標準偏差、陸側の従来区と段別に比較した場合、※※は P<0.01 で有意差あり）

陸側と沖側の幹綱水深における日平均水温の推移を図 40 に示す。陸側は 3.4℃～16.3℃、沖側は 3.3℃～16.5℃の範囲で推移していた。また、平成 24 年 1 月 18 日～3 月 9 日、4 月 5 日～4 月 18 日の期間は、沖側よりも陸側で水温が高い日が多かった。

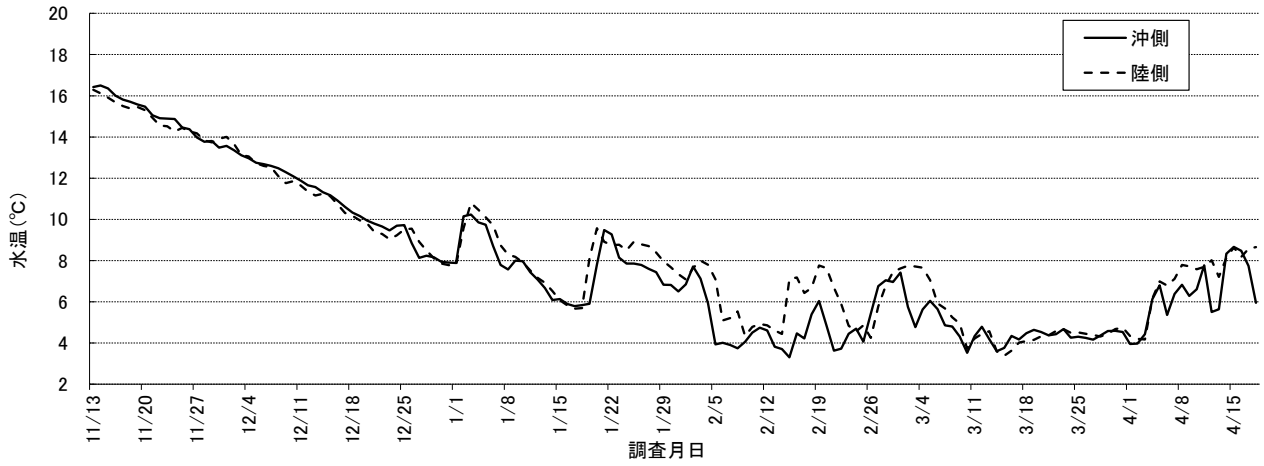

図 40　陸側と沖側の幹綱水深における日平均水温の推移

陸側と沖側の幹綱水深の推移を図 41、図 42 に示した。

陸側は水深約 7～8m を維持するように施設管理がなされており、幹綱水深の変化は小さかった。また、沖側については基本的に水深約 12m を維持するように施設管理がなされていたが、平成 23 年 11 月 24 日～25 日、12 月 5 日、12 月 18 日、12 月 24 日～29 日、平成 24 年 1 月 3 日、1 月 14 日、2 月 18 日、3 月 19～23 日、3 月 26 日、3 月 29 日～3 月 30 日、4 月 4 日、4 月 17 日に幹綱水深が急激に深くなっており、陸側に比べて幹綱水深が大きく変化していた。流速のデータがないため、はっきりしたことは言えないが、おそらく、潮流による影響を受けていたものと推察された。

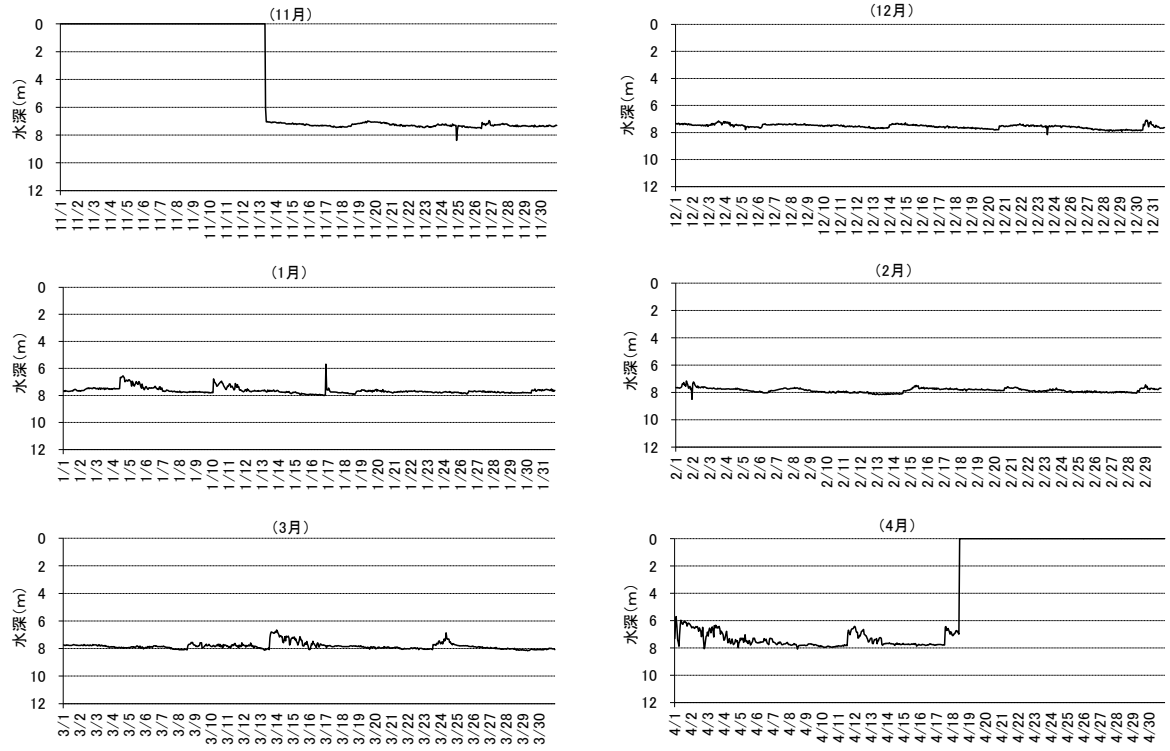

図 41　陸側の幹綱水深の推移

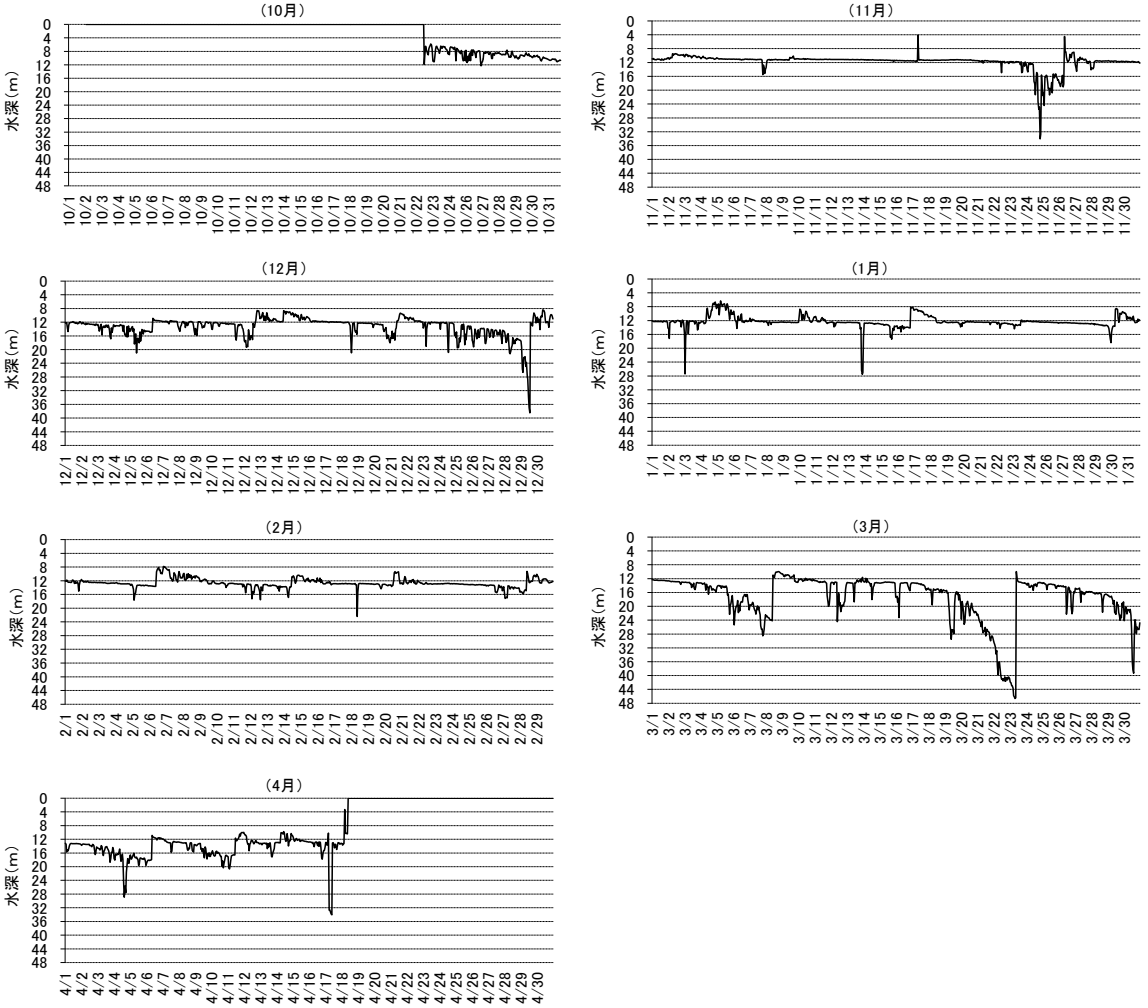

図 42　沖側の幹綱水深の推移

幹綱の上下方向の加速度を図 43 に示した。

加速度の波形を見ると、陸側の従来区に比べると、ゴム区とゴム区の間、従来区と従来区の間が非常に低いほか、陸側のゴム区、沖側の従来区の振れがやや小さかった。加速度を比較するために、分散を求めたところ、陸側の従来区が 0.00288m/s^{2}と最も大きく、次いで沖側の従来区が 0.00168m/s^2、陸側のゴム区が 0.00157m/s^2、ゴム区とゴム区の間が 0.00008m/s^2、従来区と従来区の間が 0.00002m/s^{2}であり、陸側のゴム区は、同じ陸側の従来区よりも約 4 割以上も揺れを軽減できることが分かった(図 44)。

また、調整玉と調整玉の間は、調整玉の真下に比べて養殖施設の上下動もほとんどなく、ホタテガイのへい死率が低く、成長が良い傾向が見られたことから、調整玉と調整玉の間ではホタテガイは波浪の影響をあまり受けていないと考えられた。なお、調整玉と調整玉の間における養殖施設の上下動についての結果については、平石らのシミュレーションに基づく結果[3)]とも一致しており、実際の漁業者の養殖施設がシミュレーションと同様の動きをしていることが今回の試験で確認できた。

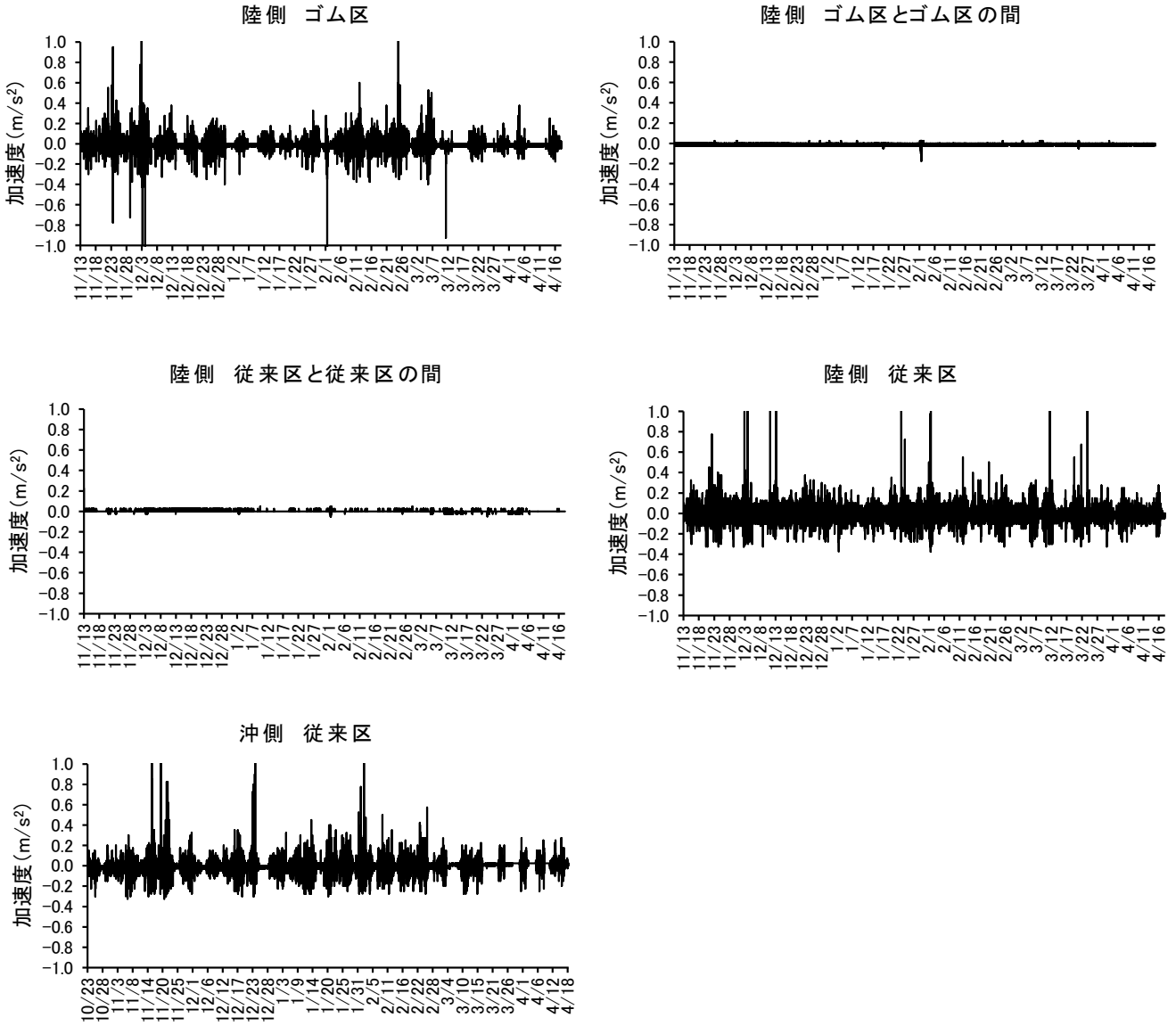

図 43 幹綱の上下方向の加速度

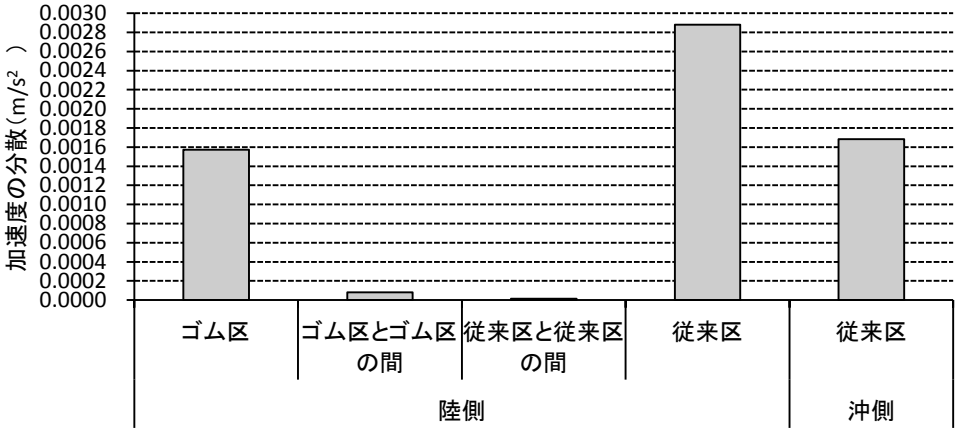

図 44　加速度の分散

今回の試験では同じ陸側でも従来区に比べゴム区のへい死率が低く、異常貝率についてはあまり差が見られなかったが、成長についてはゴム区でやや良好な傾向が見られたことから、漁業者の養殖施設においてもゴム式改良調整玉による波浪の軽減効果があったものと考えられた。

引 用 文 献

1) 吉田達・工藤敏博・山田嘉暢・小谷健二・川村要(2012) 海面養殖業高度化事業(ホタテガイ養殖技術モニタリング事業). 平成 21 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, 294-319.

2) 吉田達・工藤敏博・松尾みどり・小谷健二・川村要(2012) 海面養殖業高度化事業(ホタテガイ養殖技術モニタリング事業). 平成 22 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, 337-373.

3) 平石智徳・蛇沼俊二・本松敬一郎(2010) 陸奥湾における潮流や波浪に対するホタテガイ養殖施設の運動特性に関する調査報告書, 1-37.