

# ホタテガイ稚貝の冬期へい死原因について

森 恭子・吉田 達<sup>1</sup>・伊藤良博・小谷健二・川村 要

## 目 的

陸奥湾の西湾域では平成 23、24 年度の冬期に比較的多量のホタテガイ稚貝がへい死した。冬期の稚貝へい死は、波浪が原因となることが知られている<sup>1~2)</sup>が、漁業者から湾内に投棄される雪による塩分低下、混入する融雪剤や泥の影響が指摘されている。そこで、冬期における稚貝のへい死原因を解明するため、へい死状況調査及び養殖施設や排雪中の泥の成分分析を行った。

また、へい死の原因は、上段は波浪によるパールネットの上下動の影響、下段は速い流れによるパールネットの振り子運動の影響があると考えられている<sup>2)</sup>。そこで、流れの影響を軽減する養殖管理技術を開発するため、収容密度別、鍾の種類別に成育状況調査を行った。

## 材料と方法

### 1. 冬期のホタテガイ稚貝のへい死状況

#### (1) 漁業者への聞き取り調査

平成 23、24 年度にホタテガイ稚貝の冬期へい死が確認された平内町茂浦地区、浦田地区、稲生地区において、平成 26 年 2 月 21 日に養殖施設の構造、稚貝分散作業の時期、稚貝分散時のパールネットの目合とパールネット 1 段あたりの収容枚数を聞き取りした。また、耳吊り作業用に用意したホタテガイの数量と死貝の量（籠数）の聞き取りにより各地区のへい死率を推定した。

また、波浪がへい死に及ぼす影響を検討するため、12 月から翌年 3 月までの東湾ブイの風速と、青森港の有義波高データについて、平成 23~25 年度の 3 ヶ年を比較した。なお、有義波高データは、国土交通省港湾局によって観測され、港湾空港技術研究所で処理された全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）波浪データ（<http://nowphas.mlit.go.jp/nowphasdata/sub300.htm>）より入手した。

#### (2) ホタテガイの組織の観察

前項の調査時に各地区で養殖されているホタテガイのうち、外套膜が委縮した個体の一部を採取し、外套膜及び鰓を 1%グルタルアルデヒド、1%ホルマリン溶液で固定後、凍結乾燥装置（日本電子、JFD-300）による凍結乾燥及びビオンスパッタ装置（日本電子、JFD-1100E）による真空蒸着を行い、走査型電子顕微鏡（日本電子、JSM-5400LV）で表面構造を観察した。

### 2. パールネットに付着した泥の起源の解明

表 1 に示す時期に、図 1 の地点で採取した 7 種類の泥について成分を比較した。

泥のサンプルは、3%NaCl 溶液でパールネットを洗浄して得られた沈降物、スミスマッキンタイヤ採泥器を用いて採取した海底堆積物、直接サンプル瓶により採取した川床堆積物、排雪場の雪 200 に含まれる沈降物とした。

採取したサンプルを 20l の蒸留水に 4 日間懸濁、沈殿後にサイフォンで上澄みを除き、40℃で 3 日間乾燥後に 63 μm の篩を通過した乾燥試料を成分分析に用いた。

表 1. サンプルの種類と採取時期

サンプル	採取時期
① パールネット1の付着泥（蓬田）	平成25年3月
② パールネット2の付着泥（奥内）	平成25年2月
③ パールネット3の付着泥（原別）	平成25年4月
④ 海底1の泥（漁場公害調査指導事業St2）	平成24年9月
⑤ 海底2の泥（漁場公害調査指導事業St1）	平成24年9月
⑥ 河川の泥（内真部川）	平成25年3月
⑦ 排雪場の泥	平成25年3月

<sup>1</sup> 青森県農林水産部水産局水産振興課

乾燥試料は、当産技センター弘前地域研究所の ICP 質量分析及び ICP 発光分光分析により無機元素の分析を行った他、弘前大学農学生命科学部の全自動元素分析装置（エレメンタル Vario EL Cube）により全炭素量（T-C）と全窒素量（T-N）の分析を行った。各地点の泥の元素組成の類似度を解析するため、得られた 11 元素のうち、海水の影響が大きいと考えられる Na ならびに含有量が非常に少ない Zr を除外した Al、Ca、Mg、K、Fe、Ti、Sr、C、N の 9 元素を用いてクラスター分析を行った。なお、クラスター分析では、標準化したデータを用いてユークリッド平方距離を求め、Ward 法でデンドログラムを作成した。さらに、弘前大学の赤外線分光光度計により拡散反射フーリエ変換赤外線吸収スペクトル（DRIFT スペクトル）の測定を行って、吸収スペクトルの波形を比較し、各地点の泥の類似度を解析した。

### 3. へい死率を低減するための養殖方法の開発

平成 25 年 10 月 7 日に 1 段あたり 15 枚と 40 枚のホタテガイ稚貝を収容したパールネット（10 段）を 4 連ずつ作成し、各々の錘として、最下段の鉄枠を太枠に代えたもの、鉛 100 匁（375g：鉛 100 匁区）及びコンクリート錘（1,650g）を最下段に付したもの、及び対照区として錘を付さないものの計 8 連を、久栗坂実験漁場（図 2）の養殖施設の調整玉の中間へ垂下した（図 3）。高密度区（40 枚入れ/段）と低密度区（15 枚入れ/段）の間の幹綱及び低密度区の 4 試験区のパールネットの 9 段目と 10 段目の間にはメモリー式加速度計（Onset Computer 社、HOB0 ペンダント G Logger）を設置し、5 分間隔で鉛直方向の加速度を記録した。

平成 26 年 4 月 15 日にパールネットを回収し、上部（1～3 段目）、中部（4～7 段目）、下部（8～10 段目）別にホタテガイの生死を判別し、へい死率を求めるとともに、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、異常貝を計数した。

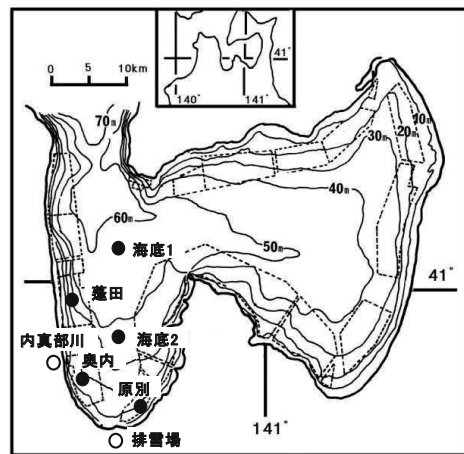


図 1. 泥分析用サンプル採取地点図。

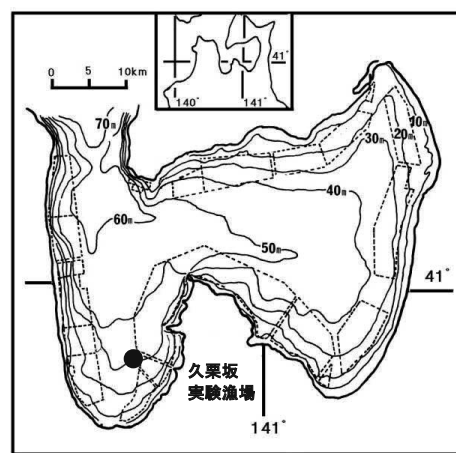


図 2. 試験施設の位置図。

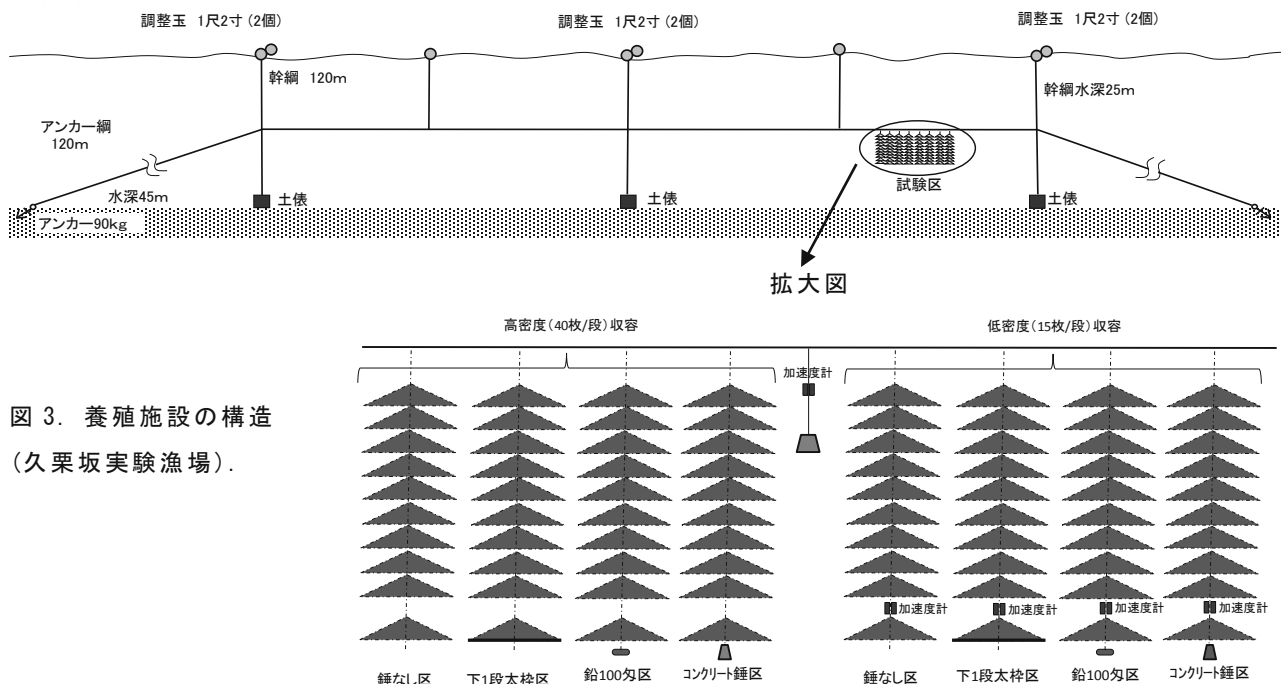


図 3. 養殖施設の構造  
(久栗坂実験漁場)。

## 結果と考察

### 1. 冬期のホタテガイ稚貝のへい死状況

#### (1) 漁業者への聞き取り調査

漁業者からの聞き取り内容を表2に示す。稚貝分散の時期は全地区で10月であり、パールネットの目合いは分散時期が10月上旬の場合は2分、中～下旬の場合は3分を使用している漁業者が多かった。パールネット1段あたりの収容枚数は、全地区で10～15枚と県が指導する適正な枚数

表2. 漁業者からの聞き取り内容

養殖施設の場所	漁場水深	幹綱水深	稚貝分散の状況			聞き取り時のへい死率*	
			作業月日	パールネットの目合	収容枚数		
平内町	陸側	35m	12m	H25.10中旬	3分	15枚/段	0.0%
茂浦地区	沖側	45m	15m	H25.10.20	3分	15枚/段	4.8%
平内町	陸側	40m	15m	H25.10月上旬	2分	15枚/段	4.9%
浦田地区	陸側	45m	23m	H25.10月上旬	3分	15枚/段	11.1%
平内町	沖側1	52m	15m	H25.10下旬	3分	15枚/段	1.9%
稲生地区	沖側2	51m	30m	H25.10月上旬	2分	10枚/段	7.5%

\*耳吊り作業用に用意したホタテガイの数量と死貝の量(箆数)により推定した参考値

が収容されており、顕著なへい死が見られた平成24年度の15～25枚/段と比較して少なかった。へい死率は、0～11.1%で、平成24年の11.6～50.3%<sup>2)</sup>より低かった。

12月～翌年3月の東湾ブイの風速を比較した結果、平成25年度と比較して平成24年度が風速10～20mの強風の日が11日多かった(図4)。また、12月～翌年3月の青森港における20分毎の有義波高について、月別、段階別に観測回数を平成23～25年度の3ヶ年で比較した結果、平成25年度は平成23、24年度にみられた2mを超える波浪が観測されることはなかった(表3)。このことから、平成25年度は、パールネット1段あたりの収容枚数が少なかったことに加え、冬期に時化が少なく、海況が比較的穏やかであったためへい死が少なかった可能性が推察された。

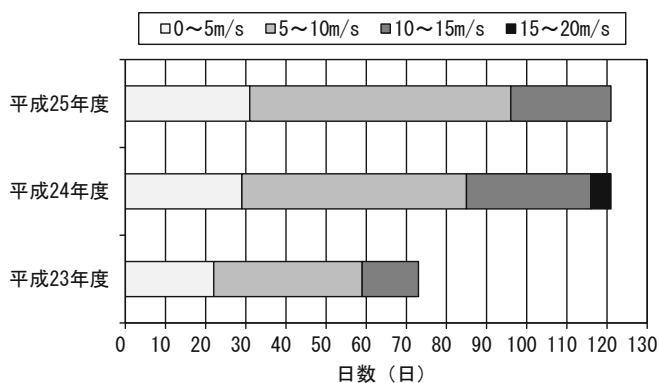


図4. 12月～翌年3月の東湾ブイにおける日平均風速の段階別日数. 平成23年は12月1日～翌年1月18日まで欠測.

#### (2) ホタテガイの組織の観察

聞き取り調査時に採取したサンプルの外套膜を電子顕微鏡で観察したところ、茂浦地区陸側及び浦田地区陸側の2個体において外套膜の内褶全体に直径1～5μmの微細な穴が多数確認された(図5、6)。また、稲生地区陸側ではサンプルの所々に微細な穴を確認し(図7)、稲生地区沖側1では異常は認められなかった(図8)。

表3. 青森港における有義波高の段階別観測頻度

	1.0～1.5m	1.5～2.0m	2.0～2.5m
12月	1	0	0
1月	100	0	0
2月	41	16	43
3月	100	0	0
H23計	64.5	9.7	25.8
12月	100	0	0
1月	100	0	0
2月	87	10	3
3月	100	0	0
H24計	95.0	3.8	1.3
12月	100	0	0
1月	97	3	0
2月	90	10	0
3月	100	0	0
H25計	94.4	5.6	0.0

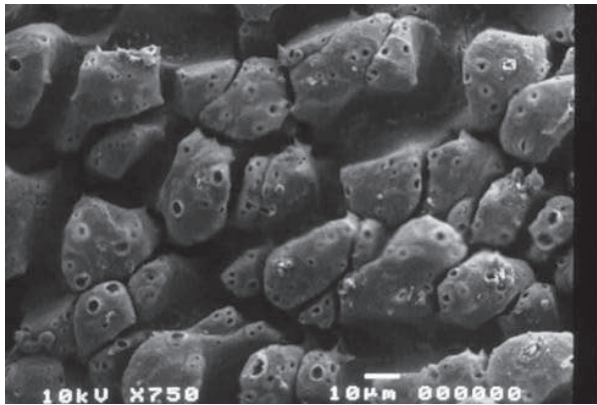


図 5. 茂浦地区陸側施設における殻長 62 mm の稚貝の外套膜内褶.

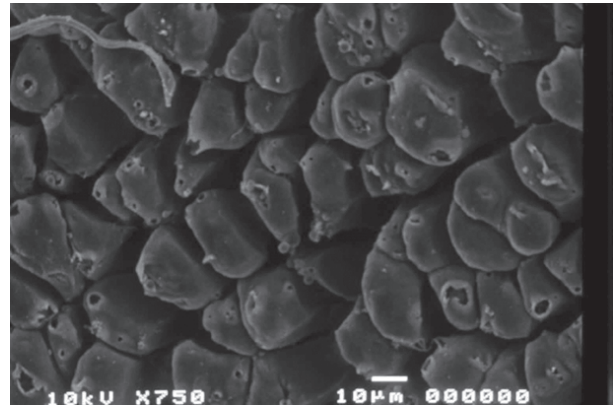


図 6. 浦田地区陸側施設における殻長 56 mm の稚貝の外套膜内褶.

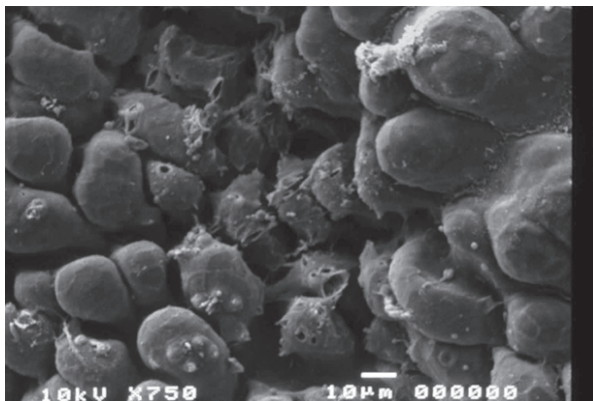


図 7. 稲生地区陸側施設における殻長 55mm の稚貝の外套膜内褶.

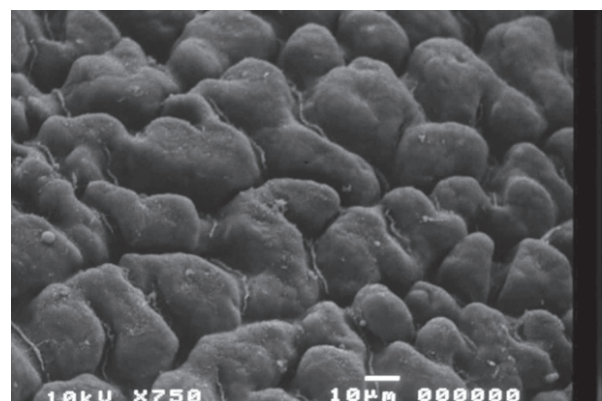


図 8. 稲生地区沖側施設における殻長 55mm の稚貝の外套膜内褶.

## 2. パールネットに付着した泥の起源の解明

### (1) 元素組成の比較

分析により得られた無機元素及び炭素と窒素の含有量を表 4 に示す。クラスター分析の結果、図 9 のデンドログラムが得られた。パールネットの付着泥の元素組成は、相互に類似し、海底、河川及び排雪場の泥とは異なるクラスターに属した。海底の泥は、相互の類似性が非常に高く、また、河川及び排雪場の泥と同クラスターを形成した。

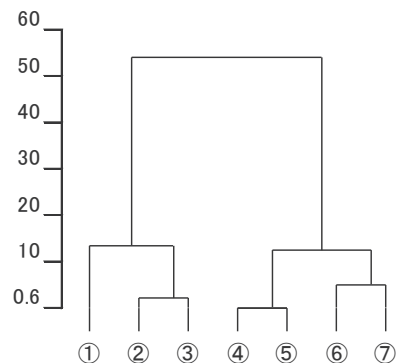


図 9. 元素組成のクラスター分析によるデンドログラム.

表 4. 無機元素及び炭素と窒素の分析結果

分析サンプル	Al (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	K (%)	Fe (%)	Ti (%)	Sr (%)	Zr (%)	T-C (%)	T-N (%)	C/N比
①パールネット1の付着泥	3.82	5.40	1.71	7.02	1.00	2.43	0.18	0.04	<0.01	8.62	1.47	5.9
②パールネット2の付着泥	5.41	2.80	1.54	5.19	1.03	3.22	0.23	0.02	<0.01	7.40	0.94	7.9
③パールネット3の付着泥	5.52	3.91	1.15	4.23	0.90	3.35	0.24	0.02	<0.01	7.49	1.01	7.4
④海底1の泥	7.75	1.47	1.59	1.80	1.65	4.19	0.32	0.01	0.01	2.35	0.22	10.6
⑤海底2の泥	7.37	1.73	1.62	1.67	1.45	3.94	0.31	0.01	0.01	2.11	0.22	9.4
⑥河川の泥	8.15	2.12	0.87	2.02	1.57	4.27	0.36	0.02	0.01	1.72	0.13	13.4
⑦排雪場の泥	9.16	1.50	0.75	1.20	1.00	4.03	0.37	0.01	0.01	7.41	0.45	16.3



## (2) DRIFT スペクトルの比較

パールネットに付着した泥の DRIFT スペクトル (図 10) は、相互に類似した。1030 $\text{cm}^{-1}$  付近と 1090 $\text{cm}^{-1}$  付近の吸収ピークは、鉱物中の Si-O 伸縮振動によるものであり、パールネットに付着した泥では両ピークの吸収が強かった。しかし、他のサンプルでは 1030 $\text{cm}^{-1}$  付近のピークが強く、1090 $\text{cm}^{-1}$  付近のピークが弱いという点でパールネットに付着した泥とは吸収ピークが大きく異なった。このことは、パールネット付着泥とそれ以外のサンプルとは鉱物組成が異なることを示唆する。さらに、パールネットに付着した泥では 2850 $\text{cm}^{-1}$  付近および 2920 $\text{cm}^{-1}$  付近のピークが認められたが、これらは有機成分に含まれる脂肪族基の C-H 伸縮振動に基づくピークであり、脂肪族化合物を含むことを示す。しかし、パールネット付着泥以外のサンプルでは、これらのピークは認められなかった。さらに、1300~1900  $\text{cm}^{-1}$  の領域の主に有機成分に由来すると考えられるピークの形状も、パールネット付着泥とそれ以外のサンプルとは異なった。

1300~1900  $\text{cm}^{-1}$  の領域を詳細に検討するため、デコンボリューション処理を行って図 10 に示した。デコンボリューション処理を行った 1300 $\text{cm}^{-1}$ ~1900  $\text{cm}^{-1}$  のスペクトルは、サンプルによって大きく異なった。パールネット付着泥のスペクトルは、相互に類似しており、ペプチド結合に由来する 1670 $\text{cm}^{-1}$  付近のアミド I バンドの吸収ピークが強いことが特徴的であった。このことは、パールネット付着泥がタンパク質様物質を多く含むことを示している。また、パールネット付着泥がタンパク質様物質に加えて脂肪族化合物も多く含むことから、パールネットに付着した泥の有機成分は、生物体の腐敗物のような生物由来物質に富むことが示唆された。海底の泥も互いに類似したスペクトルを示し、ペプチド結合由来の 1670 $\text{cm}^{-1}$  付近の吸収ピークが認められたが、このピークとオーバーラップしている 1640 $\text{cm}^{-1}$  付近の吸収ピークが存在する点でパールネット付着泥とは大きく異なり、全体的なピーク形状も海底の泥とパールネット付着泥とは異なっていた。河川の泥は、デコンボリューション処理を行った 1300~1900  $\text{cm}^{-1}$  のスペクトルの形状は異なっていた。とくに、1600 $\text{cm}^{-1}$  付近の芳香族化合物の C=C 伸縮振動に由来する吸収ピークが存在する点で、パールネット付着泥及び海底の泥とは大きく異なった。排雪場の泥は、1600 $\text{cm}^{-1}$  付近の芳香族化合物の吸収ピークが非常に強く、この点で他のサンプルと大きく異なった。排雪場の泥に見られる 1600 $\text{cm}^{-1}$  付近の芳香族化合物の吸収ピークは、青森市内に多く存在する火山灰土壌 (黒ボク土) に含まれる腐植に特徴的であり、排雪場の泥の主体が火山灰土壌に由来することが示唆された。

以上のことから、陸奥湾西部のホタテ養殖籠 (パールネット) に付着した泥は、海底の底質、河川の底質および排雪場の泥とは大きく異なることが確かめられた。

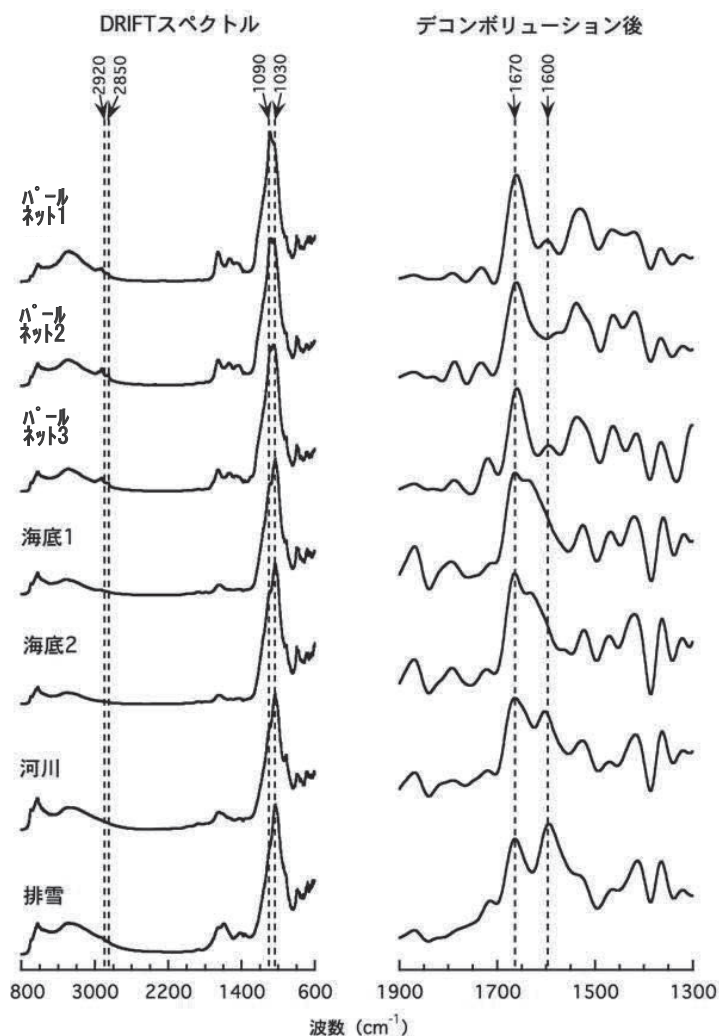


図 10. サンプルの DRIFT スペクトル.

### 3. へい死率を低減するための養殖方法の開発

ホタテガイの測定結果を表5に示す。へい死率は、高密度収容区では錘なし区が5.9~9.4%(平均8.2%)、下1段太枠区が7.5~10.8%(平均9.1%)、鉛100匁区が15.7~17.8%(平均16.8%)、コンクリート錘区が16.2~17.6%(平均16.9%)で、コンクリート錘区、鉛100匁区、下1段太枠区、錘なし区の順で高い値を示した。低密度収容区のへい死率は、錘なし区が6.7~12.3%(平均10.4%)、下1段太枠区が0~15.2%(平均7.7%)、鉛100匁区が13.6~19.2%(平均17.3%)、コンクリート錘区が4.4~8.8%(平均6.1%)で、鉛100匁区、錘なし区、下1段太枠区、コンクリート錘区の順で高い値を示した。

異常貝率は、高密度収容区の下1段太枠区の上部及び中部、鉛100匁区の上部及び下部で2.0%、低密度収容区の下1段太枠区の上部及び鉛100匁区の中中部で2.4%、その他は0%であり、全体的に低い値であった。

殻長、全重量及び軟体部重量の平均値の差の検定(t検定)を有意水準1%及び5%で行った(表6~表8)。低密度収容区は、全ての項目で高密度収容区より有意に高い値を示した。低密度収容区内では、錘なし区の下部が全ての項目で他の試験区より有意に低い値を示したが、高密度収容区内では錘なし区の下部は全項目で他の試験区より有意に低い値とはなっていなかった。

表5. ホタテガイの測定結果

試験区		生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	異常貝 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 指数	
高密度 (40枚/段) 収容	錘なし区	上	111	7	5.9	0.0	67.4 ± 4.3	32.3 ± 5.2	13.0 ± 2.5	40.4
		中	145	15	9.4	0.0	66.9 ± 4.6	31.8 ± 5.5	13.0 ± 2.4	40.8
		下	109	11	9.2	0.0	65.7 ± 4.7	30.5 ± 5.1	12.4 ± 2.2	40.8
		平均	-	-	8.2	0.0	66.6	31.5	12.8	40.6
	下1段太枠区	上	100	10	9.1	2.0	67.2 ± 4.8	32.1 ± 5.8	13.0 ± 2.7	40.5
		中	116	14	10.8	2.0	65.7 ± 5.5	30.3 ± 6.8	12.2 ± 2.8	40.4
		下	111	9	7.5	0.0	65.1 ± 4.5	28.7 ± 4.9	11.4 ± 2.1	39.6
		平均	-	-	9.1	1.3	66.0	30.4	12.2	40.1
	鉛100匁区	上	97	21	17.8	2.0	68.4 ± 4.6	34.0 ± 5.6	13.9 ± 2.3	40.7
		中	134	25	15.7	0.0	66.4 ± 4.6	31.2 ± 5.6	12.7 ± 2.4	40.8
		下	103	21	16.9	2.0	65.5 ± 5.4	29.4 ± 6.5	11.9 ± 2.9	40.5
		平均	-	-	16.8	1.3	66.8	31.5	12.8	40.7
コンクリート錘区	上	79	16	16.8	0.0	68.2 ± 5.4	32.4 ± 6.9	13.4 ± 3.1	41.3	
	中	131	28	17.6	0.0	67.3 ± 4.7	32.3 ± 6.4	13.3 ± 2.8	41.1	
	下	98	19	16.2	0.0	66.7 ± 3.9	31.1 ± 4.9	12.5 ± 2.0	40.2	
	平均	-	-	16.9	0.0	67.4	31.9	13.1	40.9	
低密度 (15枚/段) 収容	錘なし区	上	36	5	12.2	0.0	74.7 ± 3.8	42.5 ± 5.6	18.0 ± 2.8	42.4
		中	50	7	12.3	0.0	73.6 ± 5.8	39.8 ± 7.6	16.7 ± 3.4	42.0
		下	42	3	6.7	0.0	71.1 ± 4.2	37.3 ± 6.5	15.7 ± 2.8	42.1
		平均	-	-	10.4	0.0	73.1	39.8	16.8	42.2
	下1段太枠区	上	42	0	0.0	2.4	72.4 ± 7.6	40.5 ± 9.4	17.0 ± 4.1	42.0
		中	39	7	15.2	0.0	75.1 ± 4.8	42.2 ± 7.0	17.8 ± 3.4	42.2
		下	35	3	7.9	0.0	73.6 ± 4.0	41.4 ± 5.9	17.6 ± 2.7	42.6
		平均	-	-	7.7	0.8	73.7	41.4	17.5	42.3
	鉛100匁区	上	34	8	19.0	0.0	74.4 ± 4.9	40.7 ± 7.9	17.5 ± 3.8	43.0
		中	42	10	19.2	2.4	76.2 ± 4.0	43.6 ± 5.8	19.3 ± 2.6	44.3
		下	38	6	13.6	0.0	75.0 ± 5.7	41.1 ± 6.8	17.4 ± 3.1	42.4
		平均	-	-	17.3	0.8	75.2	41.8	18.1	43.2
コンクリート錘区	上	43	2	4.4	0.0	75.0 ± 4.3	44.2 ± 6.8	18.7 ± 3.1	42.4	
	中	52	5	8.8	0.0	74.3 ± 6.9	40.8 ± 8.0	17.2 ± 3.4	42.1	
	下	38	2	5.0	0.0	74.9 ± 4.5	42.3 ± 6.4	17.5 ± 2.7	41.3	
	平均	-	-	6.1	0.0	74.7	42.4	17.8	41.9	



養殖施設の幹綱及び低密度収容区におけるパールネット下段の鉛直方向における加速度の推移を図 11 に示す。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、錘なし区が  $0.00042 \text{ m/s}^2$  と顕著に高い値を示した(図 12)ことから、錘をつけた方がパールネットの上下動を抑制する効果があることが示唆された。

ホタテガイの測定結果では、高密度及び低密度収容区ともに、へい死率に大きな差は見られず、成長は、低密度収容区では錘なし区の下部で成長が遅い傾向が確認できたが、錘の種類では大きな差は見られなかった。前述のとおり、平成 25 年度は平成 23 年度及び平成 24 年度と比較して時化の影響が少なく、全体的にへい死が少ないと報告されていることから、本試験においても波浪や流れの影響が少なく、どの試験区でも順調に成育出来たと考えられる。冬期へい死時の対策を確立するためにも、来期に同様の試験を行い、検証を続ける必要がある。

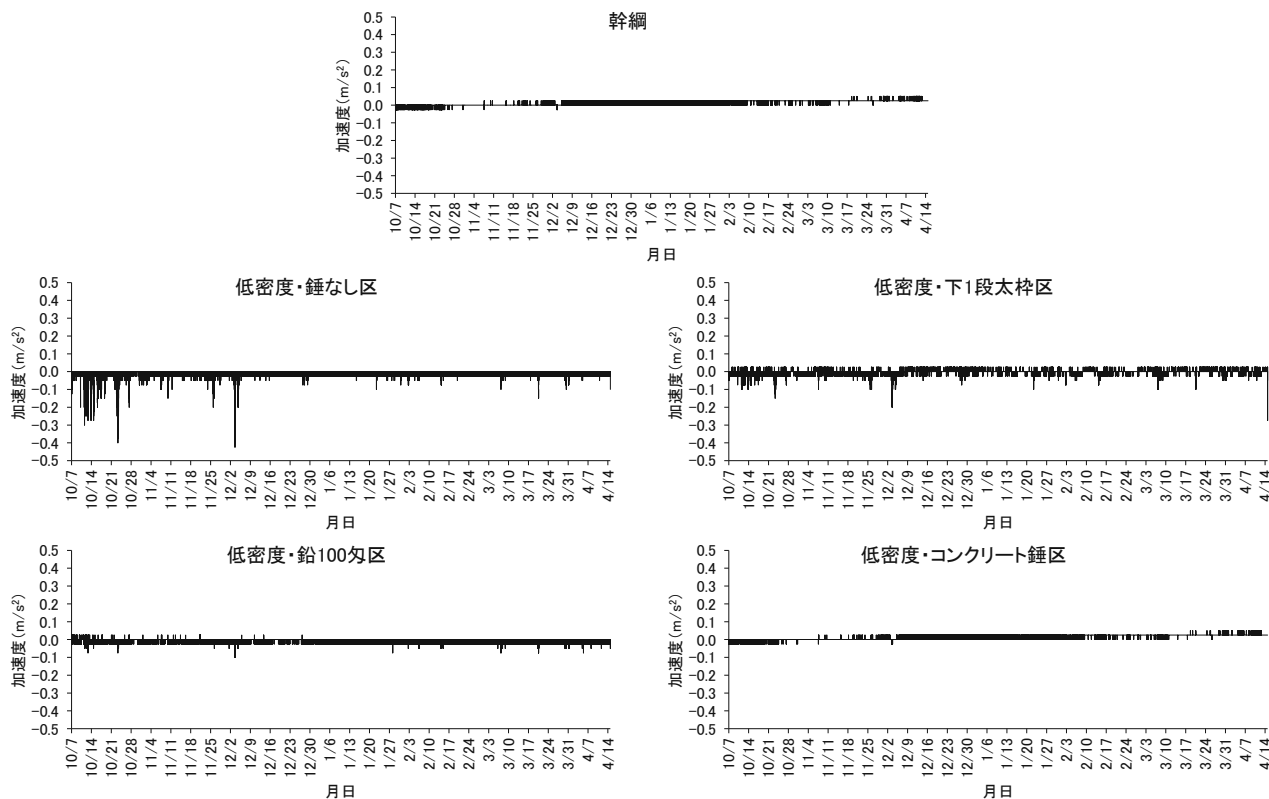


図 11. 養殖施設の幹綱及び低密度収容区におけるパールネット下段の垂直方向における加速度の推移.

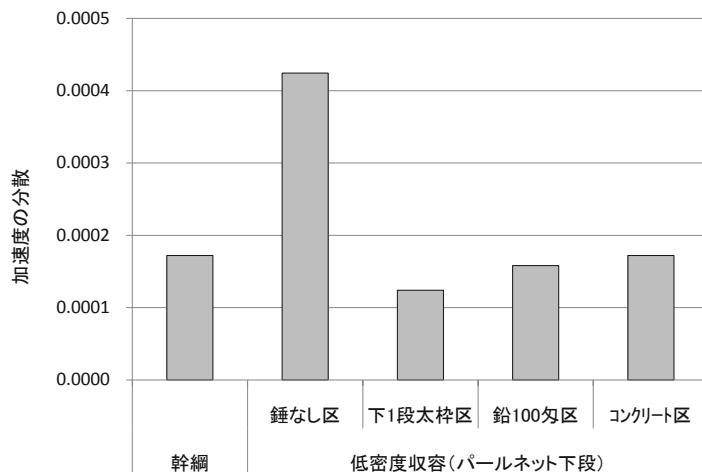


図 12. 加速度の分散.



#### 4. 今後の課題

平成 25 年度は平成 23 年度と平成 24 年度に比べ、冬期の波浪が少なかったため、へい死率が低かったと考えられた。波浪とへい死の関係については、今後も継続して調べていく必要がある。また、流れの速い場所でへい死したとの漁業者情報があることから、流れとへい死との関係も調べる必要がある。

さらに、冬期へい死時に見られる外套膜や鰓に穴が形成されるメカニズムや、鰓が融解するメカニズムが不明であることから、室内試験などを行って明らかにする必要がある。

#### 謝 辞

へい死に関する聞き取り調査、調査用のホタテガイ稚貝の提供にご協力いただいた漁業者、漁業協同組合の職員並びに青森県東青地域県民局東青地域農林水産部青森地方水産業改良普及所の職員の皆様及び微細粒子の起源の解明にあたり分析にご協力いただいた弘前大学農学生命科学部の青山正和教授並びに弘前地域研究所の横山幸仁研究管理員にお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 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.
- 2) 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.