

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

吉田 達・工藤 敏博・山田 嘉暢・小谷 健二・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、平内町茂浦、平内町小湊、横浜町、むつ市川内町の5地区(図1)において、同一の養殖施設に垂下されていたホタテガイを定期的に採取して、生貝数と死貝数を計数し、へい死率を求めた。また、稚貝採取時、分散時は生貝50個体を、試験終了時は生貝30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、全ての死貝の殻長を測定した。

ホタテガイを採取した地点の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、平成21年7月～平成22年3月まで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、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、HOB0 G Logger)を用いて、6分間隔でX軸(垂直)方向の加速度を記録した。

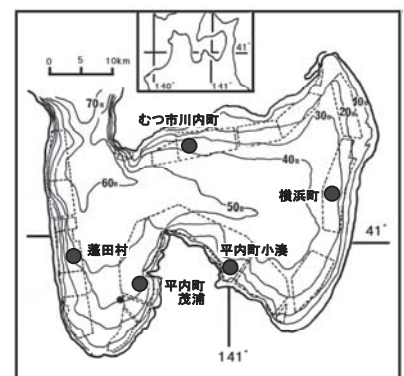


図1 モニタリング地点

2 ホタテガイのへい死原因の解明と対策

(1) 養殖施設の構造等に関する調査

漁業者のホタテガイ養殖施設の安定性を調べるために、平成21年5月19日～29日の春季養殖ホタテガイ実態調査時に、外ヶ浜町平館、青森市後潟・野内、平内町土屋・東田沢・清水川、むつ市、むつ市川内の8地区で、平成20年産貝を垂下した養殖施設の構造を漁業者から聞き取りした(図2)。

また、平成21年10月19日～28日の秋季養殖ホタテガイ実態調査時に、青森市後潟、平内町茂浦・清水川、むつ市、むつ市脇野沢の5地区で、平成21年産貝を垂下した養殖施設の構造を漁業者から聞き取りした(図2)。

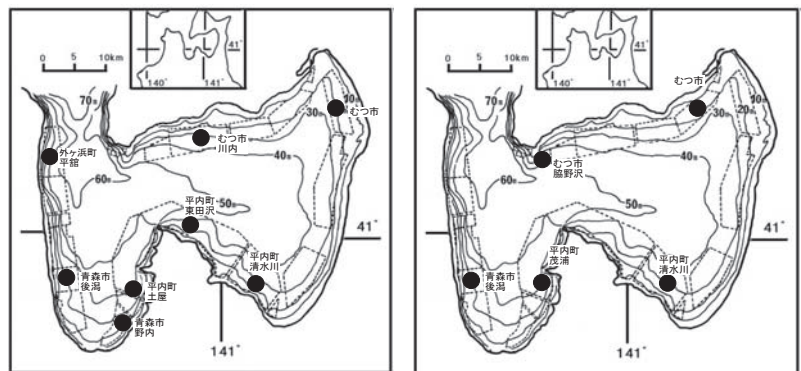


図2 養殖施設の構造等に関する調査地点(左は平成20年産貝、右は平成21年産貝)

(2) へい死原因を特定するための実証試験

1) 鍾の種類別試験

パールネットの鍾の種類とホタテガイの育成状況の関係を調べるために、目合 1.5 分 10 段のパールネットを用いて、①鍾なし、②下 2 段を太枠(直径 6.5mm、重量 338g)、③鉛 100 匁、④コンクリート 2kg の 4 種類を準備した。パールネットの上段(1 段目)、中段(5 段目)、下段(10 段目)にはメモリー式加速度計を付けて、5 分間隔で X 軸(垂直)方向、Y 軸と Z 軸(水平)方向の加速度を測定した(図 3)。パールネットにはホタテガイ稚貝を 100 個体/段ずつ収容し、平成 21 年 7 月 21 日に久栗坂実験漁場(図 4)の養殖施設(土俵なし、幹綱水深 8m、1 尺 3 寸調整玉 3 箇所)に垂下した。垂下位置は、波浪の影響を受け難いように、調整玉と調整玉の中間にした。また、メモリー式深度計を用いて 1 分間隔で幹綱水深を記録したほか、メモリー式水温計(Onset Computer 製 HOB0 WaterTempPro)を用いて 1 時間間隔で水温を記録した。流れは実験漁場の境界ロープ(水深 10m)に設置したメモリー式流向流速計のデータを用いた。

平成 21 年 9 月 17 日にパールネットを回収し、加速度計を取り付けた上、中、下段の生貝数、死貝数を計数してへい死率を求めた。段別に 50 個体の殻長、全重量を測定した他、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

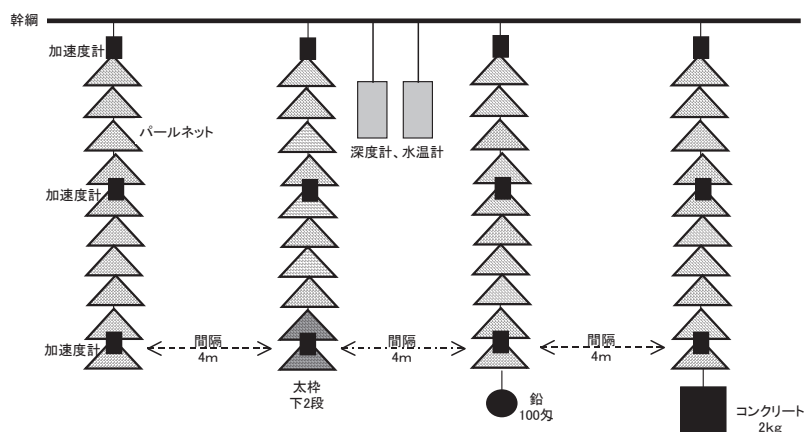


図 3 鍾の種類別試験の施設図

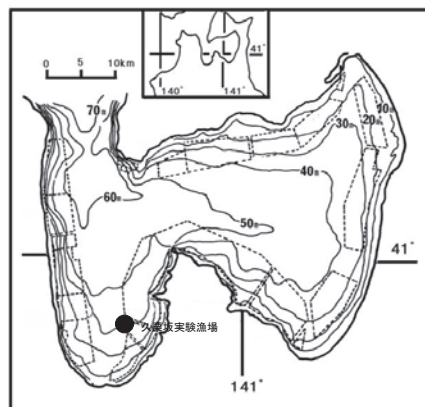


図 4 鍾の種類別試験の位置図

2) 調整玉改良試験

平成 20 年度調査¹⁾で波浪の影響を受けて調整玉の上下動が幹綱に伝わるということが明らかになったことから、波浪の影響を受け難い調整玉を開発するために、以下のとおり試験を実施した。

① 久栗坂実験漁場

平成 21 年 9 月 28 日に久栗坂実験漁場(図 5)の 2 本の養殖施設へ従来調整玉(対照区、過剰浮力区)、改良調整玉(ボンデン区、ゴム区、数珠繋ぎ区、可動区)を取り付けた(図 6)。

対照区、過剰浮力区、ゴム区、可動区の調整玉は 1 尺 3 寸を 2 個連結(合計浮力 596kg 重)し、数珠繋ぎ区は 1 尺 2 寸を 1 個、1 尺を 1 個、8 寸を 4 個連結(581kg 重)して、浮力がほぼ同じになるようにした。過剰浮力区を除いて、調整玉直下の幹綱には 10kg の土俵を取り付けた。

可動区の調整玉ロープは 12m で、幹綱に固定した直径 60mm のサルカンを通して、ロープ下端に 10kg の土俵を取り付けた。ゴム区の調整玉ロープは、中間に 2.1 インチの自転車用チューブを 1m 取り付けたが、途中で切れたため、平成 21 年 12 月 25 日から厚さ 1.9mm、幅 20mm、長さ 1.25m の平ゴムを、平成 22 年 2

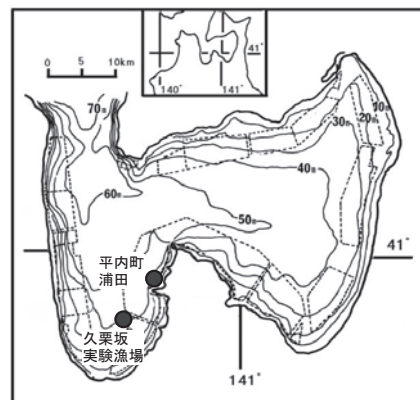


図 5 調整玉改良試験の位置図

月 16 日からは直径 7mm、長さ 2m のショックコード 2 本を取り付けた。ボンデン区は 5m の竹竿の中間に 1 尺 2 寸の玉を取り付け、竹竿の下部にチェーンの錘を取り付けてバランスを保った。

全ての調整玉直下の幹綱にはメモリー式加速度計を設置し、2 分間隔で X 軸(垂直)方向の加速度を記録した他、可動区にはメモリー式深度計を設置し、1 分間隔で幹綱水深を記録した。調整玉直下の幹綱を基点として、左右 50cm の位置にそれぞれパールネットを設置した。パールネットは目合 3 分、段数 10 段で、錘を付けない代わりに 9 段目と 10 段目に直径 7.5mm の太枠を用いた。それぞれの段には平成 21 年産ホタテガイを 1 段当り 15 個体ずつ収容した。

平成 22 年 4 月 22 日にパールネットを回収し、上段(1～3 段目)、中段(4～7 段目)、下段(8～10 段目)のホタテガイをそれぞれ一まとめにして、生貝数、死貝数を計数することによりへい死率を求めた。波浪の影響が一番大きいと考えられる上段(1～3 段目)の生貝 30 個体について、殻長、全重量、軟体部重量を測定した他、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。上段(1～3 段目)の生貝 2 個体は、電顕観察用にホルムアルデヒド(1%)とグルタルアルデヒド(1%)を添加した海水にて固定した。また、メモリー式加速度計とメモリー式深度計を回収して、データを収集した。

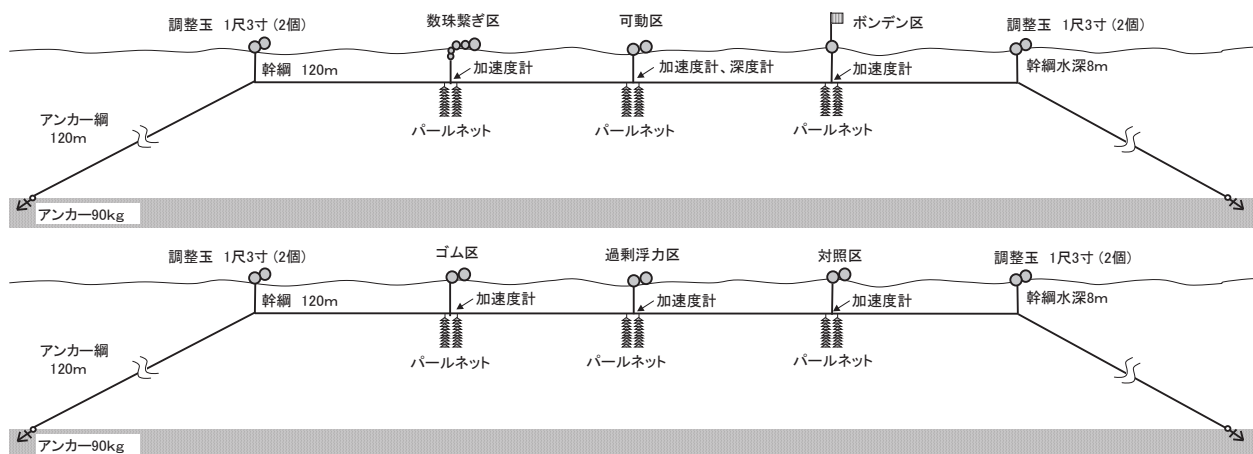


図 6 調整玉改良試験の施設図(久栗坂実験漁場)

② 漁業者の養殖施設

平成 21 年 11 月 18 日に平内町浦田地先の漁業者の養殖施設で、同様に調整玉の改良試験を実施した(図 5、7)。

養殖施設の幹綱の長さは 200m で中央には土俵(400kg)を取り付けた。調整玉は全部で 7 箇所あり、6 箇所は従来の調整玉(直径 1 尺 3 寸を 2 個連結)とし、1 箇所を改良調整玉(数珠繋ぎ)にした。調整玉と幹綱を結ぶロープの長さは 15m に調整した。養殖施設には目合 2 分、9 段のパールネットを 1,800 連垂下し、錘を付けない代わりに 9 段目に直径 7.5mm の太枠のパールネットを用いた。それぞれの段には平成 21 年産ホタテガイを約 20 個体ずつ収容した。改良調整玉と従来調整玉の直下の幹綱には、メモリー式深度計を設置して、平成 21 年 11 月 18 日～平成 22 年 3 月 24 日まで 1 分間隔で幹綱水深を記録した他、メモリー式加速度計を設置して、平成 21 年 12 月 1 日～平成 22 年 3 月 1 日に 2 分間隔で X 軸(垂直)方向の加速度を記録した。

平成 22 年 3 月 24 日に改良調整玉直下、従来調整玉直下、従来調整玉と従来調整玉の中間(図 7 参照)のパールネットを回収して、生貝数と死貝数を計数してへい死率を求めた他、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。

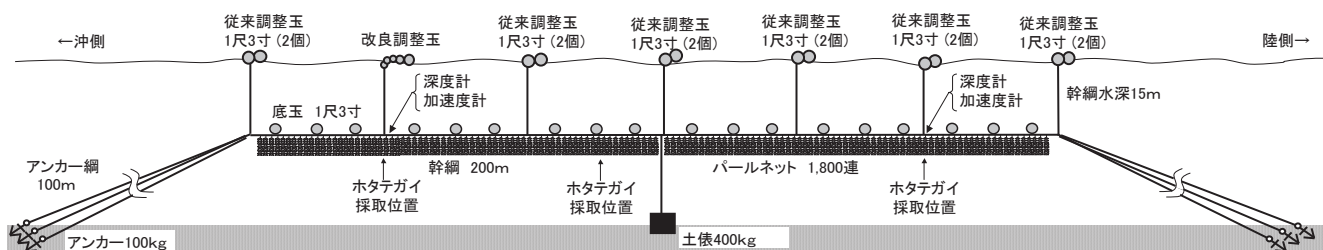


図7 調整玉改良試験の施設図(漁業者の養殖施設)

(3) 養殖施設の運動特性の解明

波浪、潮流の影響によるホタテガイ養殖施設の動きを明らかにするため、北海道大学大学院水産科学研究院に委託して、以下のような設定条件でシミュレーションを行った。

- ・ プログラムは韓国の釜慶大学校で開発したシミュレーターソフト(SimuCage)を用いた。
- ・ 養殖施設の幹網、アンカー網はそれぞれ120m。
- ・ 調整玉は1尺2寸を2個連結し、パールネットが240連の場合は3箇所、400連の場合は5箇所に取り付けた。
- ・ 底玉は1尺2寸とし、夏季でパールネットが400連の場合は27個、冬季でパールネットが240連の場合は30個、400連の場合は50個取り付けた(施設全体の力の釣合としてパールネットと底玉でややパールネットが沈下し、その沈降力を調整玉で補って施設全体の釣合がとれるように設定)。
- ・ 幹網水深は夏季8m、冬期は8mと15mとした。
- ・ パールネットは10段で、1段の水中重量は160g、10段目に水中重量400gの錘あり。幹網から1段目のパールネットまでの距離は35cm、段と段の間隔は65cmとした。
- ・ 実際のパールネットは四角錐で内部にはホタテガイが入っているが、モデルを単純化するためにパールネットの最大投影面積と等しい球体とした。
- ・ 潮流は夏季が1.0ノット、冬季が0.3ノット、0.6ノット、1.0ノットとした。
- ・ 波浪は波高3m、波長156m(養殖施設の動揺が最大になるように幹網長より長めに設定)、周期10秒とした。
- ・ 波浪については最も動揺が起きやすい方向(養殖施設と平行)を、潮流については最も抵抗が大きい方向(養殖施設と直角)とした。

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) ホタテガイの成長、生残率等に関する調査

各地区の作業時期とホタテガイの測定時期を表1に示した。稚貝採取は平成21年7月25日～8月9日、分散は平成21年10月1日～11月9日に行った。ホタテガイの測定は、稚貝採取時、採取後、分散時、試験終了時にそれぞれ実施した。平内町小湊では漁業者の事情により、途中で施設管理ができなくなったため試験終了時の測定は行わなかった。

養殖施設の構造等を表2、表3-1、3-2に示した。全ての施設に土俵が付いていなかった他、幹網水深が6mと極端に浅い、パールネットに錘が付いていない、調整玉が7箇所と多い、パールネットや耳吊の連数が1,500連と多いといった施設が見られた。

表 1 各地区の作業時期及びホタテガイの測定時期

	稚貝採取時	採取後	稚貝分散時	試験終了時
蓬田村	H21.7.31		H21.10.1	H22.3.23
平内町茂浦	H21.7.25	H21.9.18	H21.10.5	H22.3.24
平内町小湊	H21.7.31	H21.8.19	H21.10.28	-
横浜町	H21.8.8		H21.10.14	H22.3.15
むつ市川内町	H21.8.9		H21.11.9	H22.3.15

表 2 養殖施設の基本構造

	漁場 水深	幹綱 水深	幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵
					重量	個数	
蓬田村	45m	18m	110m	100m	130kg	片側1丁	無
平内町茂浦	40m	15m	200m	100m	80kg	片側2丁	無
平内町小湊	18m	6m	200m	50m	80kg	片側2丁	無
横浜町	31m	15m	200m	100m	120kg	片側1丁	無
むつ市川内町	35m	15m	200m	130m	100kg	片側1丁	無

表 3-1 養殖施設の構造等(稚貝採取時)

	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	
蓬田村	ABS製1尺3寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺3寸	20個	2分	10段	500連	100個体/段	鉛70匁	篩の目合2分3厘
平内町茂浦 ※1	ABS製1尺3寸	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	150個	2分	8段	6連	100個体/段	無	篩の目合2分
平内町小湊	※2		6ヶ所	ABS製1尺2寸	6個	2分	8段	130連	80個体/段	鉛50匁	篩の目合2分2厘
横浜町	ABS製1尺2寸	1個	3ヶ所	ABS製1尺2寸	40個	1分5厘	10段	500連	100個体/段	鉛100匁	篩の目合1分5厘
むつ市川内町	※3		7ヶ所	ABS製1尺2寸	30個	2分	8段	550連	80個体/段	鉛75匁	篩の目合3分

※1 出荷が進まず、稚貝採取用施設の空きがないため、耳吊り施設(1000連)に採取した。

※2 端からABS製1尺3寸、発泡蓋4枚重ね、発泡蓋4枚重ね、ポリエチレン製1尺2寸、発泡蓋4枚重ね、ポリエチレン製1尺2寸

※3 両端がABS製1尺2寸を2個(1個は水面下)、その内側5ヶ所はABS製1尺を2個(1個は水面下)

表 3-2 養殖施設の構造等(稚貝分散時)

	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	
蓬田村	ABS製1尺3寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺3寸	15個	2分	10段	500連	20個体/段	鉛70匁	-
平内町茂浦	ABS製1尺3寸	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	30個	2分	8段	1500連	15個体/段	無	篩の目合8分5厘
平内町小湊	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
横浜町	ABS製1尺2寸	1個	3ヶ所	ABS製1尺2寸	40個	2分	10段	500連	12個体/段	鉛100匁	篩の目合7分
むつ市川内町	ABS製1尺2寸	2個	7ヶ所	ABS製1尺2寸	30個	3分	8段	500連	13個体/段	鉛75匁	篩の31mm

地区別、時期別のホタテガイの測定結果を表4に、へい死率と異常貝率を図8に示した。へい死率は、稚貝採取時(選別後)に0.0~1.1%でいずれの地区とも低かったが、稚貝採取後8月から分散時に平内町小湊で12.3~27.3%、試験終了時に蓬田村で38.2%と高かった。なお、試験終了時の異常貝率は0~10.0%であった。

表 4 地区別、時期別の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	H21.8.15	選別後の稚貝を適宜	696	4	-	0.6	-	9.0 ± 1.3	-	-	-
	分散	H21.10.1	パールネット(未分散)1段分	126	0	-	0.0	-	22.6 ± 3.6	-	-	-
	試験終了	H22.3.23	パールネット1連分	102	63	2	38.2	6.7	65.4 ± 4.9	26.3 ± 5.4	10.5 ± 3.0	40.0
平内町 茂浦	稚貝採取	H21.7.25	選別後の稚貝を適宜	427	4	-	0.9	-	8.0 ± 1.4	-	-	-
	採取後	H21.9.18	パールネット(未分散)1段分	183	1	-	0.5	-	23.3 ± 2.5	-	-	-
	分散	H21.10.5	パールネット(未分散)1段分	116	0	-	0.0	-	25.6 ± 2.4	-	-	-
	試験終了	H22.3.24	パールネット1連分	115	15	3	11.5	10.0	67.6 ± 4.0	29.8 ± 5.4	14.0 ± 2.8	47.0
平内町 小湊	稚貝採取	H21.7.31	選別後の稚貝を適宜	398	3	-	0.7	-	10.5 ± 1.1	-	-	-
	採取後	H21.8.19	パールネット(未分散)1段分	72	27	-	27.3	-	13.4 ± 1.3	-	-	-
	分散	H21.10.28	パールネット(未分散)1段分	71	10	-	12.3	-	31.4 ± 3.1	-	-	-
横浜町	稚貝採取	H21.8.8	選別後の稚貝を適宜	363	4	-	1.1	-	9.0 ± 1.9	-	-	-
	分散	H21.10.14	パールネット(未分散)1段分	147	0	-	0.0	-	23.0 ± 2.8	-	-	-
	試験終了	H22.3.15	パールネット1連分	107	4	0	3.6	0.0	68.3 ± 3.4	31.3 ± 4.8	14.4 ± 2.3	46.0
むつ市 川内町	稚貝採取	H21.8.9	選別後の稚貝を適宜	96	0	-	0.0	-	10.6 ± 1.2	-	-	-
	分散	H21.11.9	パールネット(未分散)1段分	83	0	-	0.0	-	36.8 ± 3.3	-	-	-
	試験終了	H22.3.15	パールネット1連分	98	0	0	0.0	0.0	72.1 ± 3.9	37.1 ± 6.0	18.0 ± 3.3	48.6

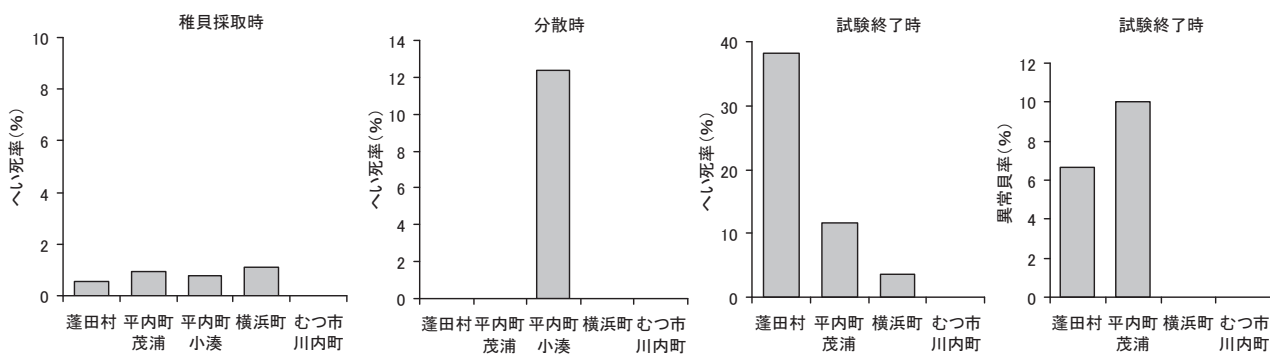


図 8 地区別、時期別のホタテガイのへい死率、異常貝率

地区別、時期別のホタテガイの殻長を図 9 に、試験終了時の全重量、軟体部重量を図 10 に、各項目の平均値の差の検定結果を付表 1 に示した。稚貝採取時の平均殻長は 8.0～10.6mm、稚貝分散時の平均殻長は 22.6～36.8mm で平内町小湊とむつ市川内町が大きかった。また、試験終了時は平均殻長が 65.4～72.1mm、平均全重量は 26.3～37.1g、平均軟体部重量は 10.5～18.0g でむつ市川内町が最も大きかった。

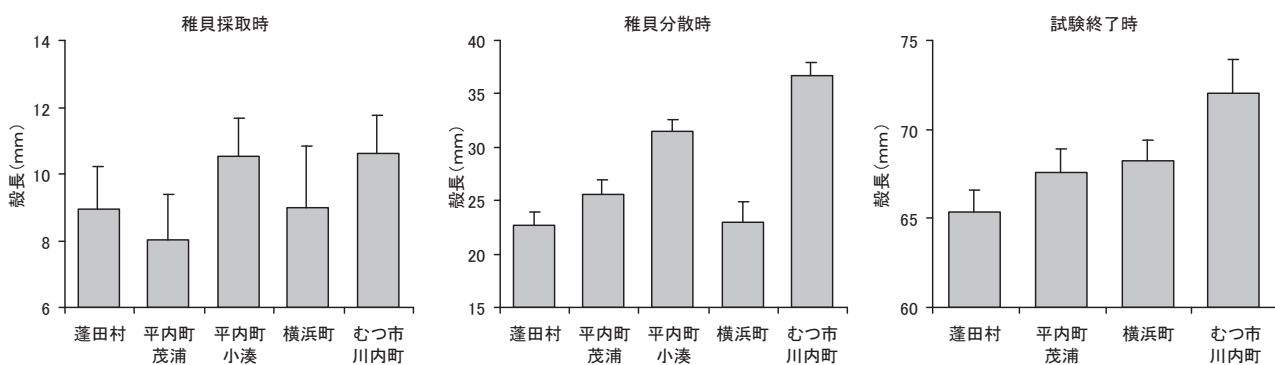


図 9 地区別、時期別のホタテガイの殻長(バーは標準偏差)

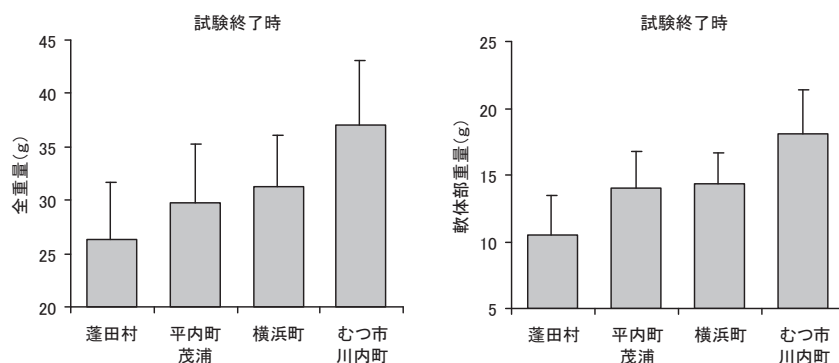


図 10 試験終了時のホタテガイの全重量、軟体部重量(バーは標準偏差)

(2) 漁場環境データの収集

ホタテガイを採取した養殖施設の平成 21 年 7 月～平成 22 年 3 月の水温変化を図 11 に、流れが強い夏季(平成 21 年 8～9 月)の流向流速の変化を図 12 に示した。なお、機器の不調により、蓬田村では平成 22 年 1 月 1 日～2 月 1 日、平内町茂浦では 1 月 1 日～30 日、それ以外の 3 地区では 1 月 1 日以降欠測であった。

水温は、蓬田村で 5.5～26.6℃、平内町茂浦で 5.3～22.4℃、平内町小湊で 7.8～22.5℃、横浜町で 6.3～22.4℃、むつ市川内町で 7.4～22.2℃の範囲であった。ホタテガイ稚貝の成長に影響を及ぼす 23℃以上の高水温は、蓬田村で平成 21 年 7 月 28 日～8 月 4 日に見られた。冬期間(2～3 月)の平均水温は、蓬田村

では 7.6℃、平内町茂浦で 6.4℃であり、前年度(それぞれ 7.8℃、7.0℃)と比較するとやや低めであった。

流れは、いずれの地区でも稚貝採取時の 8 月は強いが、9 月に入ると弱まる傾向が見られた。最高流速は蓬田村で 0.33m/s(0.62 ノット)、平内町茂浦で 0.16m/s(0.30 ノット)、平内町小湊で 0.22m/s(0.40 ノット)、横浜町で 0.27m/s(0.49 ノット)、むつ市川内町で 0.31m/s(0.57 ノット)と、いずれの地区も 1 ノットを超えるような速い流れは観測されなかった(図 12)。

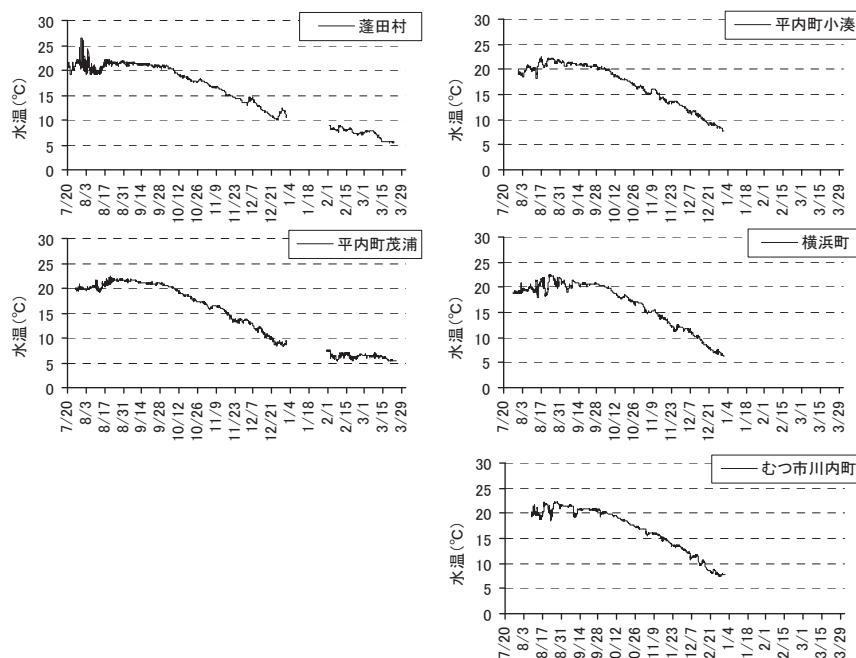


図 11 ホタテガイを採取した養殖施設の水温の推移

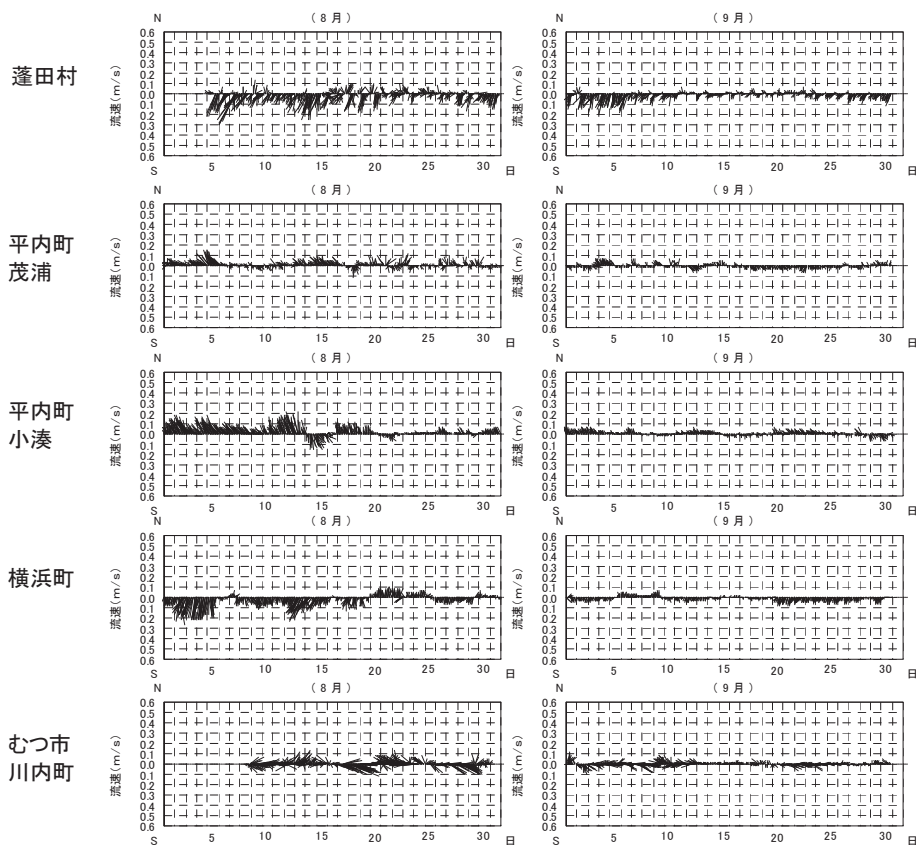


図 12 ホタテガイを採取した養殖施設の流向流速(平成 21 年 8～9 月)

夏季(平成 21 年 8 月)と冬季(平成 22 年 2 月)の幹綱水深の変化を図 13、図 14 に示した。

夏季(平成 21 年 8 月)の幹綱水深は、平内町茂浦で 11.1～19.6m、平内町小湊で 6.9～10.8m、横浜町で 12.9～24.4m、むつ市川内町で 12.7～23.4m であり、平内町小湊で浅かった。

冬季(平成 22 年 2 月)の幹綱水深は、蓬田村で 10.1～11.7m、平内町茂浦で 10.3～28.7m、横浜町で 13.2～26.9m、むつ市川内町で 10.9～22.1m であり、蓬田村を除いて、ホタテガイ等の成長による沈みこみや、玉付けによる浮上といった水深の変化が見られた。

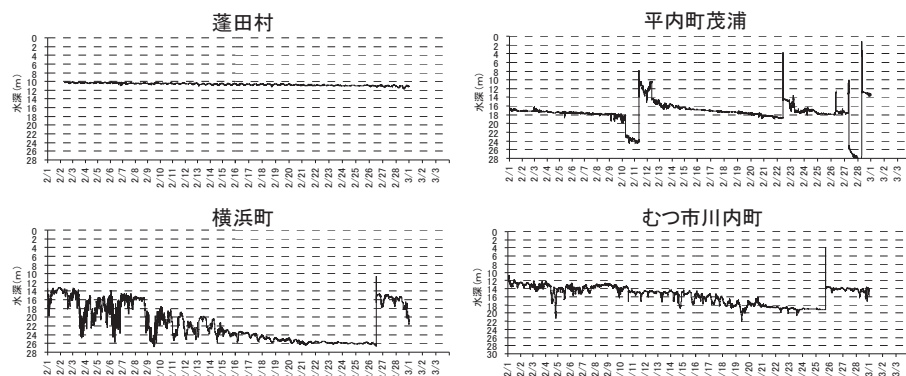


図 13 ホタテガイを採取した養殖施設の幹綱水深の変化(平成 21 年 8 月)

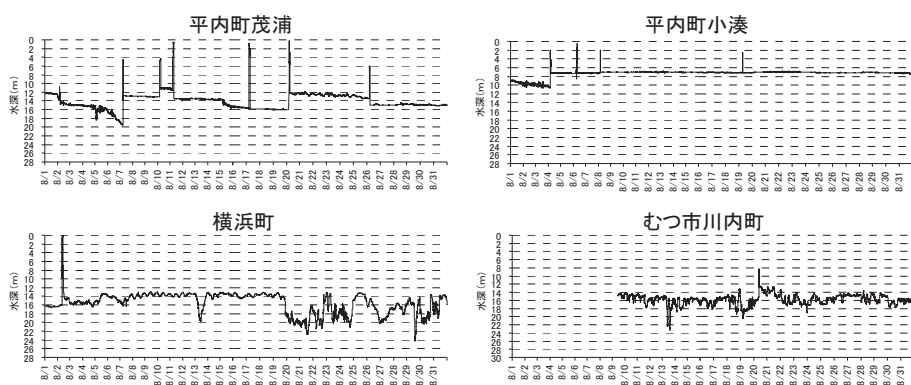


図 14 ホタテガイを採取した養殖施設の幹綱水深の変化(平成 22 年 2 月)

夏季(平成 21 年 8 月)と冬季(平成 22 年 2 月)の幹綱の加速度の変化を図 15、図 16 に示した。

加速度を比較するために分散を求めたところ、夏季は蓬田村が 0.000398m/s^2 、平内町茂浦が 0.000160m/s^2 、平内町小湊が 0.000844m/s^2 、横浜町が 0.000038m/s^2 、むつ市川内町が 0.000161m/s^2 であり、平内町小湊の加速度が大きかった。また、冬季は蓬田村が 0.000149m/s^2 、平内町茂浦が 0.000055m/s^2 、横浜町が 0.000028m/s^2 、むつ市川内町が 0.000051m/s^2 といずれも小さかった。

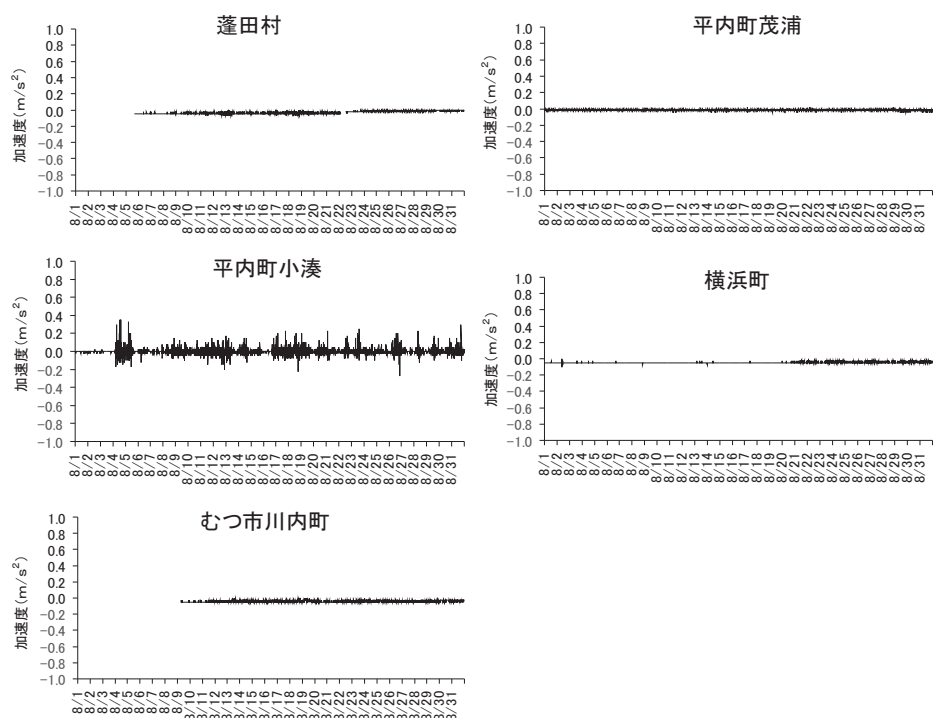


図 15 ホタテガイを採取した養殖施設の幹綱の加速度の変化(平成 21 年 8 月)

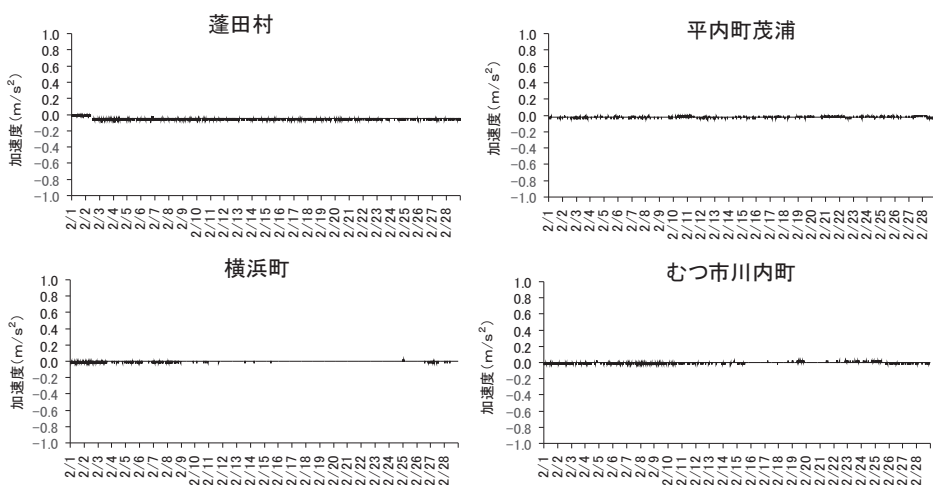


図 16 ホタテガイを採取した養殖施設の幹綱の加速度の変化(平成 22 年 2 月)

(3) 考察

平内町小湊で稚貝採取後(平成 21 年 8 月 19 日)のへい死率が 27.3%、蓬田村では試験終了時(平成 22 年 3 月 23 日)のへい死率が 38.2%と高かったことから、この原因について以下のとおり考察した。

1) 平内町小湊のへい死について

稚貝採取時(平成 21 年 7 月 31 日)の生貝の殻長組成と、採取後(8 月 19 日)の生貝と死貝の殻長組成を図 17 に示した。

稚貝採取時と採取後の生貝の平均殻長から日間成長量を計算したところ 0.17mm/日であった。この日間成長量を用いて、死貝の平均殻長からへい死時期を推定したところ、8 月 7 日前後と推定された。

また、採取後の生貝 4 個体を、電子顕微鏡で組織観察したところ、外套膜内褶に外傷がある個体や、鰓の組織が粘液で癒着している個体が見られた(写真 1)。

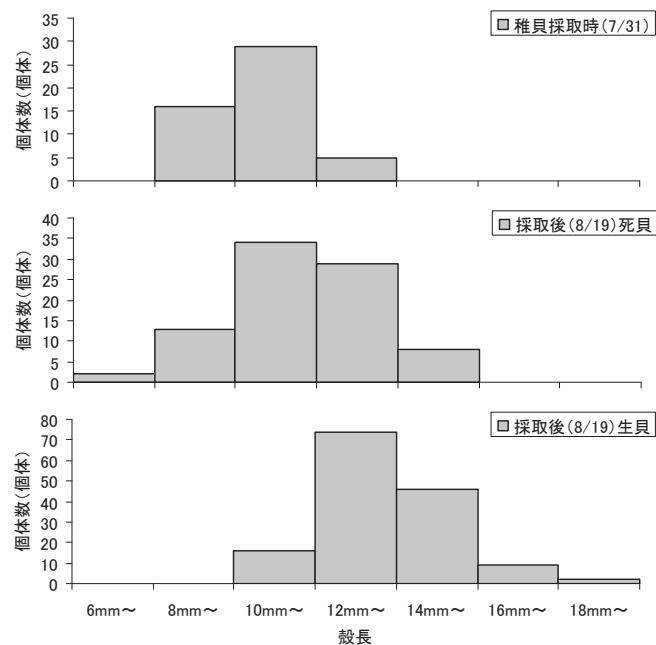


図 17 稚貝採取時と採取後における生貝と死貝の殻長組成

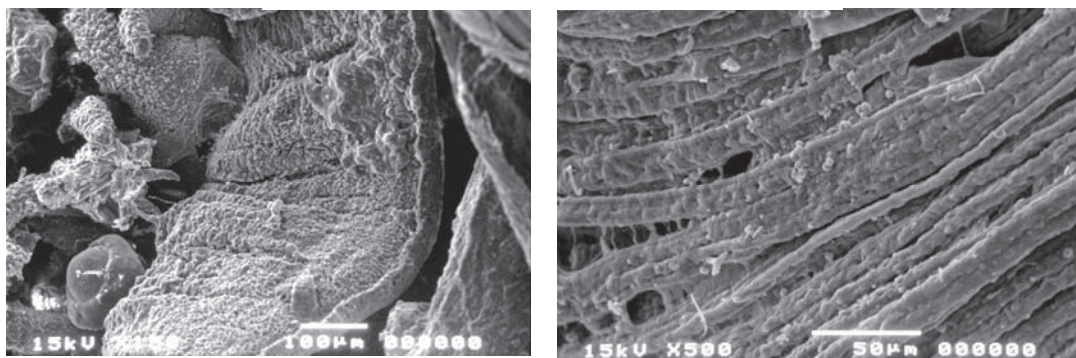


写真 1 外套膜内褶の外傷(左)と粘液による鰓の組織の癒着(右)

前述のとおり、水温は最高で 22.5℃と稚貝にとって問題となる値ではなかったが、8 月上～中旬に比較的速い流れが見られたほか、東湾ブイでは 7 月 31 日～8 月 4 日に風速 10m 前後のヤマセが断続的に観測(図 18)されていることから、潮流や波浪により養殖施設やパールネットの動揺が大きかった可能性がある。

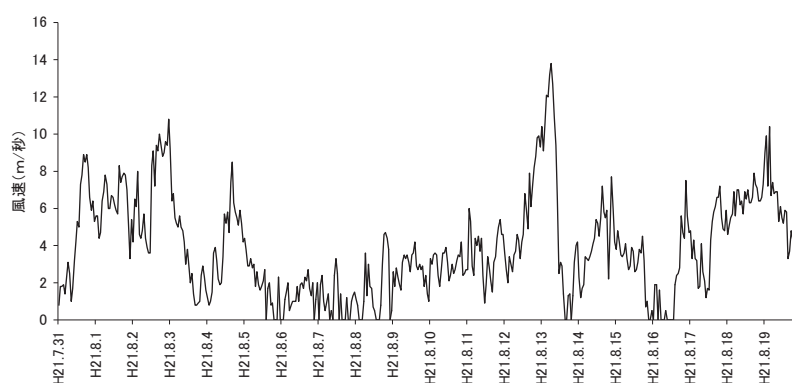


図 18 東湾ブイの風速

この時期の幹綱水深(図 13)と加速度(図 15)に着目してみると、8 月 4 日に玉付けを行っており、幹綱水深を 10m から 7m に浮上させた直後に加速度が大きくなっている。通常、採取直後の稚貝はパールネットに足糸で付着しているが、玉付けで余剰浮力が生じ、波浪や流れの影響を受けやすくなることにより、稚貝が付着できない状態となった可能性がある。これにより稚貝同士がぶつかり合ったり、稚貝がパールネットに擦れたりして外套膜等に損傷を受け、へい死したものと考えられた。

2) 蓬田村のへい死について

分散時(平成 21 年 10 月 25 日)の生貝の殻長組成と、へい死調査時(平成 22 年 3 月 1 日)の生貝と死貝の殻長組成を図 19 に示した。

分散時とへい死調査時の生貝の平均殻長から日間成長量を計算すると 0.259mm/日であるが、分散からへい死調査まで 4 ヶ月もあることから、時期による成長量の差を考慮する必要がある。このため、久栗坂実験漁場で月 2 回ずつ測定した平成 21 年産貝のデータを用いて成長量を補正し、図 20 のように時期別の殻長を推定した。

図 19 の死貝を殻長組成から①～③のグループに分けてそれぞれの平均殻長を求め、図 20 からへい死時期を計算すると、死貝①が 11 月 3 日前後、死貝②が 1 月 12 日前後、死貝③が 2 月 14 日前後と推定された。

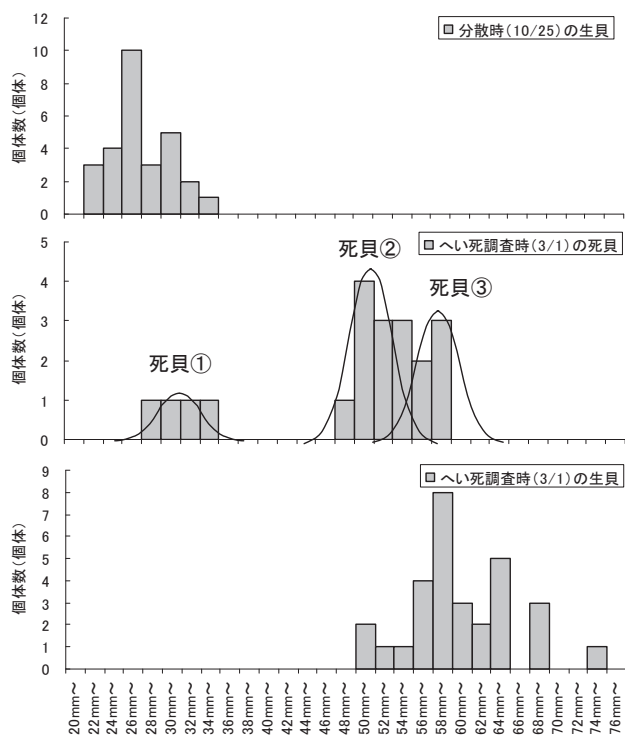


図 19 分散時とへい死調査時の生貝と死貝の殻長組成

試験終了時(平成 22 年 3 月 23 日)の生貝と死貝の殻長組成を図 21 に示した。

死貝は殻長組成から①～⑤のグループに分けられるが、①～④は図 19 の①～③とほぼ同じなので、死貝⑤のへい死時期のみを推定した。推定には、へい死調査時と試験終了時の生貝の平均殻長から求めた日間成長量(0.198mm/日)を用いた。この結果、死貝⑤のへい死時期は 3 月 9 日前後と推定された。

図 19 の死貝②、③と図 21 の死貝③、④、⑤について、推定へい死時期の養殖施設の動揺を調べるために、平成 22 年 1～3 月の幹綱の加速度変化を調べたところ非常に小さいことが分かった(図 22)。

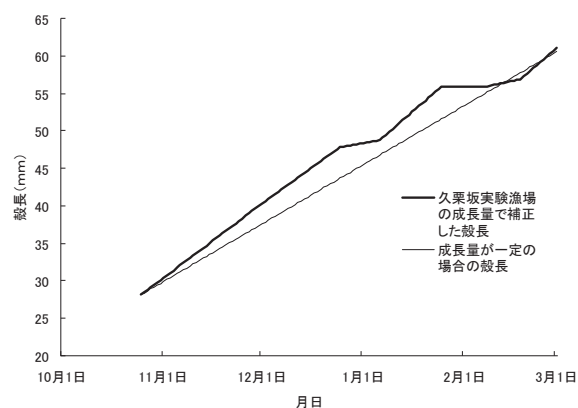


図 20 時期別の殻長の推定値

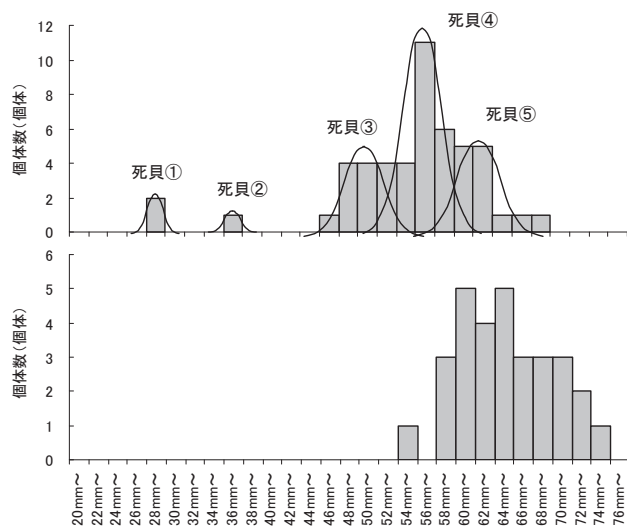


図 21 試験終了時の生貝と死貝の殻長組成

青森港の水深 24m 地点の有義波高(青森港湾事務所、速報値)を調べたところ、この期間は断続的に大きな波浪が見られている(図 23)。波浪があったにもかかわらず、幹綱の加速度変化が小さかった原因としては、メモリー式加速度計が波浪の影響を受け難い、調整玉と調整玉の中間に位置する幹綱に設置したためと考えられる。

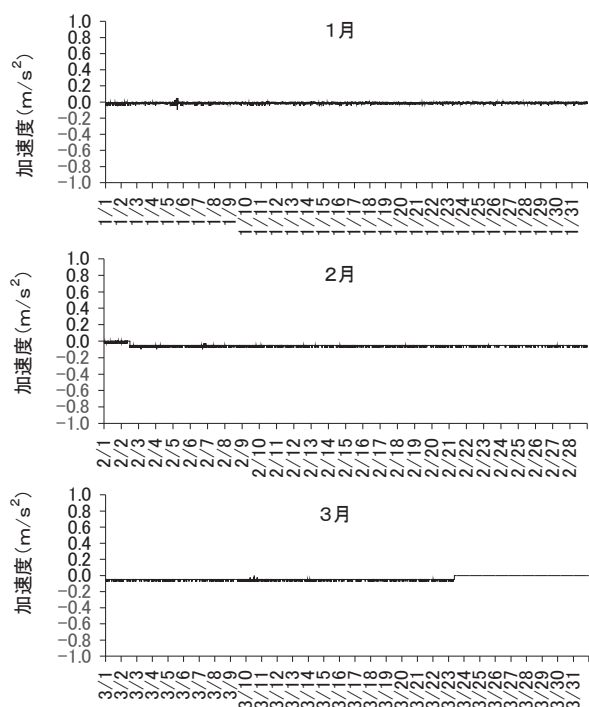


図 22 ホタテガイを採取した養殖施設の加速度の変化

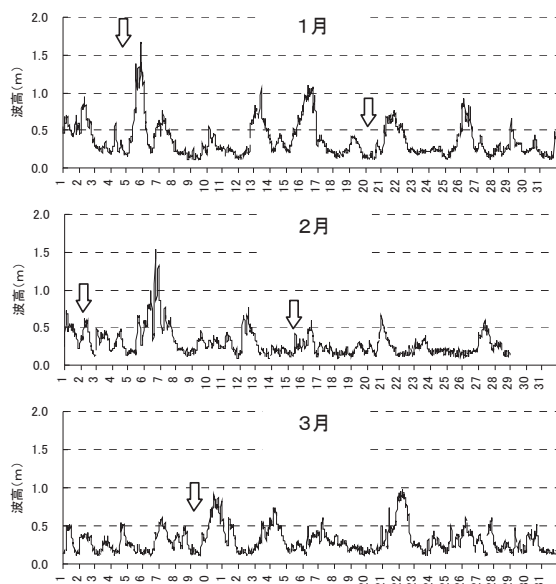


図 23 青森港の水深 24m 地点における有義波高(矢印は玉付け日)

流れの影響を調べるために、平成 22 年 2～3 月の流向流速を図 24 に示した。

2 月の最高流速は 0.18m/s(0.33 ノット)、3 月の最高流速は 0.15m/s(0.29 ノット)で、夏季の同地区の最高流速 0.33m/s(0.62 ノット)に比べると流速は小さかった。

コンピューターによるシミュレーション¹⁾では、この時期のパールネットは 0.3 ノットの流れに対して、ほとんど傾かないという結果が出ている。しかし、シミュレーションではパールネットを球体として扱っており、実際のパールネットの形状は四角錐であるため、流れの抵抗により傾きがさらに大きくなる可能性がある。

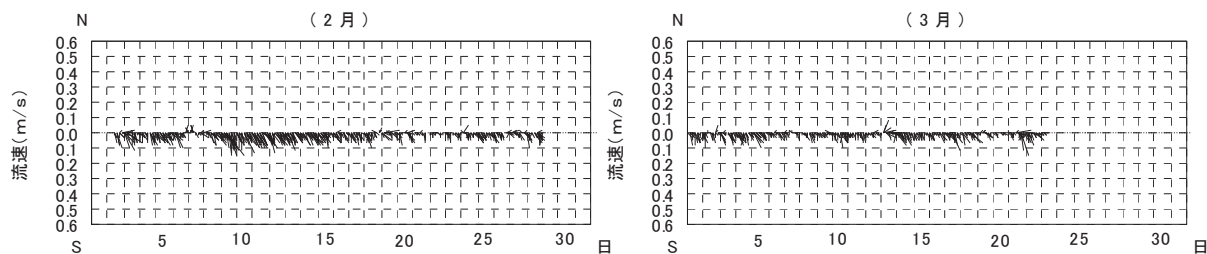


図 24 ホタテガイを採取した養殖施設の流向流速の変化(平成 22 年 2～3 月)

平成 22 年 3 月に外ヶ浜町蟹田、青森市後潟で行ったへい死調査時の死貝の殻長組成と、日間成長量を用いて推定したへい死時期を図 25 に示した。

外ヶ浜町蟹田、青森市後潟とも、秋の稚貝分散からへい死調査まで断続的に死貝が見られるが、平成 21 年 12 月～平成 22 年 3 月の冬季間に多い傾向が見られた。

へい死のピークに着目すると、外ヶ浜町蟹田は平成 22 年 2 月 10 日前後、青森市後潟は 2 月 22 日前後、前述のとおり蓬田村は 2 月 14 日前後と、北から南にへい死時期がずれる傾向を示した。仮に波浪の影響でへい死が発生するのであれば、外ヶ浜町蟹田から青森市後潟まで約 10km しかないことから、へい死時期は同じになるはずである。

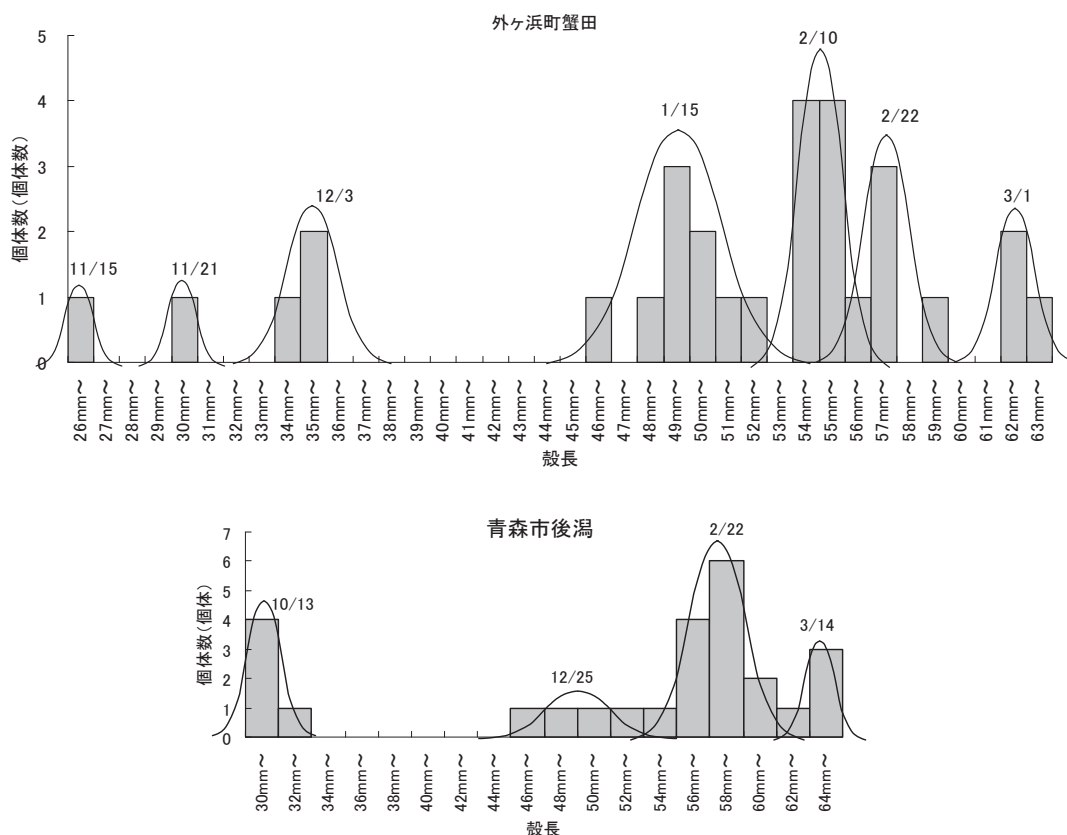


図 25 へい死調査時の死貝の殻長組成

以上の結果から、波浪の影響を受け難い調整玉から離れた位置の幹綱に垂下したホタテガイのへい死は、波浪よりも流れの影響による可能性が大きいものと考えられた。

このため、今後は幹綱だけでなく、パールネットにもメモリー式加速度計を取り付けて、流れに対するパールネットの傾きを調べるとともに、ホタテガイがパールネット内でどのような動きをするのかを水槽実験等で確認する必要がある。

2 ホタテガイのへい死原因の解明と対策

(1) 養殖施設の構造等に関する調査

平成 20 年産貝(半成貝)の養殖施設の構造等について、漁業者から聞き取りした結果を付表 2 に示した。

約 7 割の養殖施設に土俵が無かったほか、幹綱水深が 7.5m と浅めの施設が見られた。また、パールネットに蛙又の網地を使用したり、鉛の錘の代わりに太枠のパールネットを用いている漁業者が見られた。

養殖施設 1 ヶ統の連数は 300～1,500 連、調整玉の総浮力は 53～197kg 重(平均 146kg 重)、底玉の総浮力は 380～1,033kg 重(平均 702kg 重)であり、施設によってかなりの差が見られた。なお、参考までに ABS 製 1 尺の調整玉 1 個の浮力は 13.2kg 重である。分散時はどの漁業者も底玉を等間隔で取り付けているが、それ以降は調整玉の沈み具合を見ながら適宜、底玉を取り付けるため、幹綱の 1 箇所 5～6 個、塊のように底玉が付いている施設も見られた。

平成 21 年産貝(稚貝)の養殖施設の構造等について、漁業者から聞き取りした結果を付表 3 に示した。

全ての養殖施設に土俵が無く、幹綱水深が 2m と非常に浅めの施設が見られたほか、パールネットに錘を付けない漁業者が約 2 割見られた。

養殖施設 1 ㌔統の連数は 300～1,100 連、調整玉の総浮力は 110～152kg 重(平均 127kg 重)、底玉の総浮力は 152～558kg 重(平均 316kg 重)であり、施設によってかなりの差が見られた。

以上の結果から、漁業者の養殖施設の構造にはかなりの差が見られており、養殖施設に土俵がない、パールネットに鉛の錘がない、幹綱水深が浅い、といった流れや波浪の影響を受け易い施設があることが分かった。

1 ㌔統の連数が多いとホタテガイや付着物の成長に伴い養殖施設が沈下するスピードも早くなるため、春季調査時には玉付けを 4～5 日間隔で行っている地区も見られた。このような施設では、シケが多い冬期間に施設管理が思うようにできないため、底玉を一度に多く付けて余剰浮力が生じたり、底玉と底玉の間隔が不均等になってバランスが悪くなったりして、波浪に対して不安定になるものと考えられた。

(2) へい死原因を特定するための実証試験

1) 錘の種類とホタテガイの育成状況の関係

ホタテガイの測定結果を表 5、図 26 に示した。

へい死率は 2.0～8.2%、異常貝率は 1.0～5.0% の範囲であり、錘の種類とへい死率、異常貝率には明瞭な関係は見られなかった。

平均殻長は 25.2～27.1mm、平均全重量は 2.11～2.63g の範囲であり、錘なし区に比べて、有意差の見られる試験区もあったものの、錘の種類と明瞭な関係は見られなかった。

表 5 ホタテガイの測定結果

錘の種類 パールネットの段数	錘なし区			太枠区			鉛区			コンクリート区		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
生貝(個体)	90	96	95	93	89	90	86	90	89	96	92	88
死貝(個体)	3	4	7	3	7	7	7	8	4	2	5	5
へい死率(%)	3.2	4.0	6.9	3.1	7.3	7.2	7.5	8.2	4.3	2.0	5.2	5.4
異常貝率(%)	2.0	1.0	2.0	5.0	2.0	3.0	3.0	4.0	1.0	5.0	2.0	2.0
平均殻長(mm)	26.8	26.9	25.2	26.6	26.3	27.1	25.2	26.3	25.7	26.9	26.3	26.5
平均全重量(g)	2.34	2.32	2.11	2.63	2.46	2.54	2.24	2.40	2.24	2.50	2.33	2.33

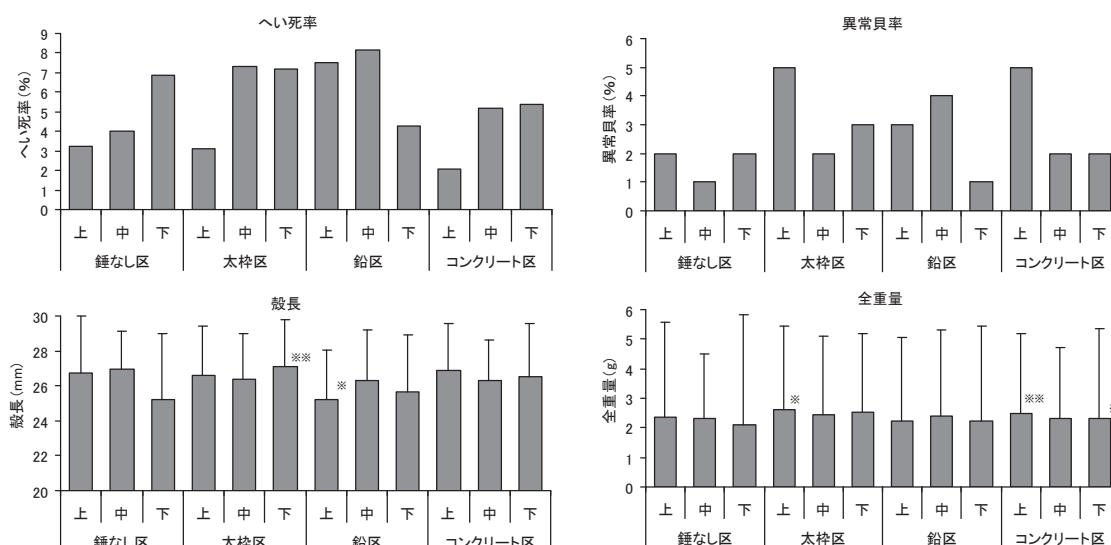


図 26 ホタテガイの測定結果(バーは標準偏差、錘なし区と段別に比較した場合、
※※は P<0.01 で有意差あり、※は P<0.05 で有意差あり)

ホタテガイを採取した養殖施設の水温は 19.2～22.1℃の範囲で推移しており、稚貝の成育に影響を及ぼす 23℃以上の水温は見られなかった(図 27)。

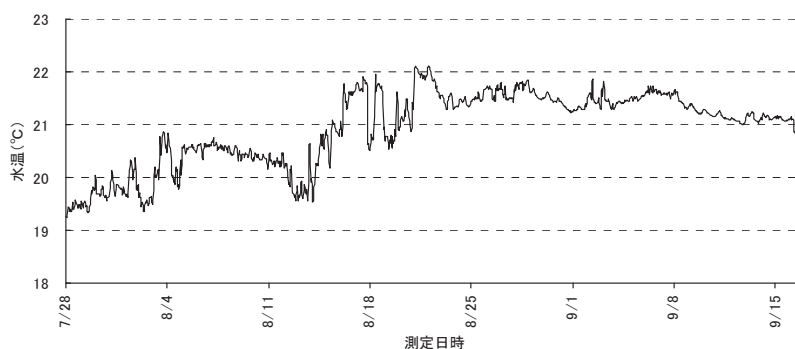


図 27 ホタテガイを採取した養殖施設の水温の推移

養殖施設の幹綱水深は 9.0～10.3m の範囲で安定していた(図 28)。

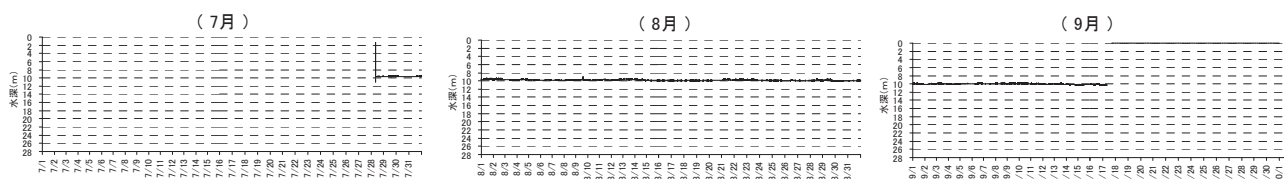


図 28 ホタテガイを採取した養殖施設の幹綱水深の推移

パールネットの段別の垂直方向の加速度の推移を図 29 に示した。また、各試験区の加速度を比較するために分散を求めた(図 30)。

段別の加速度は、錘なし区が下段＞上段＞中段、太枠区と鉛区は上段＞中段＞下段、コンクリート区は上段＝中段＞下段という関係が見られた。錘の種類別では錘なし区＞太枠区＞鉛区＞コンクリート区という関係が見られた。

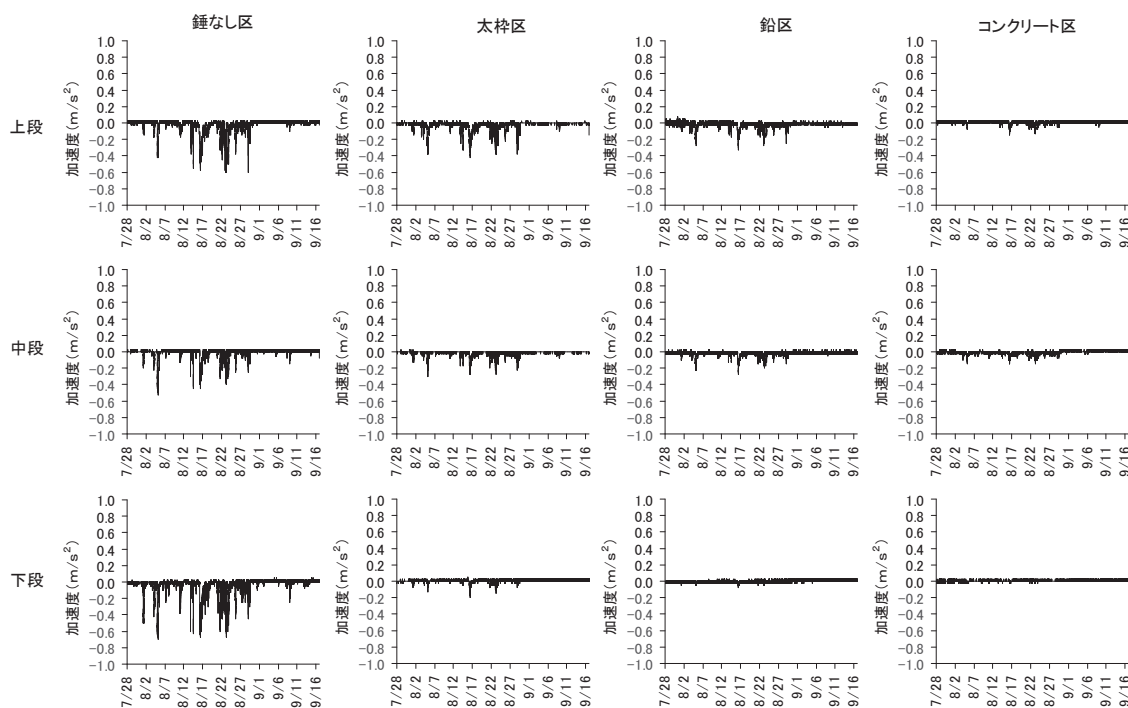


図 29 パールネットの段別の垂直方向の加速度の推移

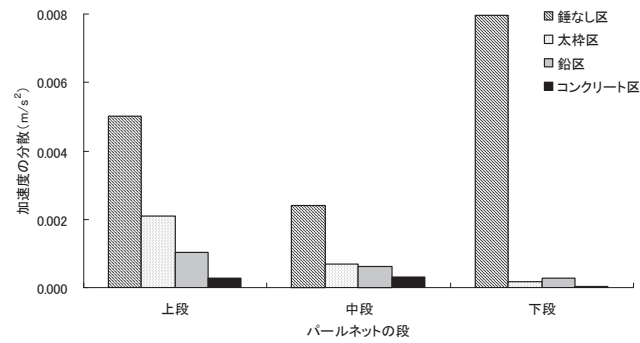


図 30 パールネットの段別の垂直方向の加速度の分散

パールネットの段別の水平方向の加速度の推移を図 31 に、加速度の分散を図 32 に示した。なお、水平方向の加速度は、Y 軸と Z 軸の加速度を合成 ($\sqrt{Y^2 + Z^2}$) して表示した。

段別の加速度は、錘なし区が上段 ≒ 下段 > 中段、太枠区は上段 > 中段 ≒ 下段、鉛区とコンクリート区は上段 > 中段 > 下段という関係が見られた。錘の種類別では錘なし区 > 太枠区 > 鉛区 > コンクリート区という関係が見られた。

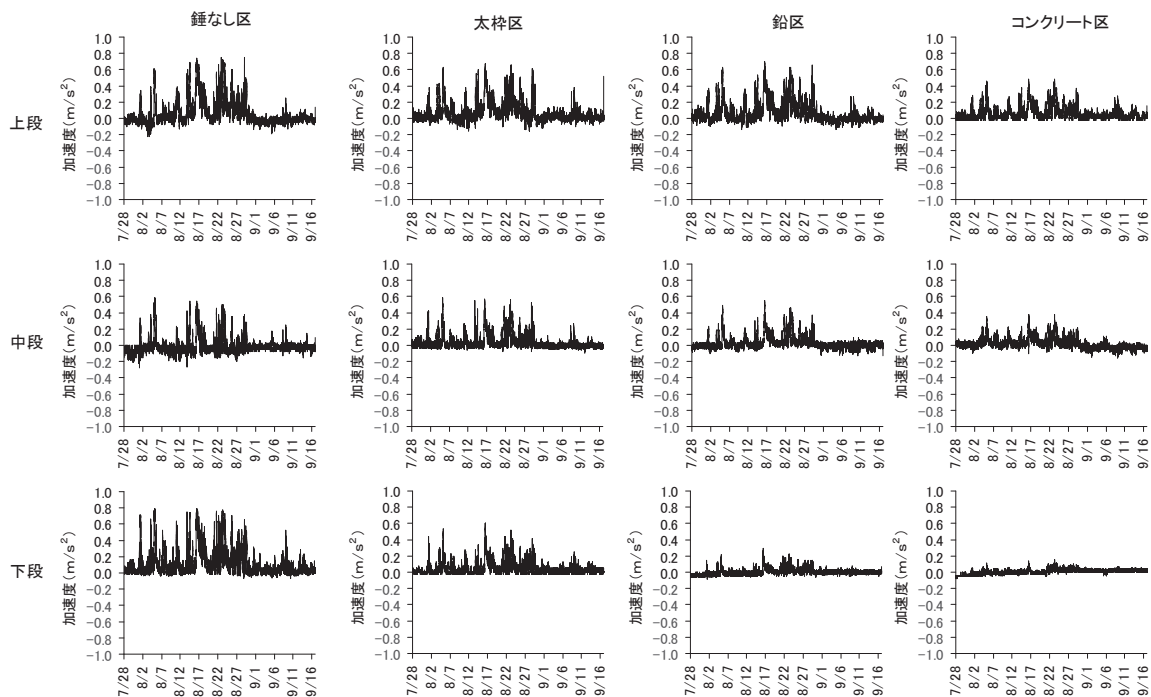


図 31 パールネットの段別の水平方向の加速度の推移

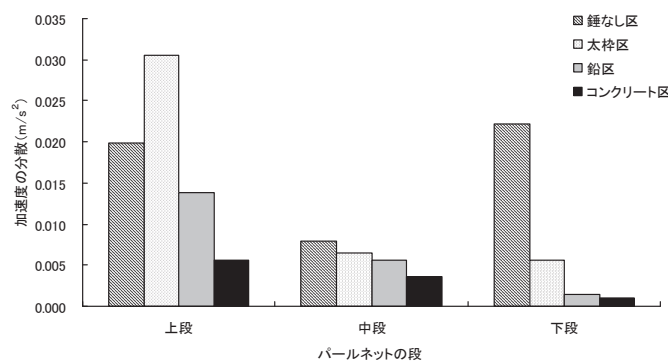


図 32 パールネットの段別の水平方向の加速度の分散

養殖施設の幹綱水深の変化量、コンクリート区の加速度から、養殖施設は波浪の影響はあまり受けずに一定水深に安定していたものと考えられた。それにも関わらず、錘なし区の加速度が大きいことから、流れの影響により幹綱を支点とした振り子運動をしているものと考えられた。このため、久栗坂実験漁場の水深 10m における流速の日平均値と、錘なし区下段の垂直方向における加速度の分散の関係を調べたところ、有意 ($P < 0.01$) な正の相関が見られた (図 33)。

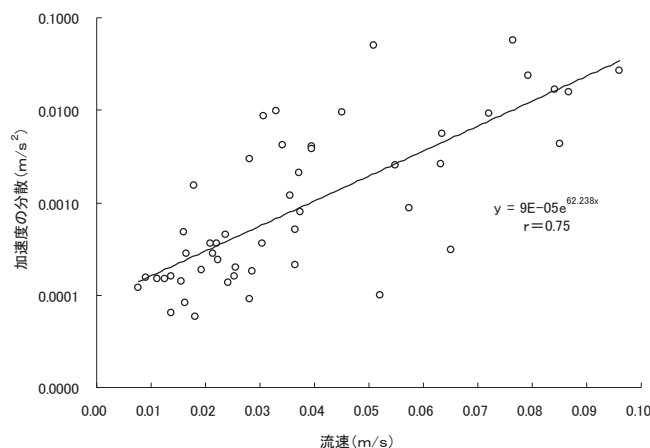


図 33 久栗坂実験漁場の水深 10m における流速の日平均値と、錘なし区下段の垂直方向における加速度の分散の日平均値との関係

以上の結果から、パールネットに重い錘を付けるほど流れに対して安定するが、錘の種類とホタテの成長、へい死率、異常貝率には関係がないことが分かった。これは、稚貝が足糸でパールネットに付着していれば、パールネットが幹綱を支点とした振り子運動をしたとしても、成長不良やへい死が起こらないことを表しているものと考えられた。

しかし、稚貝採取時の酸欠、高水温、波浪による上下動の影響等で稚貝の活力が弱まり、パールネットに付着できない場合は、稚貝同士がぶつかり合ったり、パールネットに擦れたりして障害を受ける可能性がある。このため、鉛の錘を付けたり、太枠のパールネットを用いることは、夏季における稚貝のへい死対策として有効であると考えられた。

2) 調整玉の改良試験

① 久栗坂実験漁場

ホタテガイの測定結果を表 6-1、6-2、図 34 に示した。

へい死率は過剰浮力区が 30.2%と最も高く、次いで対照区が 18.5%、ボンデン区が 18.0%と高かったが、ゴム区、数珠結び区、可動区は 2%台と低かった。

異常貝率も同様に、過剰浮力区が 56.7%と最も高く、次いで対照区が 46.2%、ボンデン区が 22.2%と高かったが、ゴム区、数珠結び区は 3%台、可動区は 0%と低かった。

殻長は可動区が 81.7mm と最も大きく、次いで数珠結び区 76.1mm、ゴム区 74.1mm、ボンデン区 64.5mm であったが、過剰浮力区は 50.3mm、対照区は 44.6mm と非常に小さかった。全重量も同様に可動区が 55.4g と最も大きく、次いで数珠結び区 47.1g、ゴム区 45.3g、ボンデン区 31.5g であったが、過剰浮力区は 18.3g、対照区は 15.2g と非常に小さかった。

表 6-1 ホタテガイの測定結果(久栗坂実験漁場)

	上段(1-3段目)		中段(4-7段目)		下段(8-10段目)		合計		へい死率(%)				総個体数 (個体)	測定数 (個体)	異常貝数 (個体)	異常貝出 現率(%)
	生貝 (個体)	死貝 (個体)	生貝 (個体)	死貝 (個体)	生貝 (個体)	死貝 (個体)	生貝 (個体)	死貝 (個体)	上段	中段	下段	平均				
対照区	15	18	58	2	37	5	110	25	54.5	3.3	11.9	18.5	135	13	6	46.2
過剰浮力区	37	23	39	18	37	8	113	49	38.3	31.6	17.8	30.2	162	30	17	56.7
ボンデン区	29	16	53	7	41	4	123	27	35.6	11.7	8.9	18.0	150	27	6	22.2
ゴム区	44	0	60	2	41	2	145	4	0.0	3.2	4.7	2.7	149	30	1	3.3
数珠繋ぎ区	45	0	61	0	34	4	140	4	0.0	0.0	10.5	2.8	144	30	1	3.3
可動区	44	1	57	1	42	1	143	3	2.2	1.7	2.3	2.1	146	30	0	0.0

表 6-2 ホタテガイの測定結果(久栗坂実験漁場)

	殻長(mm)	全重量(g)	軟体部重量(g)	軟体部歩留り(%)
	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	平均値
対照区	44.6 ± 5.2	15.2 ± 4.2	5.6 ± 1.8	36.9
過剰浮力区	50.3 ± 7.4	18.3 ± 7.0	7.0 ± 2.8	38.5
ボンデン区	64.5 ± 6.7	31.5 ± 8.3	12.5 ± 3.9	39.7
ゴム区	74.1 ± 4.7	45.3 ± 10.9	18.5 ± 3.5	40.9
数珠繋ぎ区	76.1 ± 4.4	47.1 ± 6.8	20.6 ± 3.5	43.8
可動区	81.7 ± 4.2	55.4 ± 7.1	24.9 ± 3.7	45.0

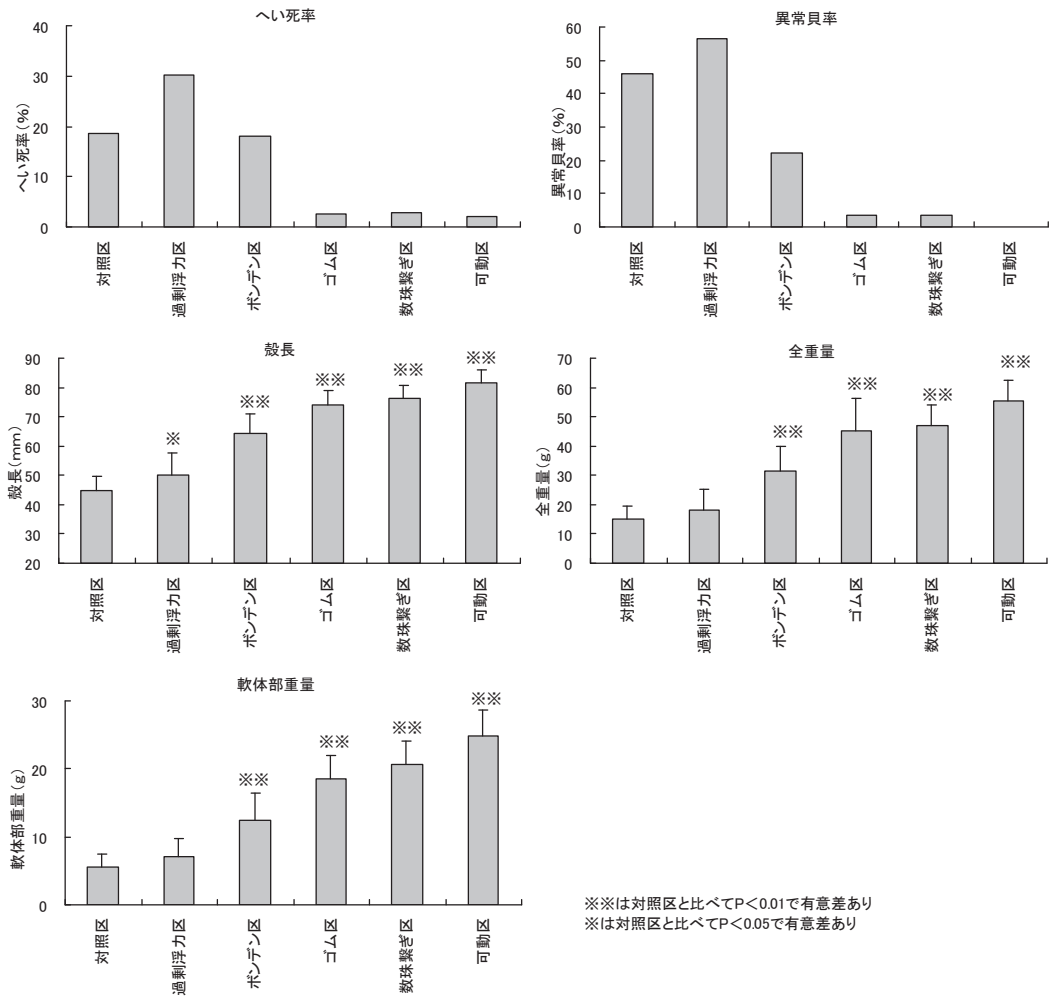


図 34 ホタテガイの測定結果(久栗坂実験漁場)

それぞれの試験区の調整玉直下の幹綱の加速度を図 35 に示した。
ゴム区が最も加速度が小さく、次いで数珠繋ぎ区が小さい傾向を示した。

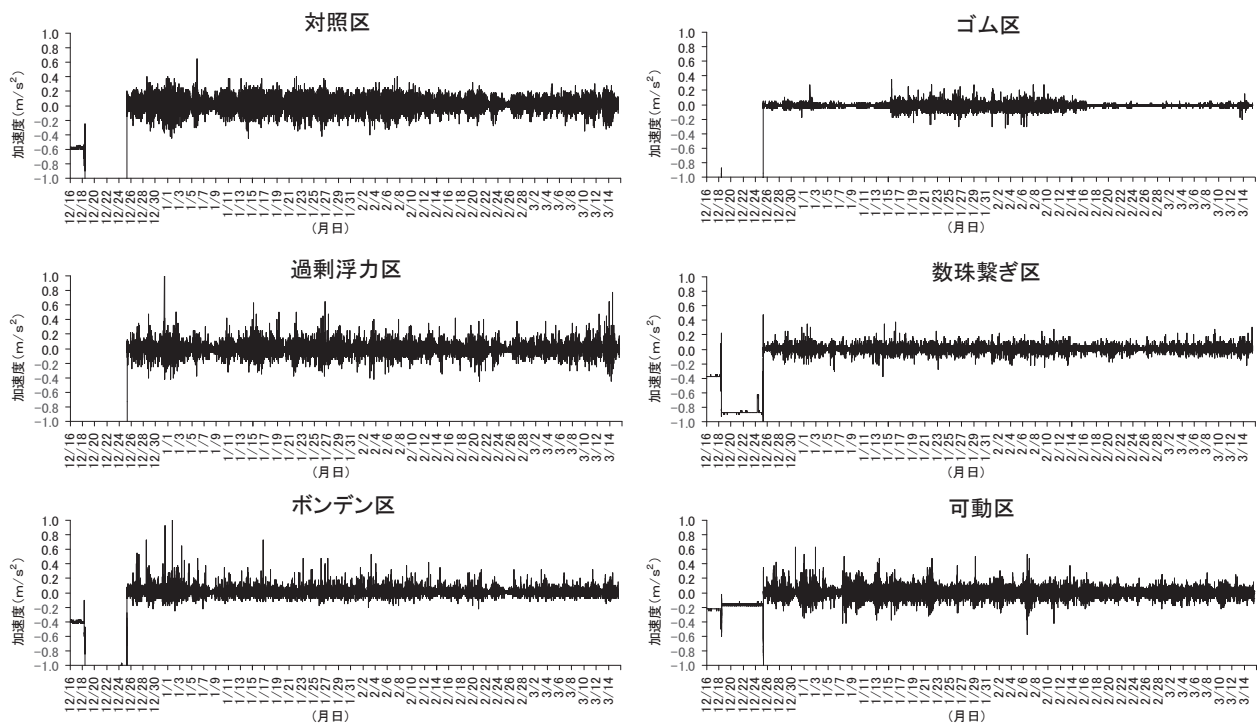


図 35 調整玉直下の幹網の加速度の変化(久栗坂実験漁場)

ゴム区についてはゴムが切れて平成 22 年 2 月 16 日に交換していることから、交換前後の 1 月 17～28 日と 2 月 17～28 日の期間について、加速度の分散を求めて詳しく比較した(図 36)。交換前の 1 月 17～28 日は、数珠繋ぎの分散が最も小さく、次いでボンデン区とゴム区も比較的小さかったが、交換後の 2 月 17～28 日は、ゴム区が最も分散が小さく、次いで数珠繋ぎ区、ボンデン区の順であった。

交換前後とも分散が最も大きかったのは対照区で、次いで過剰浮力区であった。対照区のパールネットはシケでロープが切れ、試験終了時には 1 連しか残っていなかったことから、過剰浮力区を上回る余剰浮力が生じたことが原因と考えられた。

可動区の加速度の分散も比較的大きい傾向を示した。可動区の幹網深度は 9～10m とほとんど一定であることから、従来調整玉と同様に波の動きに追随している可能性がある(図 37)。それにも関わらず、可動区は、成長や生残率が最も良いことから、今後、さらに検討を行う必要がある。

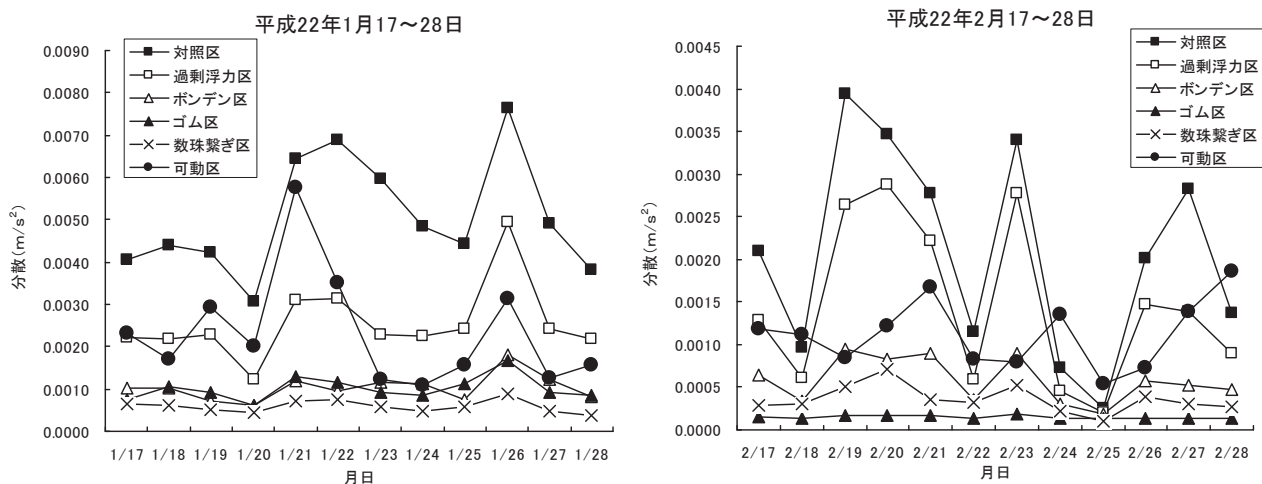


図 36 調整玉直下の幹網の加速度の分散(久栗坂実験漁場)

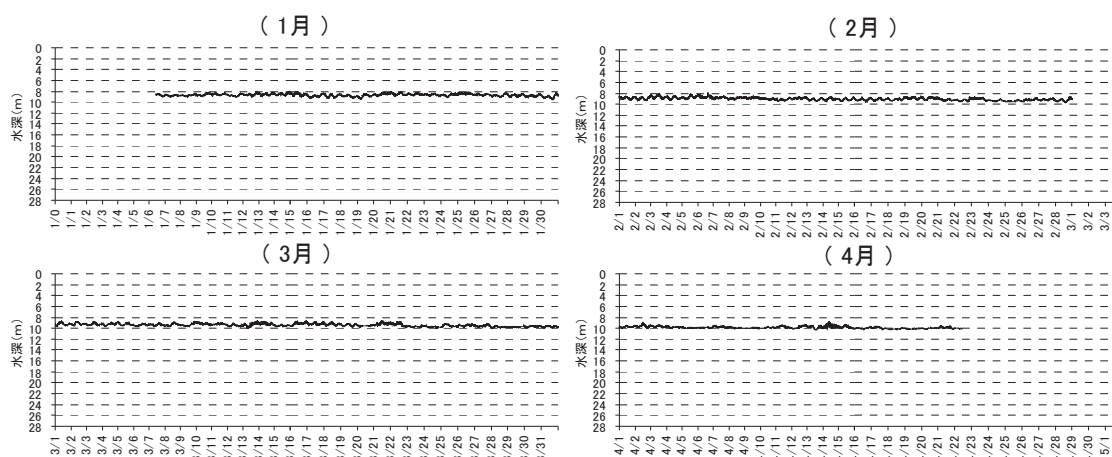


図 37 可動区の幹綱水深の変化(久栗坂実験漁場)

電子顕微鏡により外套膜を観察した結果を写真 2～7 に示した。へい死率、異常貝率の最も高かった過剰浮力区は、外套膜内褶に多数の微細な穴と亀裂が見られた(写真 2)。それ以外の試験区では微細な穴は見られなかったが、対照区と数珠繋ぎ区で亀裂が見られた(写真 3、7)。

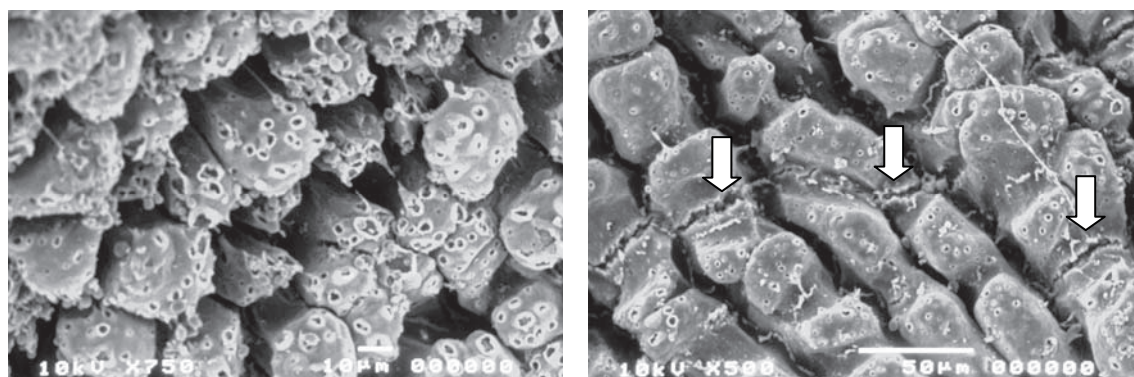


写真 2 過剰浮力区の外套膜内褶(左は微細な穴、右の矢印は亀裂)

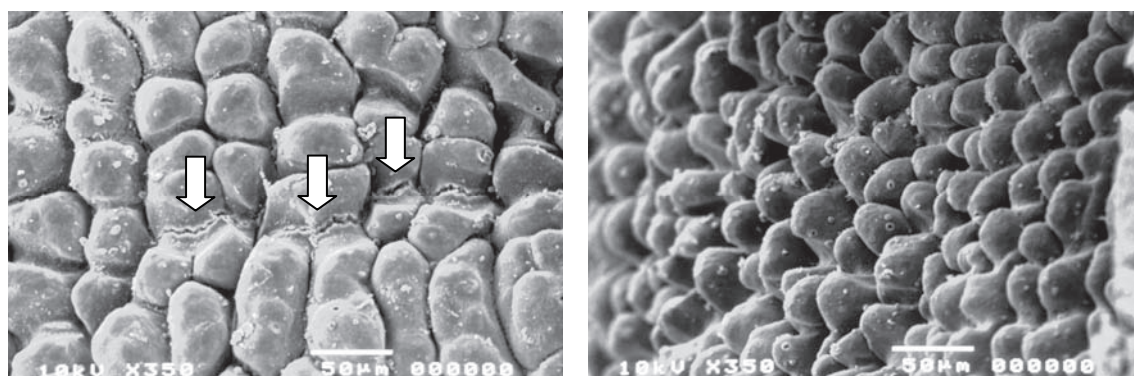


写真 3 対照区の外套膜内褶(矢印は亀裂)

写真 4 ボンデン区の外套膜内褶

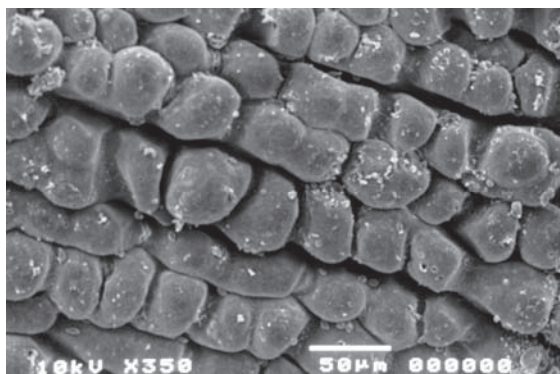


写真 5 ゴム区の外套膜内褶

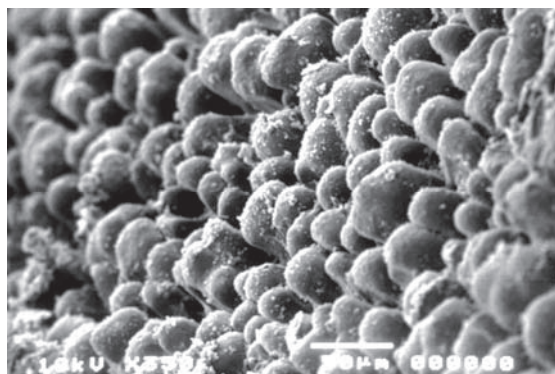


写真 6 可動区の外套膜内褶

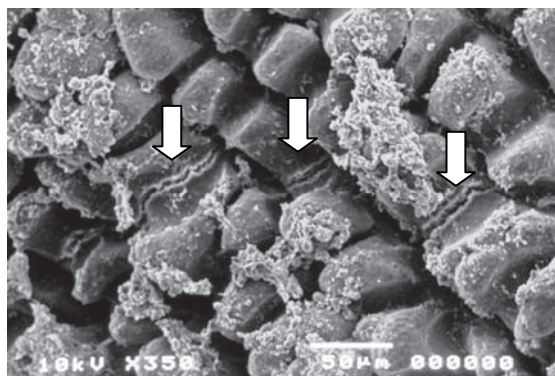
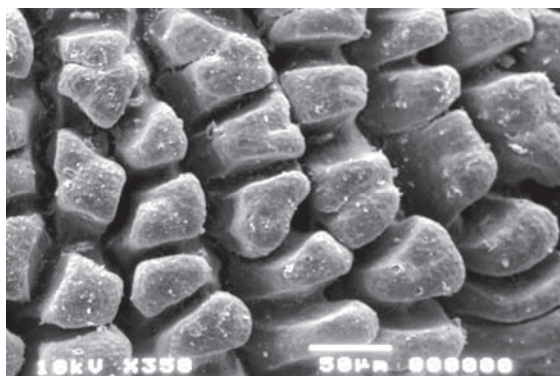


写真 7 数珠繋ぎ区の外套膜内褶(矢印は亀裂)

② 漁業者の養殖施設

試験開始時と終了時におけるホタテガイの測定結果を表 7 と図 38 に示した。

へい死率は、従来の調整玉の直下(以下、従来区とする)よりも、改良調整玉の直下(以下、改良区とする)や従来調整玉と調整玉の中間(以下、対照区とする。位置については図 7 参照)が高かった。

異常貝率は逆に、従来区が改良区、対照区よりも高かった。殻長は従来区よりも改良区、対照区の方が有意に大きかった。全重量、軟体部重量は従来区よりも改良区の方が有意に大きかった。

表 7 ホタテガイの測定結果(漁業者の養殖施設)

		平均値	±SD
試験開始時 H21.11.18	へい死率(%)	3.31	
	異常貝率(%)	2.00	
	殻長(mm)	30.2 ± 3.0	
試験終了時 H22.3.24	へい死率	従来区	5.2
	(%)	改良区	11.4
		対照区	11.8
	異常貝率	従来区	18.0
	(%)	改良区	12.0
		対照区	10.0
	殻長	従来区	60.0 ± 4.5
	(mm)	改良区	63.7 ± 4.5
		対照区	63.4 ± 5.4
全重量	従来区	22.2 ± 4.8	
	改良区	24.8 ± 5.1	
	対照区	23.8 ± 5.2	
軟体部重量	従来区	10.2 ± 2.4	
	改良区	11.6 ± 2.4	
	対照区	10.8 ± 2.4	

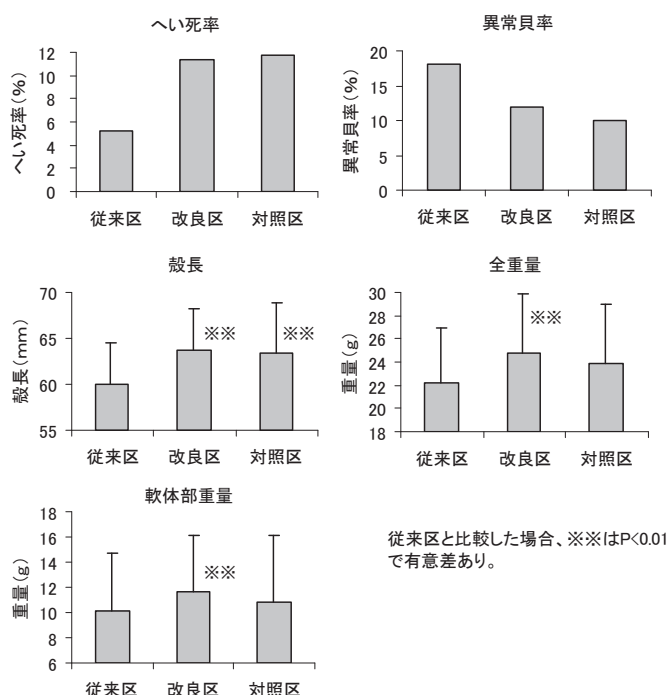


図 38 ホタテガイの測定結果(漁業者の養殖施設)

分散時の生貝と調査終了時の生貝と死貝の殻長組成を図 39 に示した。

従来区、改良区、対照区とも、分散時にへい死した死貝と、成長後にへい死した死貝の 2 グループが見られた。

成長後のへい死個体のへい死時期を推定するために、改良区の死貝のうち 40mm 以上の個体を成長後にへい死した個体と仮定し、分散から調査日までの日間成長量を用いてへい死時期を推定した。なお、分散から調査日までの成長量は一定でないと考えられることから、久栗坂実験漁場における平成 21 年産貝の成長量で補正した値を用いた。この結果、平成 22 年 1 月 12 日前後にへい死したものと推定された(図 40)。

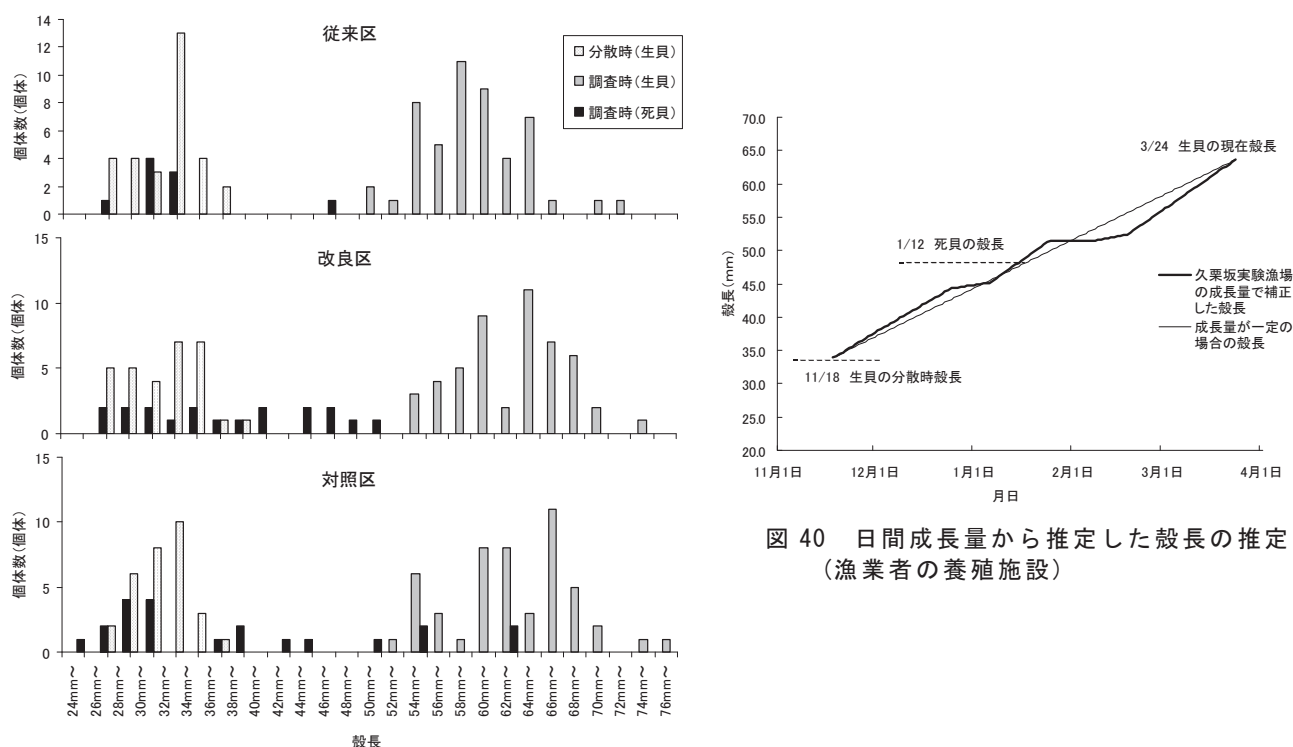


図 39 分散時の生貝と調査終了時の生貝と死貝の殻長組成
(漁業者の養殖施設)

波浪による施設の動揺とホタテガイのへい死との関連を調べるために、ホタテガイを採取した養殖施設の幹綱水深の変化を図 41-1、41-2 に、幹綱の上下動を図 42-1、42-2 に示した。

改良区の幹綱深度の変化を見ると、平成 22 年 1 月 6 日に幹綱が少し浮上しているが、漁業者の作業日誌を確認したところ改良調整玉直下の幹綱近くに底玉 2 個を取り付けていた。改良区の推定へい死日(1 月 12 日)前後は、幹綱の上下動が激しいことから、玉付けで過剰浮力が生じて、波浪の影響を受けやすくなった結果、稚貝同士がぶつかり合ったり、稚貝がパールネットに擦れたりして外套膜等に損傷を受け、へい死したものと考えられた。

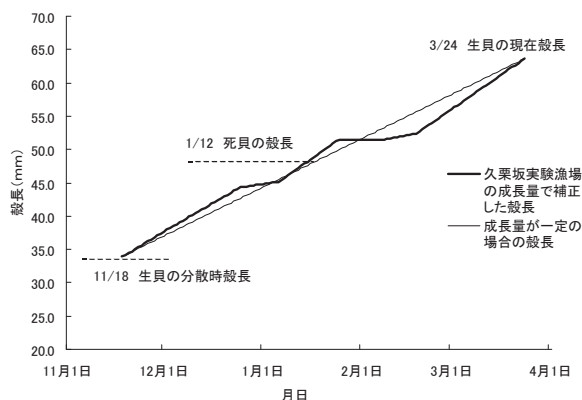


図 40 日間成長量から推定した殻長の推定
(漁業者の養殖施設)

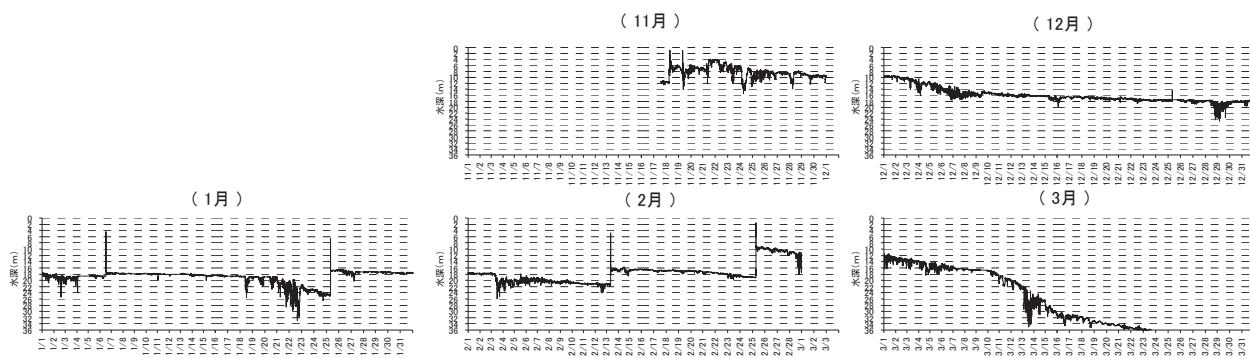


図 41-1 改良区の幹綱水深の変化(漁業者の養殖施設)

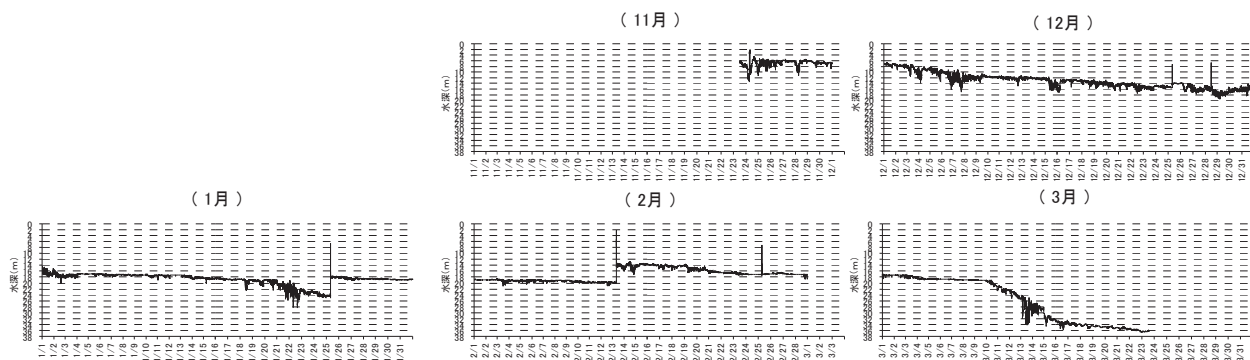


図 41-2 従来区の幹綱水深の変化(漁業者の養殖施設)

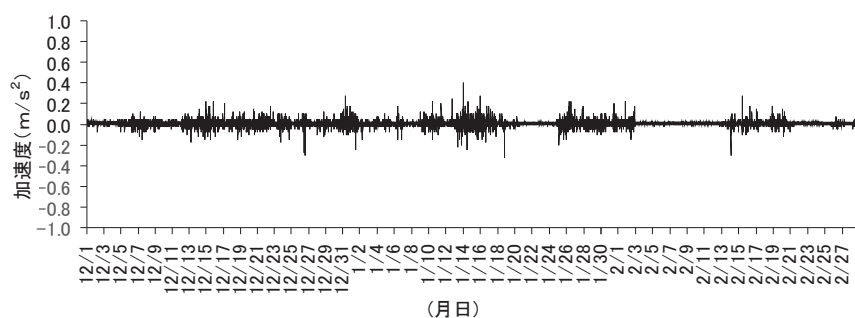


図 42-1 改良区の幹綱の加速度の変化(漁業者の養殖施設)

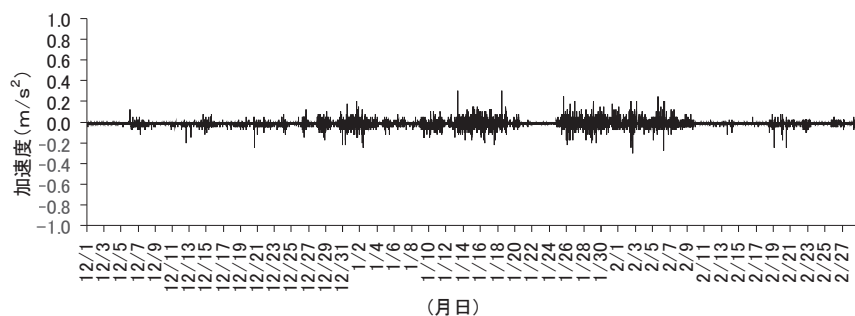


図 42-2 従来区の幹綱の加速度の変化(漁業者の養殖施設)

平成 22 年 1 月 7～28 日の青森港の有義波高、改良区の幹綱水深の変化、改良区の加速度の変化を図 43 に示した。

加速度の変化を見ると 1 月 10～19 日は上下動が見られたが、その後、ほとんど動かなくなり、玉付けを行った 1 月 25 日から再び上下動が見られるようになった。上下動の見られなかった 20～25 日は青森港で

最高 0.78m と比較的大きい有義波高が観測されていることから、浦田でも波浪の影響があったものと考えられた。幹綱水深の変化を見ると、20 日から徐々に幹綱が沈んでいることから、ホタテガイ等の成長により施設の沈降力が増加すると、波浪の影響を受け難くなるものと考えられた。

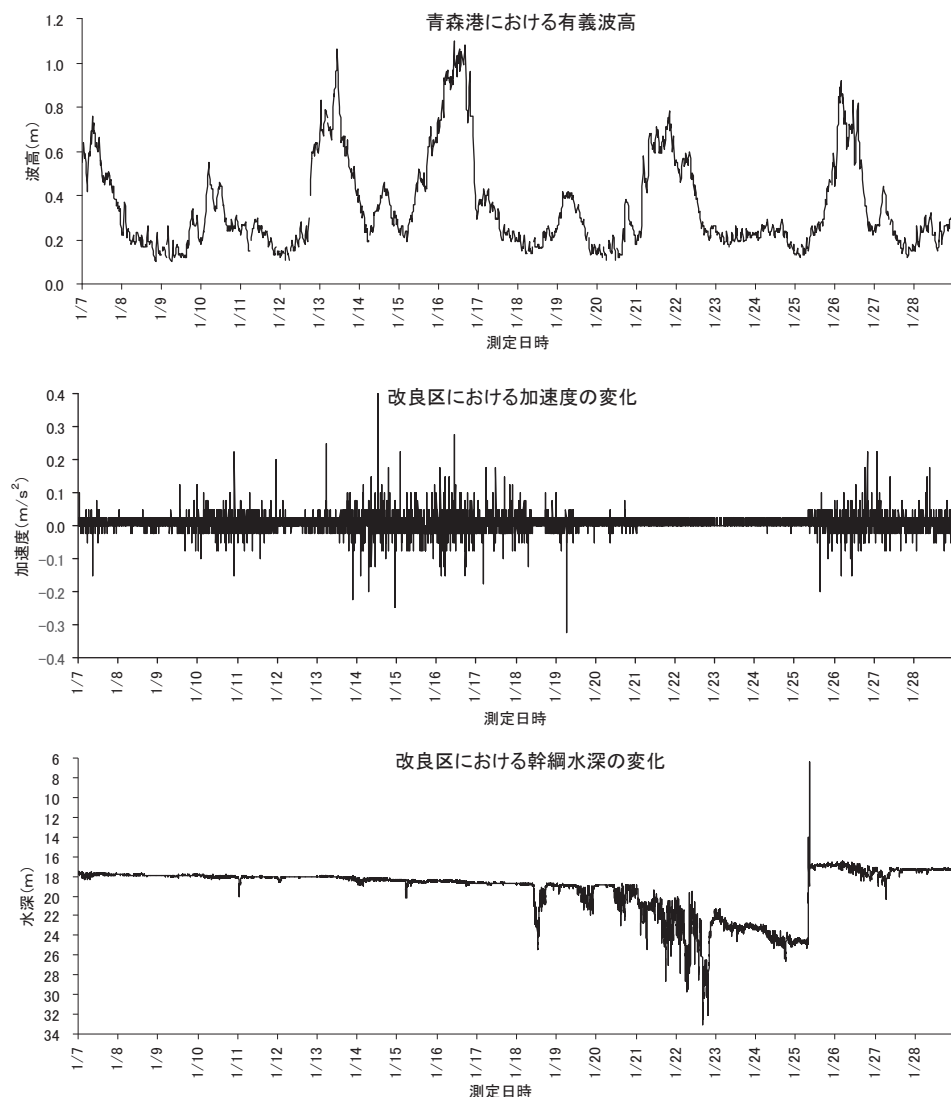


図 43 平成 22 年 1 月 7～28 日の青森港の有義波高、改良区の幹綱水深の推移、改良区の加速度

幹綱の上下動を数値化して比較するために、加速度の日別の分散値を求めた(図 44)。

改良区の推定へい死日である平成 22 年 1 月 12 日までは従来区より改良区の分散が大きかったが、その後、従来区、改良区ともに同じ値を示すようになった。さらに 1 月 28 日～2 月 10 日にかけては改良区よりも従来区が大きくなり、2 月 14 日～18 日は従来区より改良区が大きかった。

漁業者の作業日誌を確認したところ、改良区の玉付けは 1 月 6 日、1 月 25 日、2 月 13 日、2 月 25 日の 4 回、従来区は 1 月 25 日、2 月 13 日の 2 回行っており、分散値の傾向が変化する日とほぼ一致している。

このことは、幹綱への底玉の付け具合によって、改良玉、従来玉それぞれの余剰浮力が変化して、波浪による施設の上下動も変化するということを表している。

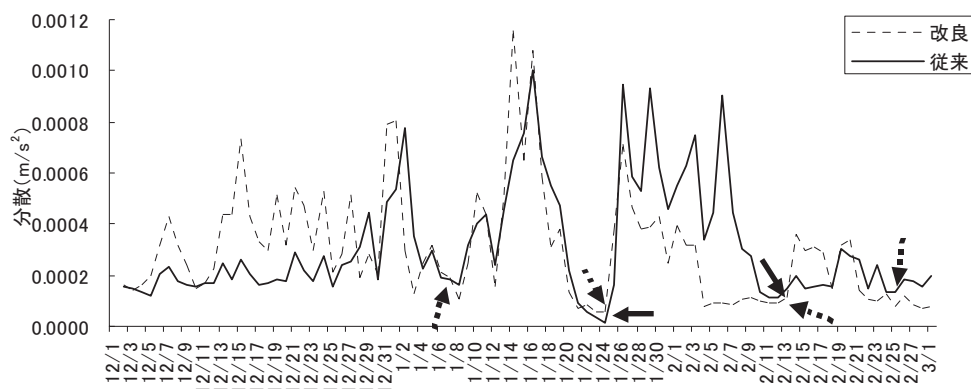


図 44 改良区と従来区における加速度の日別の分散値
(破線矢印は改良区の玉付け日、実線矢印は従来区の玉付け日)

なお、試験開始時にはパールネット 40 連ごとに 1 個ずつ底玉を取り付けていることから、改良区と従来区の余剰浮力は同じだったものと考えられる。それにもかかわらず、試験開始時から 12 月にかけては、従来区よりも改良区の分散値が大きいことから、改良区が従来区よりも波浪の影響を受けていたものと考えられた。

久栗坂実験場でも同様に調整玉改良試験を実施しているが、従来型の調整玉より、数珠繋ぎ式の調整玉の上下動が少ないことが分かっている。

久栗坂実験漁場は陸と平行に、浦田地区の養殖施設は陸と直角に設置されていること、久栗坂実験漁場では土俵がないのに対して、浦田地区の養殖施設は中央に土俵が付いている点が異なっており、波浪に対する影響が異なるものと考えられた。さらに、浦田地区では北西風の影響を受け易い養殖施設の沖側に改良区が設置(図 7)されていたことも、従来区より改良区の分散値が大きかった要因として考えられた。

同じ養殖施設でも垂下位置でホタテガイの育成状況が異なるという漁業者からの情報もあることから、これについては今後、調査を行って確認する必要がある。

また、今回は改良区のへい死率が従来区よりも高かったことから、次年度は別々の養殖施設の同じ位置に改良区と従来区を設置して、比較試験を行う必要がある。

(3) 養殖施設の運動特性の解明

シミュレーション結果の概要を以下に示した。なお、詳細は委託報告書「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(平成 22 年 3 月 19 日)」に記載している。

1) 養殖施設全体の動き

- ① 土俵を設置していない養殖施設は波浪の影響を受けて上下動する。
- ② 波浪中では養殖施設の調整玉が波面に追従し上下動することから、調整玉ロープと連結している幹綱の部分で最も大きく上下に動揺する。
- ③ 調整玉のロープ長が短くなるにつれて幹綱とパールネットの動揺が大きくなる。
- ④ 潮流を受けた養殖施設は定常状態になるとパールネットのふかれ形状がカタナリー曲線の形状となる。

2) パールネットの動きとホタテガイの動き

- ① 調整玉に近いほど波浪の影響を受けてパールネットの上下動が大きくなる。また、調整玉と調整玉の中間の部分では幹綱の上下動は少なく、パールネットの上下動も少ない。ただし、左右動は調整玉との

位置関係に無関係に全体的に同一であった。

- ② 調整玉ロープの長さが短くなり、幹綱、パールネットが海面に近づくとパールネットの振動も大きくなる。
- ③ 連数が増加しても浮力を適切に調整すればパールネットの動きはほぼ同じになると考えられる。
- ④ パールネットの重量が増加するとパールネットの上下動は小さくなり、左右動が大きくなる。
- ⑤ 潮流の影響を受けて、パールネットは傾き、流速が増加するにつれて角度も増加する。しかしホタテガイ稚貝の成長に伴いパールネット全体の重量が増加するとパールネット1連の傾きは小さくなる。

引用文献

- 1) 吉田達・工藤敏博・山内弘子・川村要（2010）：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）。青水総研増事業報告書，39，182-206。

付表1 地区別ホタテガイの殻長、全重量、軟体部重量の平均値の差の検定結果

時期	項目	蓬田	茂浦	小湊	横浜	川内
稚貝採取時	殻長	蓬田		**		**
		茂浦		**		**
		小湊			**	
		横浜				**
		川内				
分散時	殻長	蓬田	**	**		**
		茂浦		**	**	**
		小湊			**	**
		横浜				**
		川内				

時期	項目	蓬田	茂浦	横浜	川内
試験終了時	殻長	蓬田			**
		茂浦		**	**
		横浜			**
		川内		**	
		川内		**	
	全重量	蓬田	*	**	**
		茂浦			**
		横浜			**
		川内			
		川内			
	軟体部重量	蓬田	**	**	**
		茂浦			**
		横浜			**
		川内			
		川内			

**はP<0.01で有意差あり

*はP<0.05で有意差あり