

ホタテガイ稚貝の冬季へい死原因について

東野敏及・吉田達・伊藤良博・小谷健二・田中淳也*¹・小倉大二郎・川村要

目 的

平成 23 年 12 月から平成 24 年 3 月にかけて、陸奥湾の特に西湾海域において、例年よりも多くのホタテガイ稚貝がへい死した。これまで、冬季のホタテガイのへい死は度々発生しており、その原因としては、時化による波浪の影響が考えられてきたが、海域への排雪に伴う海水の塩分の低下及び融雪剤の影響を危惧する漁業者もあり、冬季のへい死の原因を特定するまでには至っていないのが現状である。そこで本研究では、冬季のホタテガイのへい死原因を調べることを目的として、へい死状況調査及び低塩分の影響に関する試験を実施した。

材料と方法

1 冬季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 24 年 1 月～3 月にかけて、ホタテガイ稚貝の冬季へい死が確認された青森市後潟地区、奥内地区、原別地区及び平内町土屋地区、茂浦地区、浦田地区、小湊地区、清水川地区において、養殖施設の構造、作業内容及びへい死の状況等に関して聞き取り調査を実施した。

(2) ホタテガイの測定及び組織の観察

前述の聞き取り調査を実施した各漁業者の養殖施設に垂下しているパールネットの上段、中段、下段から各 1 段分のホタテガイを採取し、生貝、死貝の枚数を計測しへい死率を算出した。また、生貝については殻長、全重量、軟体部重量を計測し、死貝については殻長のみを計測した。

さらに、へい死率が高い地区においては、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イオンスパッタ装置（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）による組織観察に供した。

2 海域への排雪によるホタテガイ稚貝への影響

養殖漁場における塩分濃度の変化を調べるために、平成 24 年 1 月～3 月にかけて青森市原別地区の漁業者のホタテガイ養殖施設の幹綱にメモリー式水温塩分計（JFE アドバンテック社、INFINTY-CTW）を設置し、30 分間隔で水温及び塩分を記録した。また、養殖施設の上下動についても併せて調べるために、前述のメモリー式水温塩分計の側面にメモリー式加速度計（Onset Computer 社、HOB0 ペンダント G Logger）を取り付け、3 分間隔で垂直方向の加速度を記録した。

また、低塩分がホタテガイ稚貝にどのような影響を与えるかを調べるために、60%、70% 及び 100% の 3 種類の濃度のろ過海水を作成し、各濃度の海水を入れた 10L のプラスチック水槽に平成 23 年産ホタテガイを 4 個体ずつ投入した。これらのプラスチック水槽は、水温を一定に保つために、5℃ のろ過海水をかけ流しにした 250L 角形 FRP 水槽内へ浸した。飼育開始直後、4 時間後及び 28 時間後にポータブルマルチメーター（HACH 社、HQ40d）で水温・塩分濃度の測定及びへい死状況の確認を行い、へい死した貝については 1% グルタルアルデヒド、1% ホルマリン溶液で固定後、外套

*1 青森県農林水産部水産局水産振興課

膜及び鰓を採取し、前述と同様の処理を施した後、走査型電子顕微鏡による組織観察に供した。

結果と考察

1 冬季のホタテガイ稚貝のへい死状況

(1) 青森市後潟地区

漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 1 に示す。漁場水深 19m、幹綱水深 7m の陸側の養殖施設では、平成 23 年 9 月 15 日に稚貝採取が、12 月 21 日に稚貝分散が行われていた。また、漁場水深 30m、幹綱水深 12m の沖側の養殖施設では、7 月 20 日に稚貝採取が、10 月 10 日に稚貝分散が行われていた。パールネット 1 段あたりの収容枚数については、陸側と沖側でそれほど差はなく、稚貝採取時は 120～150 枚、稚貝分散時は 20 枚であった。

漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 2 に示す。へい死率は、陸側の上段で 60.0%、中段で 15.8%、下段で 37.5%といずれの段においても高い値を示していた。また、沖側は上段で 4.3%、中段で 0%、下段で 21.1%と下段でやや高い値であった。陸側と沖側の施設の死貝については全て軟体部のない空貝のみで、へい死直後の貝は確認されなかった。

表 2 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(後潟地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側	H24.3.8	パールネット上段	8	12	60.0	60.0	0	53.0 ± 6.3	15.1 ± 5.2	5.9 ± 2.7	39.0
		パールネット中段	16	3	15.8	15.8	0	57.0 ± 6.3	19.5 ± 6.0	8.1 ± 2.9	41.5
		パールネット下段	10	6	37.5	37.5	0	55.9 ± 6.3	18.0 ± 6.2	7.3 ± 3.2	40.5
		合計・平均	34	21	38.2	38.2	0	55.6 ± 6.3	17.8 ± 6.0	7.2 ± 3.0	40.6
沖側	H24.3.8	パールネット上段	22	1	4.3	4.3	0	61.3 ± 4.9	23.6 ± 5.0	10.3 ± 2.5	43.7
		パールネット中段	11	0	0	0	0	65.7 ± 7.1	29.6 ± 8.1	13.1 ± 3.7	44.4
		パールネット下段	15	4	21.1	21.1	0	55.5 ± 4.8	18.6 ± 4.6	8.2 ± 2.3	44.1
		合計・平均	48	5	9.4	9.4	0	60.6 ± 6.5	23.5 ± 6.9	10.3 ± 3.2	44.0

また、異常貝の有無について調べたところ、陸側施設はパールネット上段に欠刻が 1 個体、着色が 1 個体、中段に欠刻が 4 個体、下段に欠刻が 3 個体、沖側施設はパールネット上段に着色が 1 個体、中段に欠刻が 1 個体、着色が 1 個体認められた。異常貝率は陸側施設で 26.5%、沖側施設で 6.3%であった。

さらに、へい死率が高かった陸側施設のパールネット上段及び沖側施設のパールネット下段の生貝について、電子顕微鏡で外套膜及び鰓を観察したところ、外套膜の内褶、鰓の呼吸拡散及び第二次鰓弁の繊毛上皮細胞には異常は認められなかった。(図 1～6)。へい死貝が空貝のみであったことや電子顕微鏡による組織観察で異常な組織が認められないことから、調査時点ではへい死は収束していたものと考えられた。

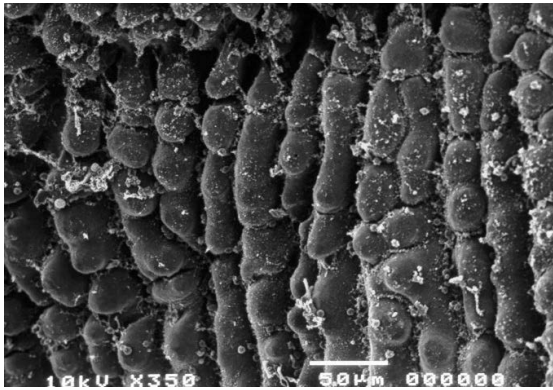


図 1 陸側施設の稚貝の外套膜内褶

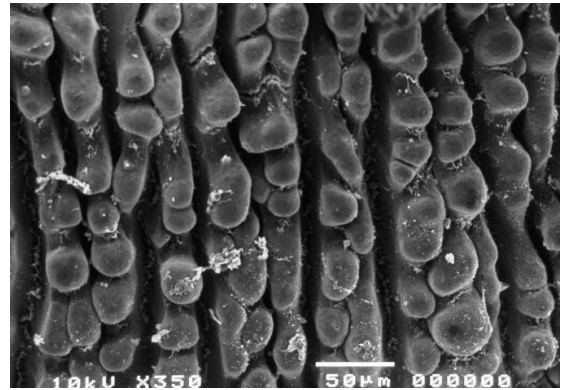


図 2 沖側施設の稚貝の外套膜内褶

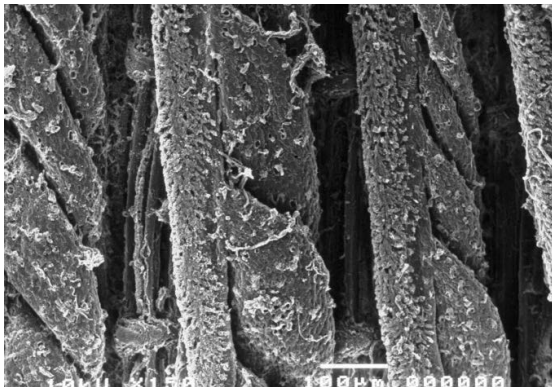


図 3 陸側施設の稚貝の鰓の呼吸拡散

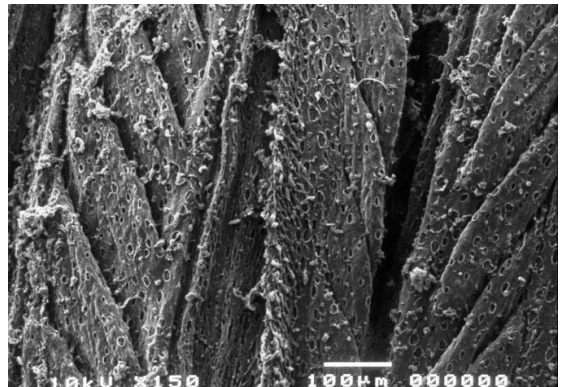


図 4 沖側施設の稚貝の鰓の呼吸拡散

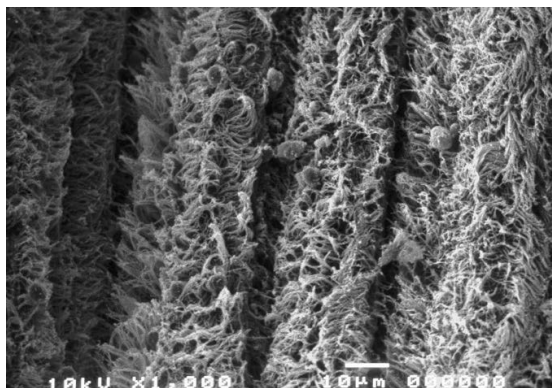


図 5 陸側施設の稚貝の第二次鰓弁

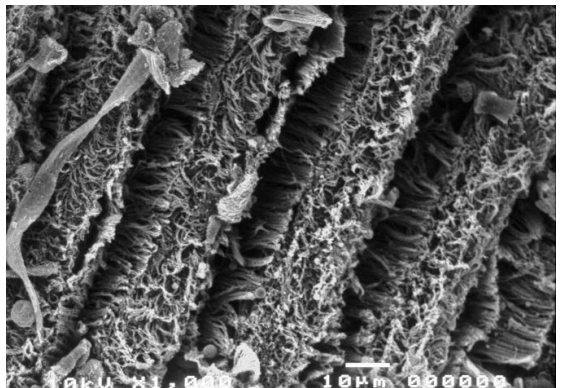


図 6 沖側施設の稚貝の第二次鰓弁

陸側施設の生貝の分散時殻長、死貝の殻長及び生貝の測定時殻長の組成を図 7 に、沖側施設の生貝の分散時殻長、死貝の殻長及び生貝の測定時殻長の組成を図 8 に示す。陸側施設では分散時と死貝の殻長組成がほぼ同じであることから、分散後、間もない時期にへい死したと考えられる。また、沖側施設では、死貝の殻長組成が殻長 20mm～30 mm と殻長 48mm～58 mm に分かれていることから、死貝には分散直後にへい死した貝と分散後に成長してへい死した貝の 2 種類の貝が存在していると考えられる。分散から測定までの増殻長と日数から求めた日間成長量を用い、測定時の生貝と死貝の平均殻長の差から死貝のおおよその死亡月日を逆算したところ、陸側施設では平成 23 年 12 月 29 日前後、沖側施設の分散後に成長してへい死した貝のへい死時期は平成 24 年 2 月 3 日前後と推定された。

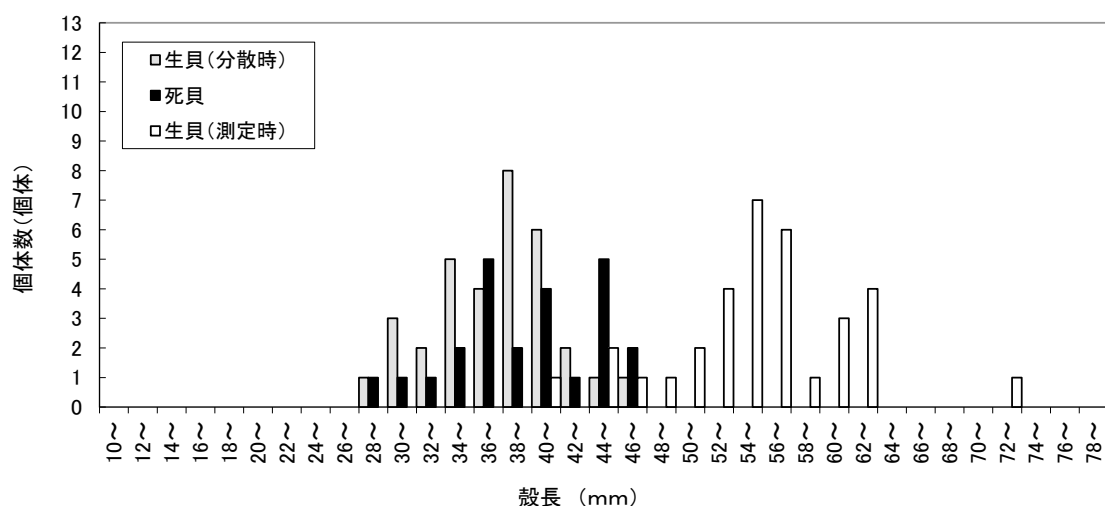


図 7 陸側施設の殻長組成

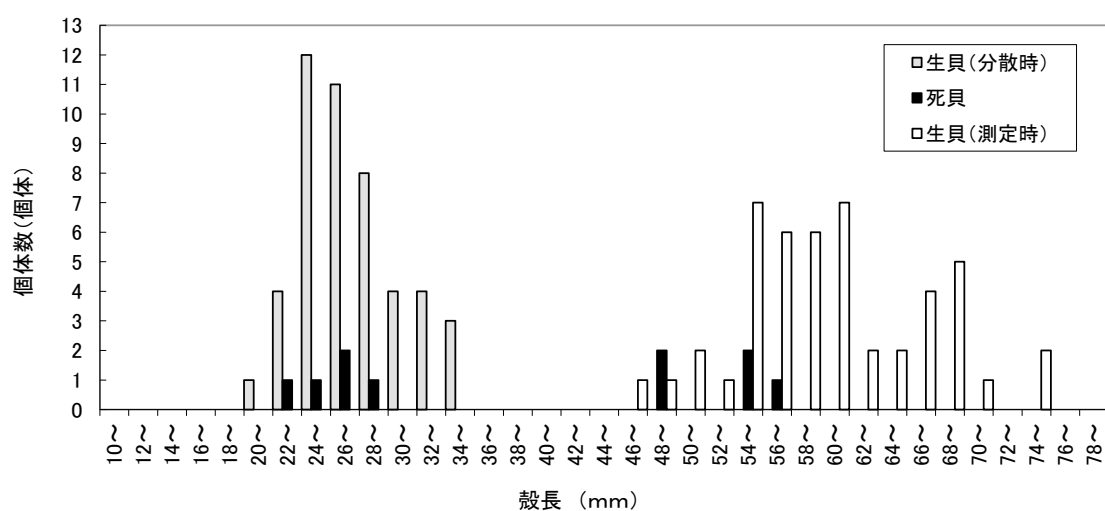


図 8 沖側施設の殻長組成

陸側施設では稚貝分散が平成 23 年 12 月 21 日とかなり遅いこと（表 1）、気象庁の蟹田観測所におけるアメダスデータ（図 9）によると平成 23 年 12 月 22 日から 12 月 27 日の低気圧通過（通称：クリスマス寒波）により強い西風が観測されていること、パールネット上段のへい死率が 60%と最も高いことから、陸側施設のへい死は分散直後の強い西風による波浪が原因と考えられた。

同じく気象庁のデータによると平成 24 年 2 月 1 日から 2 月 2 日にかけてかなり強いヤマセが観測されていること（図 10）、奥内地先の養殖施設の水深 11m 及び 16m に設置した流速計のデータ¹⁾によると、平成 24 年 2 月 2 日に約 26.2～37.8 cm/s（約 0.5～0.7 ノット）とかなり速い流れが観測されていること（図 11～12）、パールネット上段のへい死率が 4.3%、下段のへい死率が 21.1%と高いこと（表 2）から、沖側施設における成長後のへい死は 2 月 1 日～2 日のヤマセによる波浪と潮流が原因と考えられた。

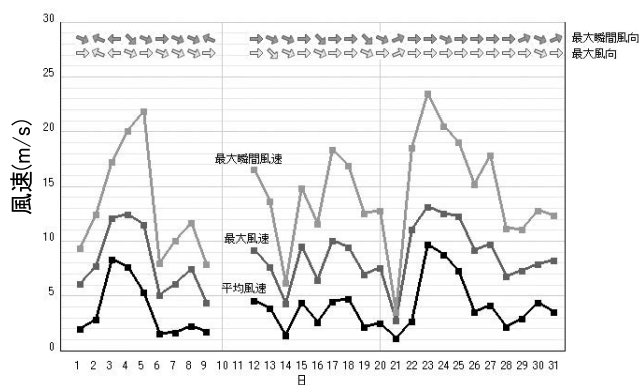


図 9 平成 23 年 12 月の気象庁蟹田観測所の
風向・風速（アメダスデータより引用）

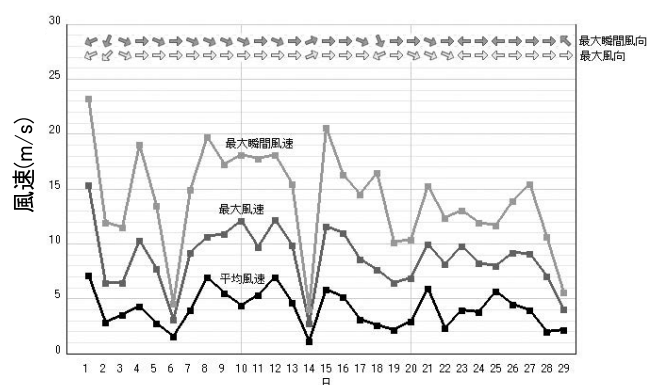


図 10 平成 24 年 2 月の気象庁蟹田観測所の
風向・風速（アメダスデータより引用）

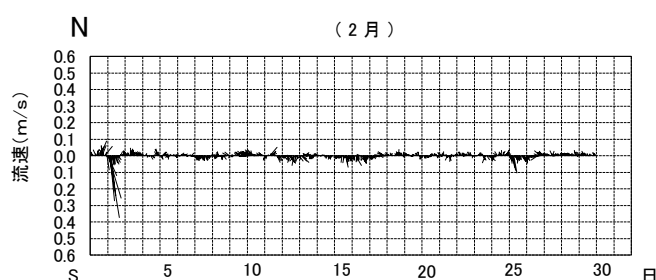


図 11 平成 24 年 2 月の奥内地先の陸側養殖施設
での水深 11m における流向流速

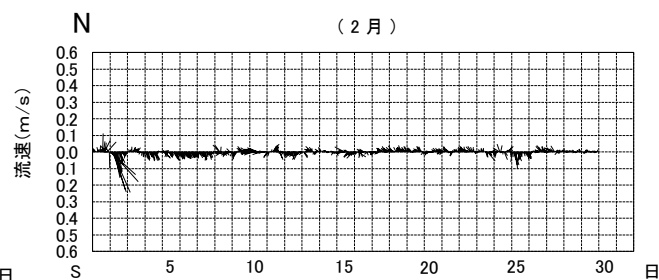


図 12 平成 24 年 2 月の奥内地先の陸側養殖施設
での水深 16m における流向流速

（2）青森市奥内地区

漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 3 に示す。漁場水深 23m、幹綱水深 10m の陸側の養殖施設及び漁場水深 34m、幹綱水深 15m の沖側施設では、平成 23 年 8 月 5 日に稚貝採取が、10 月 13 日に稚貝分散が行われていた。パールネット 1 段あたりの収容枚数については、陸側、沖側ともに稚貝採取時は 100 枚、稚貝分散時は 15 枚であった。

漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 4 に示す。へい死率は、陸側施設の上段で 39.1%、中段で 26.1%、下段で 54.2%、沖側施設の上段で 30.4%、中段で 45.5%、下段で 17.4%といずれの段においても高いへい死率を示していた。また、陸側の施設の死貝については全て空貝のみで、調査時にはへい死直後の貝は確認されなかったが、沖側の施設の中段ではへい死直後の貝が確認され、その割合は 4.5%であった。

表 3 漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況（奥内地区）

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝採取時	稚貝分散時
陸側	23m	10m	作業月日	H23.8.5
			篩の目合	2分
			収容枚数	100枚/段
沖側	34m	15m	作業月日	H23.10.13
			篩の目合	2分
			収容枚数	15枚/段

表 4 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(奥内地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側	H24.2.13	パールネット上段	14	9	39.1	39.1	0	56.8 ± 4.1	17.5 ± 3.6	7.5 ± 1.8	42.6
		パールネット中段	17	6	26.1	26.1	0	59.0 ± 4.4	20.2 ± 5.2	8.3 ± 2.3	40.9
		パールネット下段	11	13	54.2	54.2	0	55.5 ± 5.1	17.3 ± 3.9	7.1 ± 2.1	41.1
		合計・平均	42	28	40.0	40.0	0	57.4 ± 4.6	18.6 ± 4.5	7.7 ± 2.1	41.4
沖側	H24.2.13	パールネット上段	16	7	30.4	30.4	0	57.8 ± 3.2	18.4 ± 3.2	7.9 ± 1.9	42.7
		パールネット中段	12	10	45.5	40.9	4.5	58.0 ± 6.4	18.2 ± 6.9	7.5 ± 3.4	41.3
		パールネット下段	19	4	17.4	17.4	0	56.1 ± 4.9	17.5 ± 5.2	7.2 ± 2.3	40.9
		合計・平均	47	21	30.9	29.4	1.5	57.1 ± 4.9	18.0 ± 5.1	7.5 ± 2.5	41.6

また、異常貝の有無について調べたところ、陸側施設のパールネット上段で、欠刻＋着色が1枚、中段で欠刻が2枚、下段で欠刻が3枚、着色が1枚、計7枚、沖側施設の中段で欠刻が1枚、着色が1枚、下段で欠刻が1枚、計3枚の異常貝が認められた。異常貝率は陸側施設で16.7%、沖側施設で6.4%であった。

さらに、陸側及び沖側施設のパールネット上段の大きいサイズと小さいサイズの生貝について、電子顕微鏡でそれぞれ外套膜及び鰓を観察したところ、陸側の殻長51.1mmの貝の外套膜の内褶に少数ではあるが穴が開いていることが確認された(図13)。一方、殻長64.0mmの貝の外套膜には異常は認められなかった(図14)。また、殻長51.1mmの貝の鰓の呼吸拡散及び第二次鰓弁の繊毛上皮細胞には異常は認められなかった(図15、図17)が、殻長64.0mmの貝の鰓の呼吸拡散に小さな穴、第二次鰓弁の繊毛上皮細胞に少し融解しているような状態が確認された(図16、図18)。

沖側においては全ての貝で外套膜の内褶、鰓の呼吸拡散及び第二次鰓弁の繊毛上皮細胞に異常は認められなかった(図19～24)。へい死貝のほとんどは空貝であり、電子顕微鏡による組織観察でも重度の異常個体は認められないことから、調査時点ではへい死は収束傾向にあると考えられた。

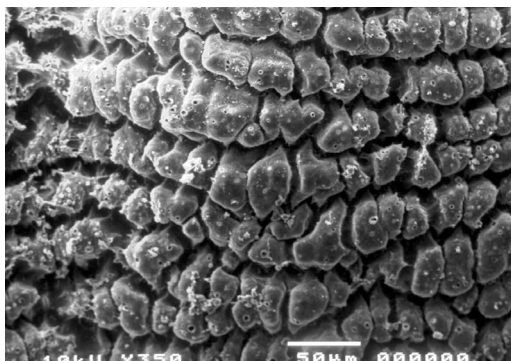


図13 陸側施設における殻長51.1mmの稚貝の外套膜内褶

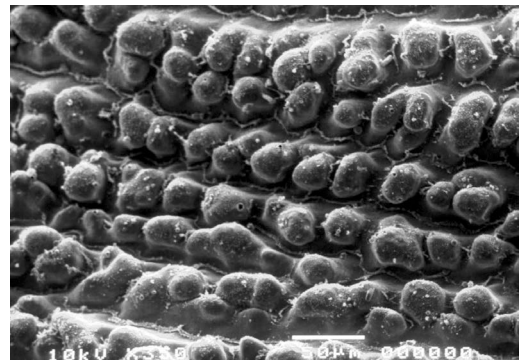


図14 陸側施設における殻長64.0mmの稚貝の外套膜内褶

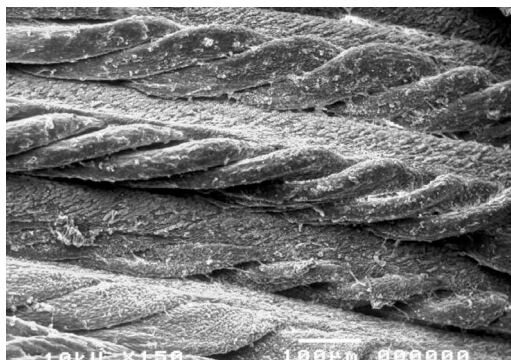


図15 陸側施設における殻長51.1mmの稚貝の鰓の呼吸拡散

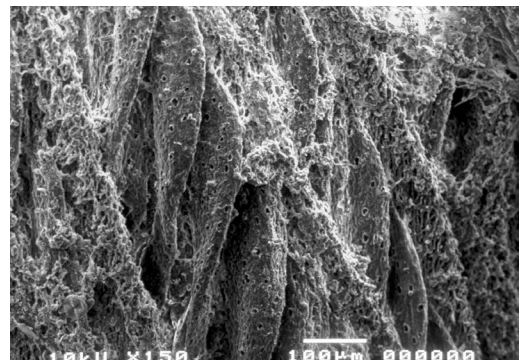


図16 陸側施設における殻長64.0mmの稚貝の鰓の呼吸拡散

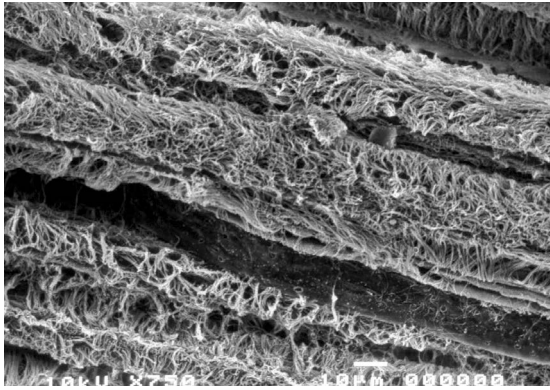


図 17 陸側施設における殻長 51.1mm の稚貝の第二次鰓弁

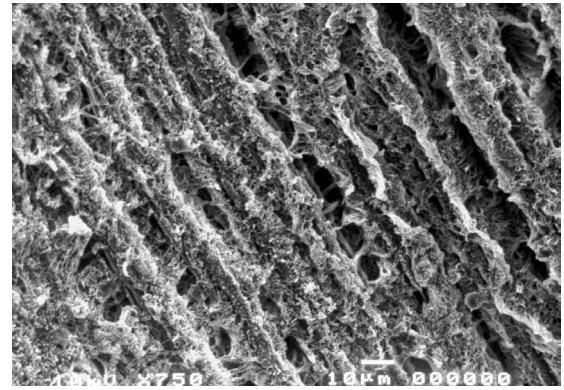


図 18 陸側施設における殻長 64.0mm の稚貝の第二次鰓弁

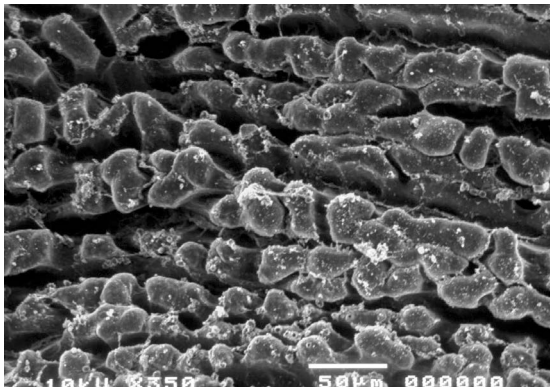


図 19 沖側施設における殻長 49.8mm の稚貝の外套膜内褶

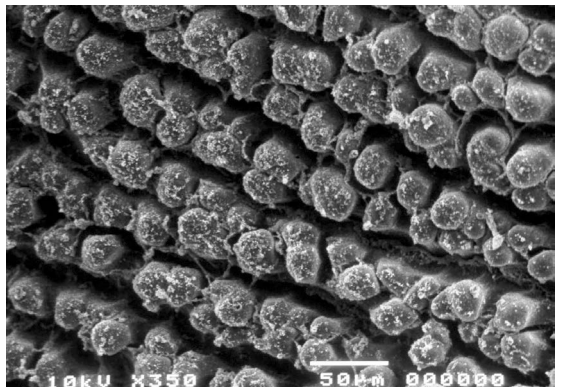


図 20 沖側施設における殻長 64.2mm の稚貝の外套膜内褶

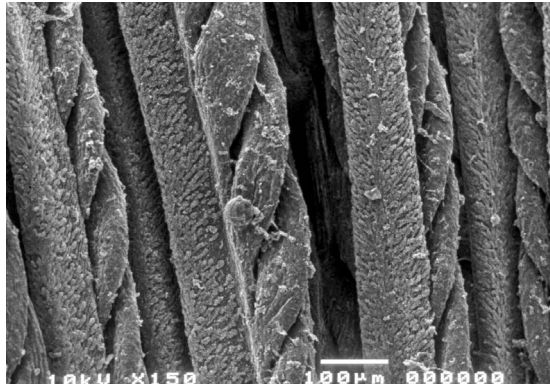


図 21 沖側施設における殻長 49.8mm の稚貝の鰓の呼吸拡散

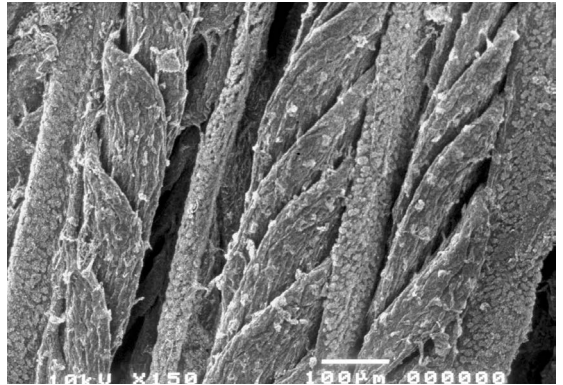


図 22 沖側施設における殻長 64.2mm の稚貝の鰓の呼吸拡散

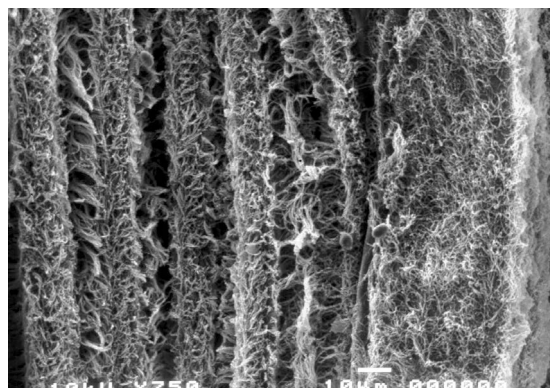


図 23 沖側施設における殻長 49.8mm の稚貝の第二次鰓弁

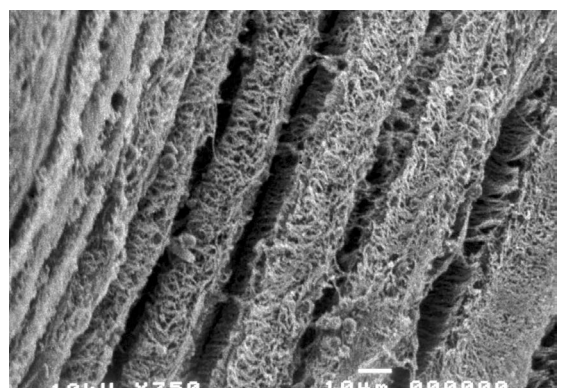


図 24 沖側施設における殻長 64.2mm の稚貝の第二次鰓弁

陸側施設の生貝の分散時殻長、死貝の殻長及び生貝の測定時殻長の組成を図 25 に、沖側施設の生貝の分散時殻長、死貝の殻長及び生貝の測定時殻長の組成を図 26 に示す。陸側及び沖側施設では、大部分の死貝が殻長 42mm～58mm に集中していることから、分散後になんかなり成長してからへい死したと考えられた。分散から測定までの増殻長と日数から求めた日間成長量を用い、測定時の生貝と死貝の平均殻長の差から死貝のおおよその死亡月日を逆算したところ、陸側施設では平成 24 年 1 月 16 日前後、沖側施設では平成 24 年 1 月 21 日前後と推定された。

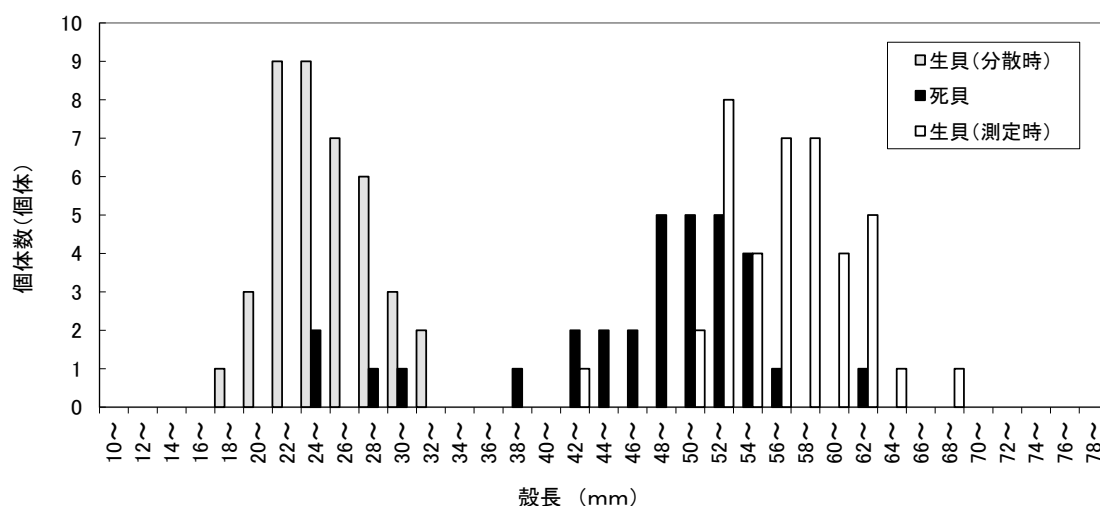


図 25 陸側施設の殻長組成

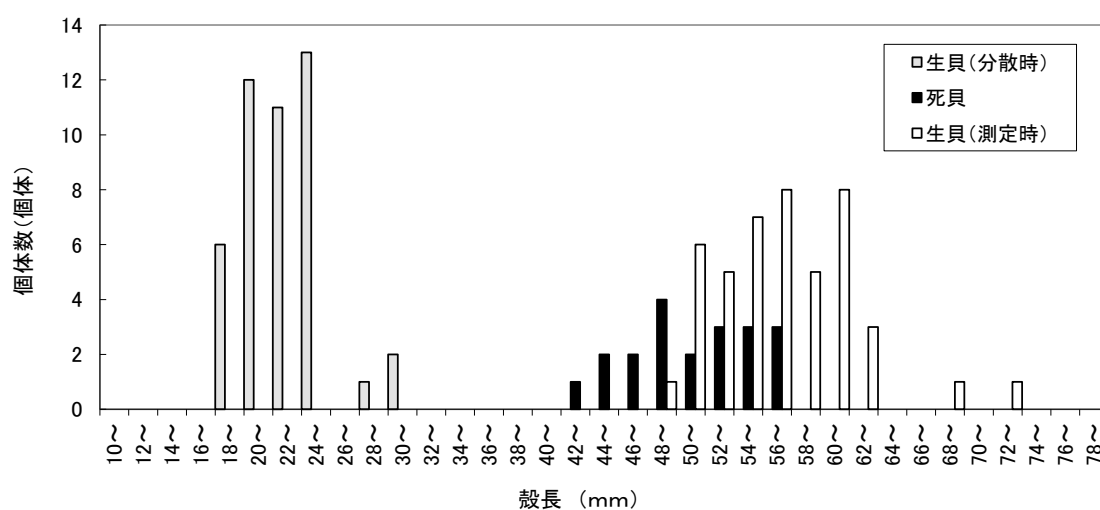


図 26 沖側施設の殻長組成

陸側の殻長が小さい貝で外套膜に少数ではあるが穴が開いていることから、波浪による影響も考えられたが、①陸側の貝の一部に鰓の融解が見られること、②沖側の貝は外套膜及び鰓に特に異常が認められなかったこと、③推定されたへい死の時期に速い潮流が見られない¹⁾ こと、④激しい養殖施設の上下動があまり見られなかった²⁾ ことから、波浪や潮流以外の原因が影響している可能性が考えられた。

(3) 青森市原別地区

漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表5に示す。漁場水深22.5m、幹綱水深7.5mの陸側と沖側の中間に位置する養殖施設では、平成23年8月21日に稚貝採取が、10月1日に稚貝分散が行われていた。また、漁場水深27m、幹綱水深9mの沖側施設では、8月8日に稚貝採取が、11月6日に稚貝分散

表5 漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況(原別地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝採取時	稚貝分散時
陸側と沖 側の中間	22.5m	7.5m	作業月日 H23.8.21 篩の目合 2分 収容枚数 180枚/段	H23.10.1 13mm 22~23枚/段
沖側	27m	9m	作業月日 H23.8.8 篩の目合 - 収容枚数 -	H23.11.6 20mm 20枚/段

が行われていた。パールネット1段あたりの収容枚数については、陸側と沖側の中間で稚貝採取時は180枚、稚貝分散時は陸側と沖側の中間、沖側ともに20~23枚であった。

漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果を表6に示す。へい死率は、平成24年1月下旬において、沖側施設の上段で6.9%、中段で4.8%、下段で0%であった。また、3月中旬において、陸側と沖側の中間に位置する施設の上段で42.9%、中段で31.3%、下段で26.5%といずれの段においても高いへい死率を示していた。さらに、沖側施設の上段では7.7%、中段で15.6%、下段で31.0%と1月下旬と比べて増加し、特に下段のへい死が高い値を示していた。陸側と沖側の中間及び沖側の施設の死貝については全て空貝のみで、調査時にはへい死直後の貝は確認されなかった。

表6 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(原別地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側と沖 側の中間	H24.3.16	パールネット上段	16	12	42.9	42.9	0	64.2 ± 7.5	28.4 ± 8.7	11.2 ± 4.1	39.6
		パールネット中段	22	10	31.3	31.3	0	62.8 ± 8.0	23.8 ± 8.6	9.6 ± 4.6	40.3
		パールネット下段	25	9	26.5	26.5	0	60.2 ± 7.9	22.7 ± 7.8	10.4 ± 3.7	45.6
		合計・平均	63	31	33.0	33.0	0	62.1 ± 7.9	24.5 ± 8.5	10.3 ± 4.1	41.9
沖側	H24.1.29	パールネット上段	27	2	6.9	6.9	0	55.8 ± 4.5	15.5 ± 3.9	6.3 ± 1.8	40.9
		パールネット中段	20	1	4.8	4.8	0	59.4 ± 5.2	18.8 ± 4.8	8.2 ± 2.3	43.6
		パールネット下段	24	0	0	0	0	58.1 ± 5.5	17.6 ± 5.3	7.4 ± 2.7	42.2
		合計・平均	71	3	4.1	4.1	0	57.6 ± 5.3	17.1 ± 4.9	7.2 ± 2.4	42.2
	H24.3.16	パールネット上段	24	2	7.7	7.7	0	61.9 ± 8.6	27.5 ± 9.8	12.7 ± 4.7	46.2
		パールネット中段	27	5	15.6	15.6	0	64.4 ± 4.7	28.5 ± 6.4	12.5 ± 3.2	43.7
		パールネット下段	20	9	31.0	31.0	0	59.9 ± 7.3	24.8 ± 8.3	11.2 ± 4.2	45.2
		合計・平均	71	16	18.4	18.4	0	62.3 ± 7.1	27.1 ± 8.2	12.2 ± 4.0	44.9

また、異常貝の有無について調べたところ、1月下旬の沖側施設では異常貝は認められなかったが、3月中旬においては、陸と沖の中間の施設ではパールネット中段に欠刻が1個体、下段に欠刻が1個体、着色が3個体、沖側施設ではパールネット上段に着色が2個体、中段に欠刻が1個体、着色が1個体、下段に欠刻が2個体認められた。異常貝率は陸側施設で7.9%、沖側施設で8.5%であった。

さらに、1月下旬において、沖側施設のパールネット上段及び下段の大きいサイズと小さいサイズの生貝の外套膜及び鰓を電子顕微鏡で観察したところ、外套膜は、パールネット上段の殻長48.8mm、パールネット下段の殻長52.5mm、殻長66.1mmの稚貝において、内褶に小さな穴が開いていることが確認された(図27~30)。また、鰓は、パールネット下段の殻長52.5mm、66.1mmの稚貝でやや融解しているような状態が確認された。(図31~34)

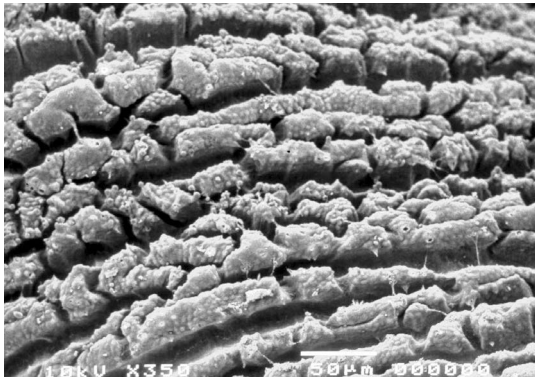


図 27 沖側施設におけるパールネット上段の稚貝
(殻長 48.8 mm)の外套膜内褶

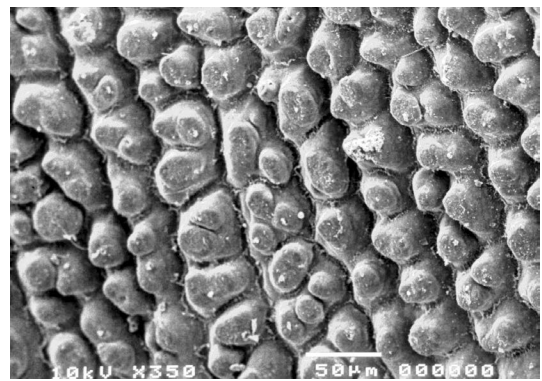


図 28 沖側施設におけるパールネット上段の稚貝
(殻長 60.9 mm)の外套膜内褶

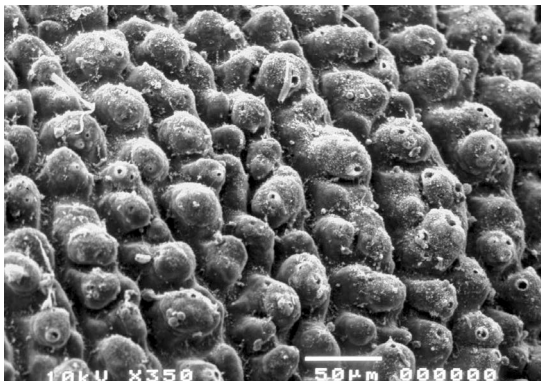


図 29 沖側施設におけるパールネット下段の稚貝
(殻長 52.5 mm)の外套膜内褶

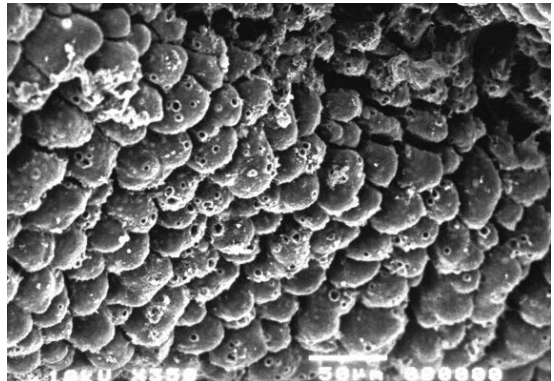


図 30 沖側施設におけるパールネット下段の稚貝
(殻長 66.1 mm)の外套膜内褶

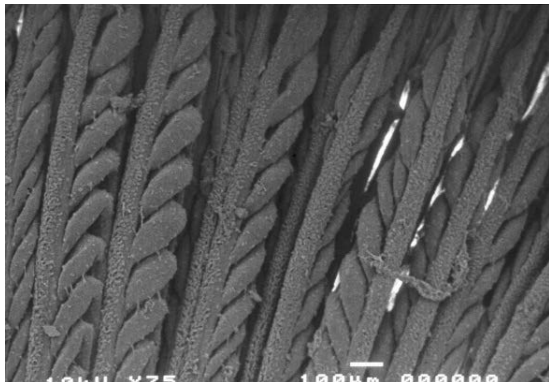


図 31 沖側施設におけるパールネット上段の稚貝
(殻長 48.8 mm)の鰓の呼吸拡散



図 32 沖側施設におけるパールネット上段の稚貝
(殻長 60.9 mm)の鰓の呼吸拡散

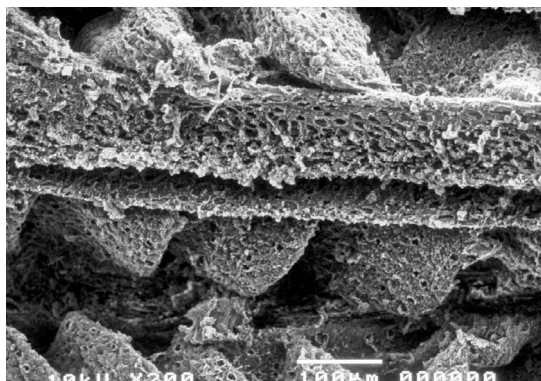


図 33 沖側施設におけるパールネット下段の稚貝
(殻長 52.5 mm)の鰓の呼吸拡散

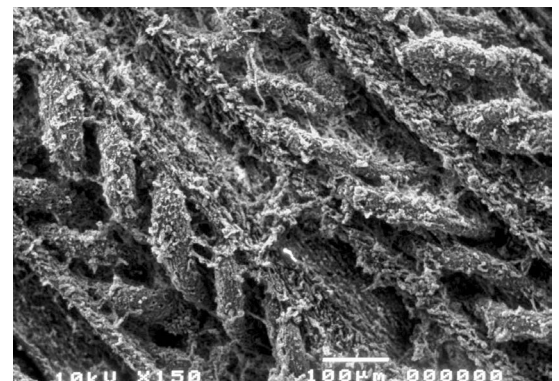


図 34 沖側施設におけるパールネット下段の稚貝
(殻長 66.1 mm)の鰓の呼吸拡散

陸と沖の中間の施設の生貝の分散時殻長、死貝の殻長及び生貝の測定時殻長の組成を図 35 に、沖側施設の生貝の分散時殻長、死貝の殻長及び生貝の測定時殻長の組成を図 36 に示す。

陸側・沖側施設ともに生貝と死貝の殻長に差が見られており、前述のとおりへい死貝も空貝のみであることから、3 月 16 日の調査時にはへい死は収束したものと考えられた。陸と沖の中間の施設では、死貝の殻長組成が殻長 28 mm～30 mm と殻長 38 mm～58 mm に分かれていることから、死貝には分散後すぐにへい死した貝と分散後に成長してへい死した貝の 2 種類の貝が存在していると考えられた。また、沖側の養殖施設では、殻長 28 mm～56 mm の間にへい死した貝がまばらにみられることから、分散直後から測定時までの間に徐々にへい死したものと考えられた。分散から測定までの増殻長と日数から求めた日間成長量を用い、測定時の生貝と死貝の平均殻長の差から死貝のおおよその死亡月日を逆算したところ、陸と沖の中間の施設の分散後に成長してへい死した貝のへい死時期は平成 24 年 1 月 30 日前後と推定された。

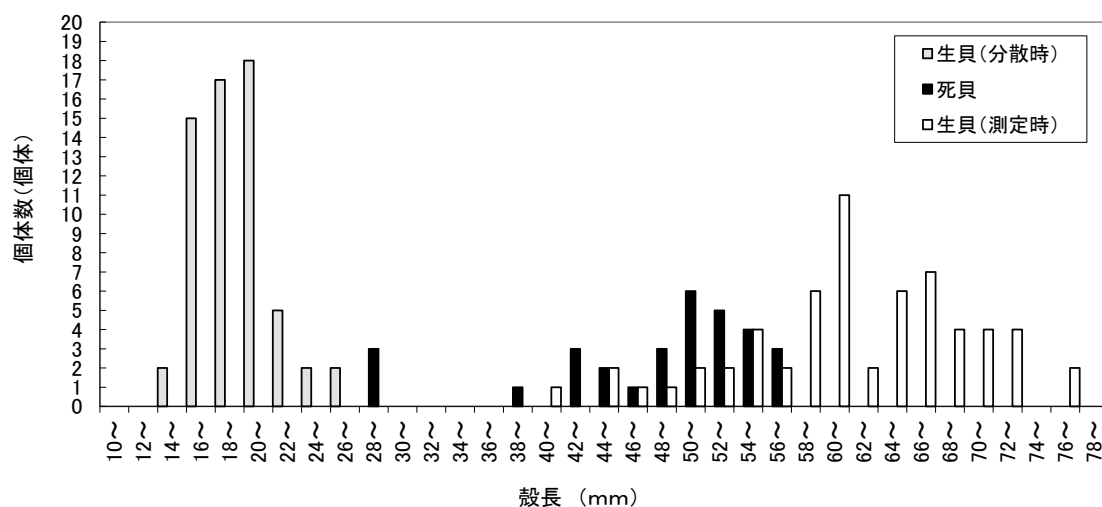


図 35 陸側と沖側の中間に位置する施設における殻長組成

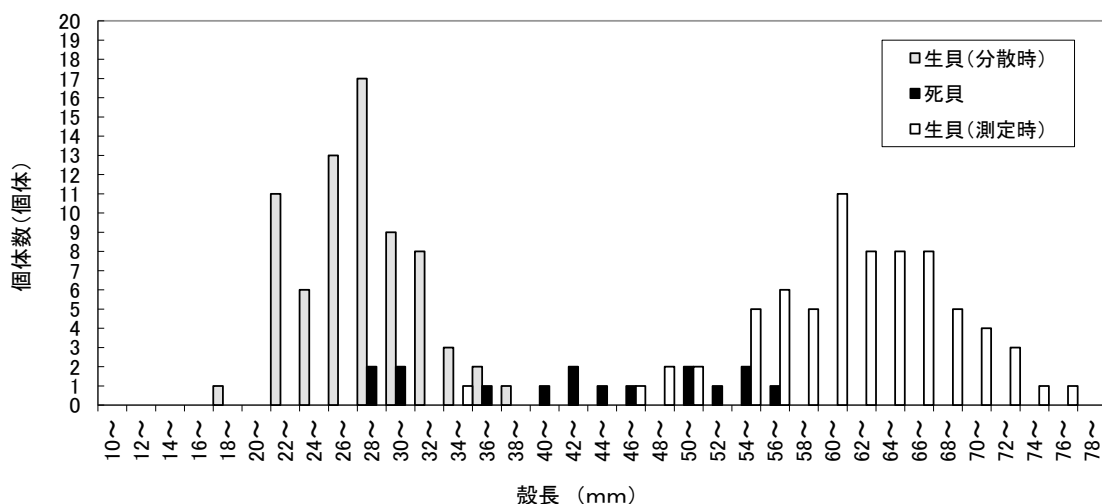


図 36 沖側施設における殻長組成

気象庁青森地方気象台におけるアメダスデータ（図 37～38）によると平成 24 年 1 月 30 日から 2 月 1 日にかけて強い西風及びヤマセが観測されていること、パールネット上段のへい死率が 42.9% と高いことから、幹綱水深の浅い陸と沖の中間の施設のへい死は強い西風及びヤマセによる波浪が原因と考えられた。また、施設の上下動の測定結果（図 39）を見ると沖側の施設はしばしば波浪の影響を受けていることから、へい死の原因としては波浪の影響も考えられるが、パールネット下段のへい死率

が平成 24 年 1 月 29 日時点では 0%であったのに対し、3 月 16 日時点では 28.6%と高くなっていることや、前述の図 11 のとおり奥内地先で 2 月 2 日に約 37.8 cm/s（約 0.7 ノット）とかなり速い流れが観測されていることから、流れによる影響が大きいものと考えられた。

沖の養殖施設においては塩分がホタテガイ適応範囲内³⁾の約 32.8～33.7‰で推移（図 40）しており、排雪による塩分濃度の低下は認められなかった。

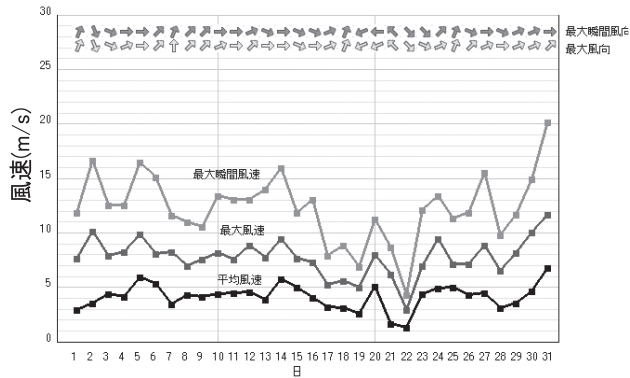


図 37 平成 24 年 1 月の気象庁青森地方気象台の風向・風速（アメダスデータより引用）

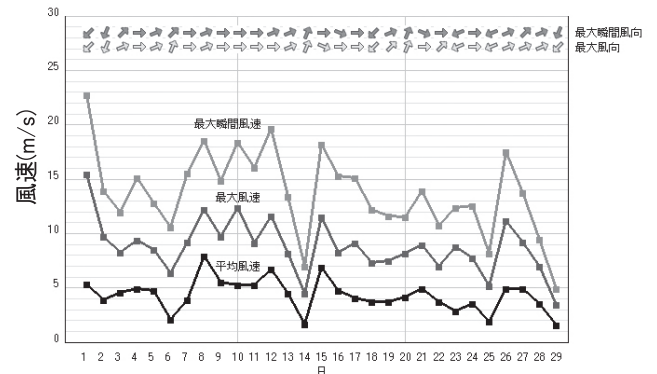


図 38 平成 24 年 2 月の気象庁青森地方気象台の風向・風速（アメダスデータより引用）

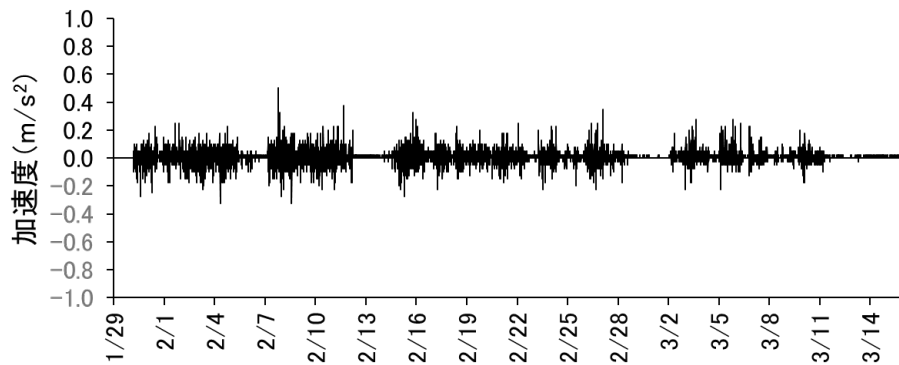


図 39 沖側施設に設置したメモリー式加速度計の加速度の変化

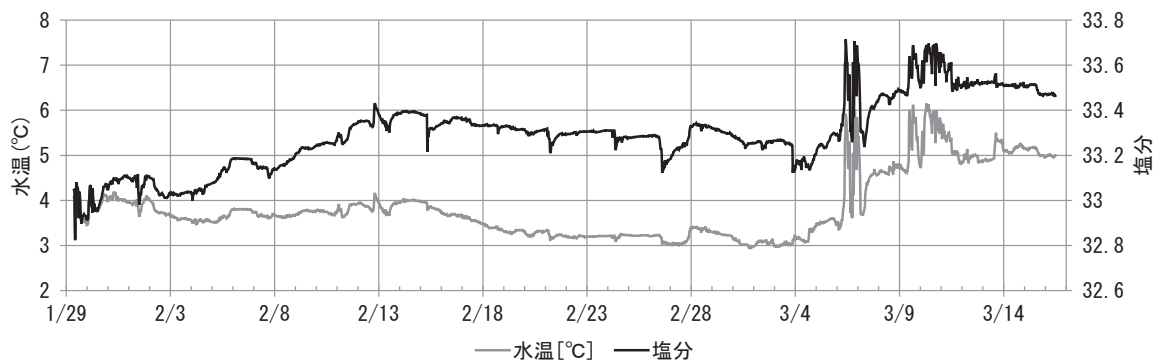


図 40 沖側施設に設置したメモリー式水温塩分計の水温及び塩分の推移

(4) 平内町土屋地区

稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 7 に示す。漁場水深 30m、幹綱水深 10m の陸側の養殖施設では、平成 23 年 7 月 22 日に稚貝採取が、9 月 18 日に稚貝分散が行われていた。また、パールネット 1 段あたりの収容枚数については、稚貝採取時は 100 枚、稚貝分散時は 15 枚であった。

ホタテガイのへい死率及び測定結果を表 8 に示す。へい死率は、上段で 12.5%、中段で 13.6%、下段で 21.1%といずれの段においてもやや高い値を示したほか、上段及び下段ではへい死直後の貝が確認され、その割合はそれぞれ 4.2%、5.3%であった。

表 8 ホタテガイのへい死率及び測定結果(土屋地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側	H24.2.6	パールネット上段	21	3	12.5	8.3	4.2	56.8 ± 4.1	19.1 ± 3.6	7.8 ± 1.4	40.9
		パールネット中段	19	3	13.6	13.6	0	57.6 ± 5.6	19.3 ± 4.8	7.8 ± 1.9	40.5
		パールネット下段	15	4	21.1	15.8	5.3	56.1 ± 3.6	18.1 ± 3.0	7.2 ± 1.0	39.7
		合計・平均	55	10	15.4	12.3	3.1	56.9 ± 4.4	18.9 ± 3.8	7.6 ± 1.5	40.4

また、異常貝の有無について調べたところ、欠刻や着色等の異常貝は認められなかった。

電子顕微鏡で外套膜及び鰓を観察したところ、殻長 46.6 mm 及び殻長 63.5 mm の外套膜において、無数の穴が開いていることが確認された(図 41~42) ほか、殻長 63.5 mm の鰓の呼吸拡散にも穴が開いていることが確認された(図 44)。さらに、殻長 46.6 mm、63.5 mm の第二次鰓弁の繊毛上皮細胞に一部融解及び脱落が確認された(図 45、46)。

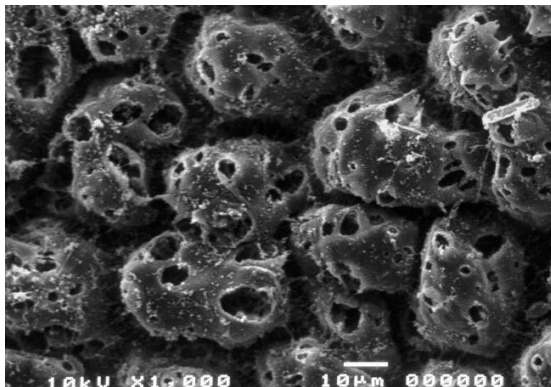


図 41 殻長 46.6mm の稚貝の外套膜内褶

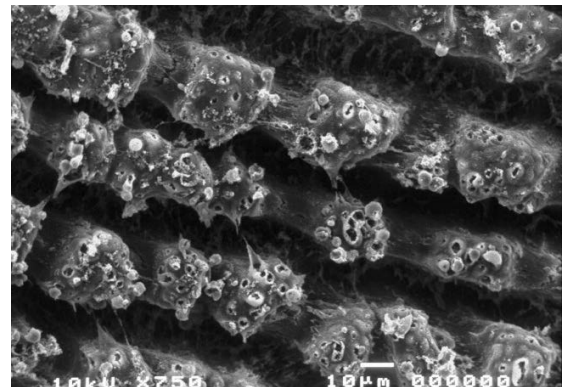


図 42 殻長 63.5mm の稚貝の外套膜内褶

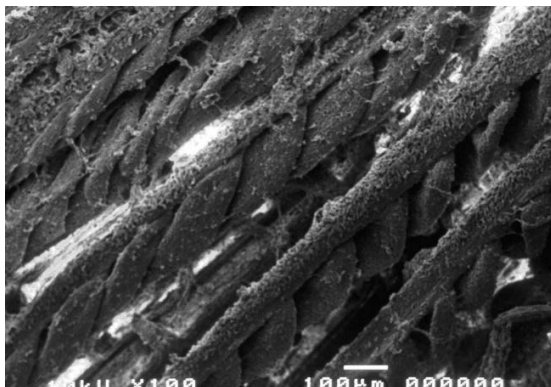


図 43 殻長 46.6mm の稚貝の鰓の呼吸拡散

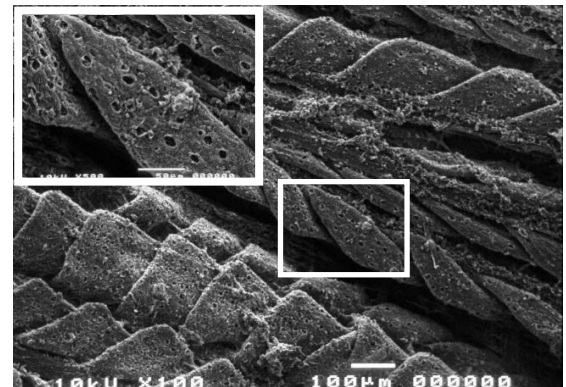


図 44 殻長 63.5mm の稚貝の鰓の呼吸拡散
※白線内に無数の穴

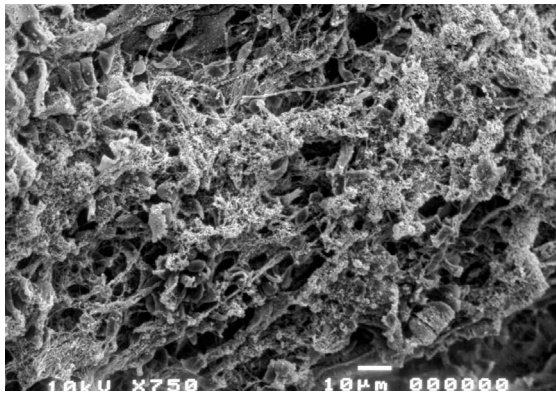


図 45 殻長 46.6mm の稚貝の第二次鰓弁

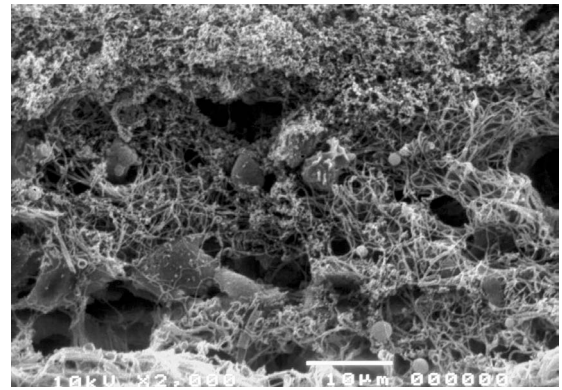


図 46 殻長 63.5mm の稚貝の第二次鰓弁

へい死進行中であることや外套膜に無数の穴が開いていることが確認されたことから、前述の原別地区と同様に平成 24 年 1 月 30 日～2 月 1 日にかけての強い西風及びヤマセによる波浪の影響が考えられるほか、パールネットの上段よりも中・下段のへい死率が高いことから、平成 24 年 2 月 2 日の速い流れの影響も考えられた。なお、鰓の呼吸拡散に穴が、第二次鰓弁の繊毛上皮細胞に一部融解や脱落が見られたことから、流れなど波浪以外の原因も影響している可能性が考えられた。

(5) 平内町茂浦地区

稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 9 に示す。漁場水深 38m、幹綱水深 12m の陸側の養殖施設では、平成 23 年 8 月 10 日に稚貝採取が、10 月 10 日に稚貝分散が行われていた。また、パールネット 1 段あたりの収容枚数については、稚貝採取時は 100 枚、稚貝分散時は 18 枚であった。

表 9 稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況(茂浦地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝採取時	稚貝分散時
陸側 (沖寄り)	38m	12m	作業月日 H23.8.10 篩の目合 1.5分 収容枚数 100枚/段	H23.10.10 3分 18枚/段

ホタテガイのへい死率及び測定結果を表 10 に示す。へい死率は、上段で 0%、中段で 4.3%、下段で 22.7%と下段が高い値を示しており、また、分散から測定までの増殻長と日数から求めた日間成長量を用い、測定時の生貝と死貝の平均殻長の差から死貝のおおよその死亡月日を逆算したところ、平成 24 年 1 月 11 日前後と推定され、この時期の流れがへい死の要因である可能性が考えられた。なお、死貝については全て空貝のみで、調査時にはへい死直後の貝は確認されなかったことから、へい死は収束しているものと考えられた。

表 10 ホタテガイのへい死率及び測定結果(茂浦地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側 (沖寄り)	H24.2.6	パールネット上段	19	0	0	0	0	58.6 ± 5.1	20.5 ± 5.3	8.1 ± 2.5	39.6
		パールネット中段	22	1	4.3	4.3	0	56.8 ± 4.3	19.2 ± 3.6	7.7 ± 1.6	40.3
		パールネット下段	17	5	22.7	22.7	0	53.4 ± 5.7	15.8 ± 4.3	6.4 ± 2.1	40.7
		合計・平均	58	6	9.4	9.4	0	56.5 ± 5.3	18.8 ± 4.7	7.5 ± 2.2	40.1

(6) 平内町浦田地区

漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 11 に示す。漁場水深 36m、幹綱水深 10m の陸側施設では、平成 23 年 8 月 8 日～10 日にかけて稚貝採取が、10 月 22 日に稚貝分散が行われていた。また、漁場水深 52m、幹綱水深 15m の沖側施設では、9 月中旬に稚貝分散が行われていた。パールネット 1 段あたりの収容枚数については、陸側で稚貝採取時は 120 枚、稚貝分散時は 17 枚であった。

表 11 漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況(浦田地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝採取時	稚貝分散時
陸側	36m	10m	作業月日 H23.8.8～8.10 篩の目合 1.2分 収容枚数 120枚/段	H23.10.22 1.6分 17枚/段
沖側	52m	15m	作業月日 - 篩の目合 - 収容枚数 -	H.23.9.中旬 - -

漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 12 に示す。へい死率は、平成 24 年 1 月中旬において、陸側施設の上段で 38.1%、中段で 5.6%、下段で 19.0%であった。また、2 月上旬において、陸側施設の上段で 33.3%、中段で 0%、下段で 14.3%、沖側施設の上段で 18.2%、中段及び下段で 0%と、陸側施設において比較的高いへい死率を示していた。さらに、1 月中旬において、陸側施設の上段で 9.5%、中段で 5.6%、下段で 14.3%と全ての段でへい死直後の貝が確認された。また、2 月上旬の段階では、陸側と沖側の上段においてのみへい死直後の貝が確認された。

平成 24 年 1 月中旬の時点で陸側施設でへい死直後の貝が確認されたこと、陸側・沖側施設とも上段のへい死率が高いことから、1 月中旬頃の波浪の影響が考えられるほか、陸側施設では下段のへい死率も高いことから、陸側では 1 月中旬頃の流れの影響が考えられた。

表 12 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(浦田地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側	H24.1.18	パールネット上段	13	8	38.1	28.6	9.5	56.6 ± 5.0	16.6 ± 4.6	6.2 ± 2.3	37.1
		パールネット中段	17	1	5.6	0	5.6	58.6 ± 3.7	17.8 ± 3.6	6.5 ± 1.2	36.8
		パールネット下段	17	4	19.0	4.8	14.3	55.6 ± 4.2	14.8 ± 3.3	5.4 ± 1.2	36.5
		合計・平均	47	13	21.7	11.7	10.0	57.0 ± 4.4	16.4 ± 3.9	6.0 ± 1.6	36.8
	H24.2.6	パールネット上段	14	7	33.3	28.6	4.8	53.9 ± 4.8	15.8 ± 4.5	6.1 ± 2.3	38.9
		パールネット中段	16	0	0	0	0	56.2 ± 5.0	17.7 ± 4.6	6.7 ± 2.3	38.1
		パールネット下段	12	2	14.3	14.3	0	60.4 ± 3.2	21.8 ± 3.8	9.3 ± 1.9	42.5
		合計・平均	42	9	17.6	15.7	2.0	56.5 ± 5.1	18.1 ± 4.9	7.2 ± 2.5	39.7
沖側	H24.2.6	パールネット上段	18	4	18.2	9.1	9.1	55.4 ± 3.7	16.3 ± 3.3	6.3 ± 1.2	38.5
		パールネット中段	21	0	0	0	0	54.0 ± 4.4	15.3 ± 3.4	5.7 ± 1.1	37.4
		パールネット下段	16	0	0	0	0	54.1 ± 3.2	15.5 ± 2.8	6.0 ± 1.1	39.0
		合計・平均	55	4	6.8	3.4	3.4	54.5 ± 3.8	15.7 ± 3.1	6.0 ± 1.2	38.3

また、異常貝の有無について調べたところ、陸側施設では 1 月中旬、2 月上旬ともに欠刻や着色等の異常貝は認められなかった。沖側施設では、2 月上旬において、欠刻が 2 枚、着色が 1 枚（全てパールネット中段）計 3 枚の異常貝が認められており、異常貝率は 5.5%であった。

さらに、2 月上旬の陸側と沖側の施設において、大きいサイズと小さいサイズの貝の外套膜及び鰓を電子顕微鏡で観察したところ、陸側施設では、殻長が 62.1 mm の貝の外套膜では特に異常は認められなかったが、殻長 54.4 mm の貝の外套膜に無数の穴が開いていることが確認された（図 47～48）。鰓には特に異常は見られなかった。また、沖側施設では、殻長 51.3 mm の外套膜の内褶及び触手に無数の穴が開いていることが確認された（図 49～50）。殻長 61.6 mm の外套膜には異常は認められなかった（図 51）。また、鰓の呼吸拡散や第二次鰓弁の繊毛上皮細胞には異常は認められなかった。（図 52～55）。外套膜に異常が見られる貝が一部あるものの、空貝がほとんど見られなくなっていることから、2 月 6 日の調査時にはへい死は収束してきているものと考えられた。

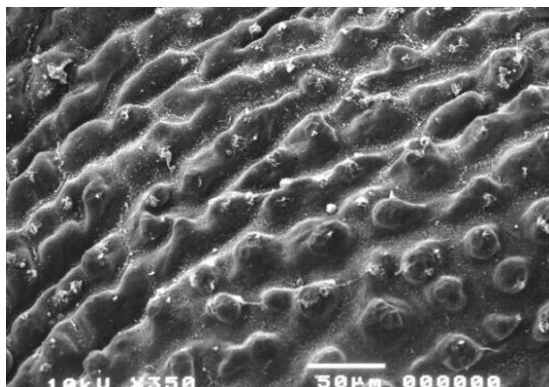


図 47 陸側施設における殻長 62.1 mm の稚貝の外套膜内褶

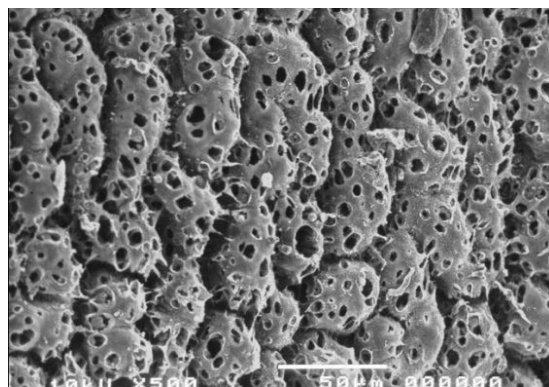


図 48 陸側施設における殻長 54.4 mm の稚貝の外套膜内褶

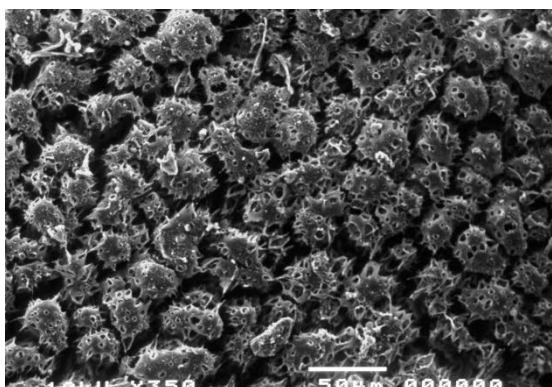


図 49 沖側施設における殻長 51.3mm の稚貝の外套膜内褶

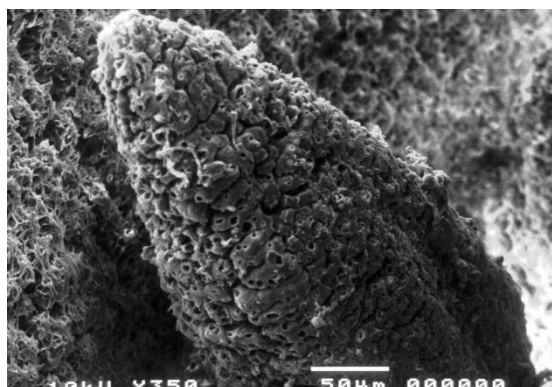


図 50 沖側施設における殻長 51.3mm の稚貝の外套膜触手

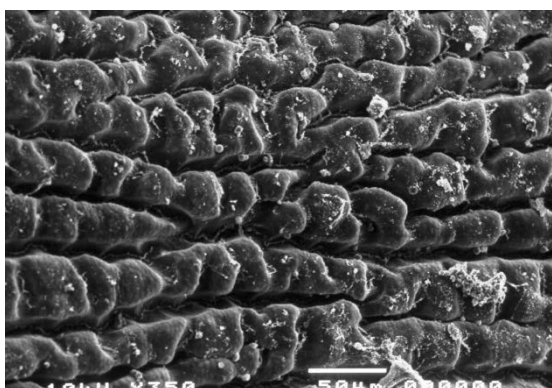


図 51 沖側施設における殻長 61.6mm の稚貝の外套膜内褶



図 52 沖側施設における殻長 51.3mm の稚貝の鰓の呼吸拡散

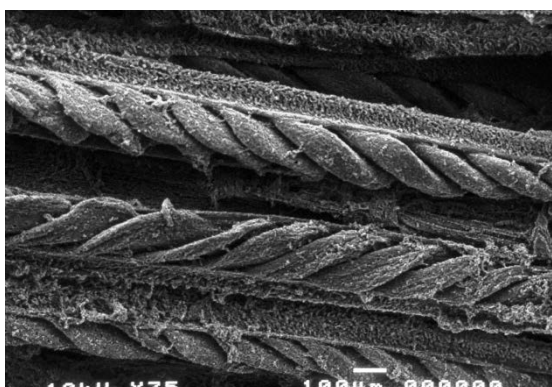


図 53 沖側施設における殻長 61.6mm の稚貝の鰓の呼吸拡散

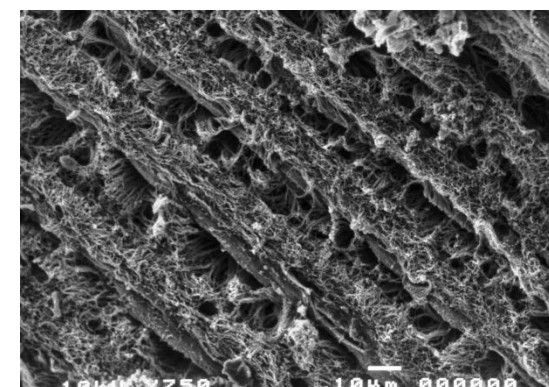


図 54 沖側施設における殻長 51.3mm の稚貝の第二次鰓弁

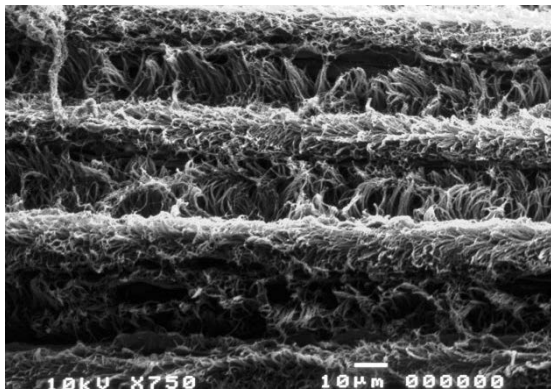


図 55 沖側施設における殻長 61.6mm の稚貝の
第二次鰓弁

(7) 平内町小湊地区

漁場別の稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 13 に示す。漁場水深 16m、幹綱水深 5m の陸側施設及び漁場水深 22m、幹綱水深 6m の沖寄りの陸側施設では、平成 23 年 8 月 20 日に稚貝採取が、10 月 13 日に稚貝分散が行われていた。パールネット 1 段あたりの収容枚数については、陸側で稚貝採取時は 100 枚、稚貝分散時は 15 枚、沖寄りの陸側施設では稚貝採取時は 200 枚、稚貝分散時は 20 枚であった。

漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 14 に示す。へい死率は、陸側施設の上段で 6.7%、中段及び下段は 0%と低い値であった。また、沖寄りの陸側施設では、いずれの段においてもへい死は確認されなかった。陸側施設の上段の死貝は全てへい死直後の貝であった。

表 14 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(小湊地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側	H24.2.6	パールネット上段	14	1	6.7	0	6.7	59.1 ± 3.2	21.3 ± 3.0	8.2 ± 1.3	38.8
		パールネット中段	16	0	0	0	0	57.5 ± 4.1	20.1 ± 3.7	8.1 ± 1.6	40.2
		パールネット下段	13	0	0	0	0	59.1 ± 2.0	21.5 ± 2.2	8.3 ± 0.9	38.6
		合計・平均	43	1	2.3	0	2.3	58.5 ± 3.3	20.9 ± 3.1	8.2 ± 1.3	39.2
陸側 (沖寄り)	H24.2.6	パールネット上段	23	0	0	0	0	59.8 ± 3.2	21.4 ± 3.2	8.7 ± 1.5	40.6
		パールネット中段	22	0	0	0	0	60.8 ± 3.1	22.7 ± 3.1	9.2 ± 1.5	40.4
		パールネット下段	20	0	0	0	0	57.8 ± 5.0	20.3 ± 4.4	8.3 ± 2.0	40.9
		合計・平均	65	0	0	0	0	59.5 ± 4.0	21.5 ± 3.6	8.7 ± 1.7	40.6

(8) 平内町清水川地区

稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況について表 15 に示す。漁場水深 27m、幹綱水深 11m の陸側と沖側の中間に位置する施設では、平成 23 年 8 月 20 日に稚貝採取が、10 月 26 日に稚貝分散が行われていた。パールネット 1 段あたりの収容枚数については、稚貝採取時は 90 枚、稚貝分散時は 20 枚であった。

ホタテガイのへい死率及び測定結果を表 16 に示す。いずれの段においても死貝はなく、へい死は確認されなかった。

表 15 稚貝採取及び稚貝分散時の作業状況(清水川地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝採取時	稚貝分散時
陸側と沖 側の中間	27m	11m	作業月日	H23.8.20
			作業月日	H23.10.26
			篩の目合	2分
			収容枚数	90枚/段
				20枚/段

表 16 ホタテガイのへい死率及び測定結果(清水川地区)

養殖施設 の場所	調査 年月日	サンプリングした 位置	生貝 (枚)	死貝 (枚)	へい死 率(%)	空貝のみの へい死率(%)	空貝を除いた へい死率(%)	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(%)
陸側と沖 側の中間	H24.2.6	パールネット上段	13	0	0	0	0	64.1 ± 3.6	27.2 ± 3.6	10.9 ± 1.7	40.2
		パールネット中段	21	0	0	0	0	62.7 ± 4.0	24.4 ± 4.2	9.6 ± 1.7	39.5
		パールネット下段	18	0	0	0	0	64.3 ± 2.5	26.3 ± 2.7	10.7 ± 1.2	40.7
		合計・平均	52	0	0	0	0	63.6 ± 3.5	25.8 ± 3.7	10.3 ± 1.6	40.1

(9) まとめ

各地区のへい死状況についてまとめると、①へい死時期は平成 23 年 12 月下旬から平成 24 年 2 月上旬まで地区によって異なること、②同じ地区でも沖側と陸側ではへい死時期が異なること、③波浪や潮流による養殖施設の動揺が主なへい死原因であること、④波浪や潮流の影響では説明しきれない地区もあること、が明らかになってきた。

波浪については、平成 23 年 12 月～平成 24 年 2 月にかけて、例年に比べてかなりシケの日が多かったため、①1 ケ月に 2～3 日間しか養殖施設の管理作業を行えなかった、②シケを見込んで底玉を多めに付けた、という漁業者情報もあることから、養殖施設に過剰浮力が生じ、上下動しやすい状態にあったものと考えられた。

また、潮流については、流速計による観測で、東寄りの強風（ヤマセ）により、冬期間でも 1 ノット近くの速い流れが生じることが明らかになってきており、流れの影響でパールネットが振り子運動をしたものと考えられた。

さらに、ホタテガイは冬期間、成熟のためにエネルギーを優先的に使うため、平成 23 年 12 月～平成 24 年 2 月の記録的な低水温（例年より 2～3℃低い）で摂餌能力が低下し、エネルギー不足に陥り、傷を修復できずにへい死に至った可能性もある。

2 海域への排雪によるホタテガイ稚貝への影響

低塩分耐性室内飼育試験における、水温、塩分の推移及びホタテガイのへい死率について表 17 に示す。

水温については、試験期間中、いずれの試験区においても 5℃前後で推移していた。また、塩分については、60%海水区で 19.1～19.4‰、70%海水区で 22.3～22.5‰、100%海水区で 31.8～31.9‰で推移していた。

へい死の状況については、試験開始 4 時間後に、60%海水区で 3 個体、70%海水区で 1 個体のへい死が確認された。また、28 時間後には、60%海水区で 1 個体、70%海水区で 3 個体のへい死が確認され、60%海水区及び 70%海水区は全滅した。

60%海水区のへい死直後の個体について、通常どおり 100%ろ過海水で作成した固定液で固定後、電子顕微鏡により外套膜を観察したところ、いぼ状の突起が多数観察されたが、60%海水で作成した固定液で固定したところ、特に異常は認

表 17 各試験区における水温、塩分、へい死数の推移

60%海水区

測定日時	水温(℃)	塩分(‰)	へい死数 (個体)	試験開始時からの 累積のへい死率(%)
H.24.2.23 13:00	4.9	19.1	—	—
H.24.2.23 17:00	5.0	19.2	3	75
H.24.2.24 17:00	5.2	19.4	1	100

70%海水区

測定日時	水温(℃)	塩分(‰)	へい死数 (個体)	試験開始時からの 累積のへい死率(%)
H.24.2.23 13:00	4.8	22.3	—	—
H.24.2.23 17:00	5.1	22.4	1	25
H.24.2.24 17:00	5.2	22.5	3	100

100%海水区

測定日時	水温(℃)	塩分(‰)	へい死数 (個体)	試験開始時からの 累積のへい死率(%)
H.24.2.23 13:00	4.8	31.9	—	—
H.24.2.23 17:00	4.8	31.9	0	0
H.24.2.24 17:00	5.2	31.8	0	0

められなかった（図 56、57）。これは、低張液から高張液にさらされ、浸透圧調節が上手くできず細胞内の水分が細胞外へ移動したためと考えられた。また、平内町土屋地区や浦田地区で観察された外套膜の穴は、内側から外側へ押し出されるように形成されていることや、穴の大きさが前述のいぼ状の突起と同じことから、同様のメカニズムで形成されている可能性が考えられた。しかし、これらの地区で室内試験のような塩分変化があったとは考え難いことから、波浪により生じる養殖施設の上下動によって貝がぶつかり合うことによるストレス等の何らかの要因により浸透圧調整がうまく働いていなかった可能性が考えられた。

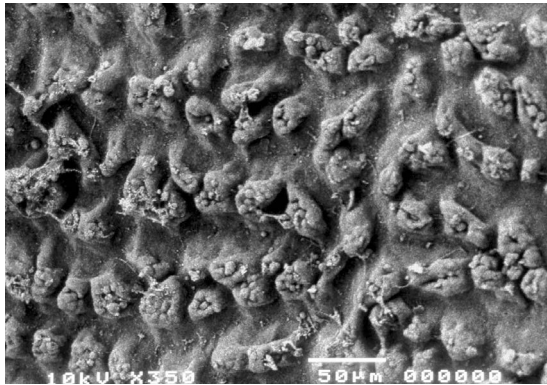


図 56 60%海水区の外套膜内褶
（固定液を 100%海水で作成）

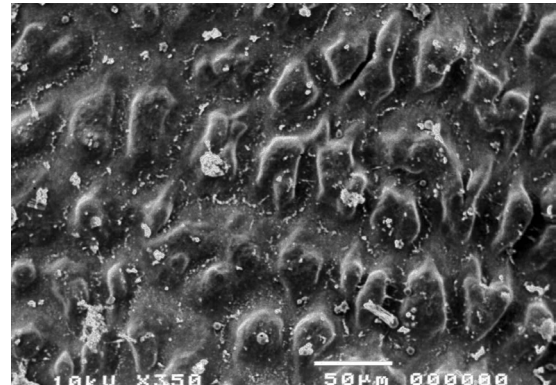


図 57 60%海水区の外套膜内褶
（固定液を 60%海水で作成）

3 今後の課題

前述のとおり、波浪や潮流の影響では説明しきれない地区もあることから、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について、再現試験を行って明らかにする必要がある。また、漁業者が危惧している融雪剤の影響についても調べる必要がある。さらに、一部地域では鰓が貝殻から露出する（通称：ワタ抜け）個体も見られることから、その発生メカニズムも明らかにする必要がある。

謝 辞

へい死に関する聴き取り調査、調査用のホタテガイ稚貝の提供及びメモリー式塩分水温計の設置・回収等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に対しまして深く感謝申し上げますとともに紙面をお借りしてお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 田中淳也（2013）ほたてがい高水温被害回避対策事業（高水温時の養殖漁場内の水温、潮流の推定方法の確立）. 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, 328-331.
- 2) 東野敏及・吉田達・伊藤良博・小谷健二・小倉大二郎・川村要（2013）ほたてがい高水温被害回避対策事業（高水温時の養殖技術の開発）. 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, 488-513.
- 3) 丸邦義（1985）ホタテガイの発育初期における温度と比重耐性. 北海道立水産試験場報告, 27, 55-64.