

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・森恭子・小谷健二・川村要

目 的

平成 23 年度と同様、平成 24 年度の冬季においても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おり、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、現地調査及び室内試験を実施した。

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 25 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蓬田村地区、青森市奥内地区及び平内町茂浦地区、浦田地区、稲生地区、東田沢地区、小湊地区において、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て、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、平内町稲生地区においては、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 11 月～平成 25 年 4 月にかけて青森市奥内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、排雪に含まれる融雪剤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、0.0003g/L、0.003g/L、0.03g/L 及び 0.3g/L の 4 種類の濃度の融雪剤（株式会社トクヤマ、ハイキープ（塩化カルシウム））を含むろ過海水及び融雪剤を含まないろ過海水を作成し、各海水を入れた 10L のプラスチック水槽に平成 23 年産及び平成 24 年産ホタテガイを収容密度が 60g/L となるように投入し、7 日間飼育した。これらのプラスチック水槽は、水温を一定に保つために、約 7℃のろ過海水をかけ流しにした 250L 角形 FRP 水槽内へ浸した。飼育開始直後から試験終了時まで、随時、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った。また、飼育開始時及び試験終了時に、卓上型 Ph メーター（HORIBA、F-72）を用いて PH の測定

* 青森県下北地域県民局地域農林水産部むつ水産事務所

を行った。

3 鰓の脱落の発生メカニズム

冬季へい死時の特徴である鰓の脱落（以下、「ワタ抜け」と呼ぶ）の発生メカニズムを解明するために以下のとおり試験を行った。

（1）高水温による影響

平成 24 年 9 月 11～25 日に平内町漁協土屋地区、浦田地区、稲生地区の漁業者がへい死状況を確認するために研究所に持ち込んだ平成 24 年産貝を、20℃、23℃、24℃、25℃、26℃の調温ろ過海水を掛け流したコンテナ水槽（長さ 60cm、幅 35cm、高さ 15cm）へ収容した。

各水槽には市販の浮遊珪藻（*Chaetoceros gracilis*）を水槽内濃度が約 0.3 μg/L（陸奥湾内の夏季の平均値）になるように定量液送ポンプ（EYELA、RP1000）で注入した。飼育期間中は各水槽の死貝を毎日、確認した。

10 月 5 日に各水槽から生貝を取り上げ、目合 1.5 分のパールネットに 50 個体/段で収容して、研究所前の栈橋に垂下した。

11 月 5 日にそれぞれのパールネットの生貝、死貝数を計数した後、生貝を目合 2 分のパールネットに 20 個体/段で収容して、研究所前の栈橋に垂下した。

平成 25 年 1 月 17 日に各パールネットの生貝、死貝数を計数し、生貝についてはワタ抜けの有無を確認後に、殻長、全重量、軟体部重量を測定、異常貝数を計数した。

（2）噛合せによる影響

平成 24 年 10 月 10 日に久栗坂実験漁場から回収した平成 24 年産貝を、目合 1.5 分のパールネットに 100 個体/段で収容して、研究所前の栈橋に垂下した。

11 月 5 日に生貝、死貝数を計数した後、生貝を目合 2 分のパールネットに 20 個体/段で収容して、研究所前の栈橋に垂下した。

平成 25 年 1 月 9 日に生貝、死貝数を計数し、生貝 40 個体を殻長 5.0cm のホタテガイの左殻貝殻を用いて、貝柱と鰓の結合部を 10 回突っつき傷害を与えた（以下、「貝殻による傷害区」と呼ぶ）。傷害を与えない生貝 40 個体（以下、「対照区」と呼ぶ）とともに、ろ過海水を掛け流したコンテナ水槽（長さ 60cm、幅 35cm、高さ 15cm）へ収容し、無給餌で 2 月 1 日まで飼育した。対照区については、1 月 23 日に水槽を半分に仕切り、20 個体ずつに分け、片方の 20 個体は 2 個体を 1 組としてホタテガイ同士を噛合せた（以下、「噛合せ区」と呼ぶ）。

水槽で飼育中は死貝と生貝中の衰弱貝とワタ抜け貝を毎日、確認した。死貝は貝殻が開いて、外套膜や貝柱をつついても反応がない個体とし、衰弱貝は反応が弱い貝及び外套膜後退が見られる個体とした。試験終了時には、対照区と噛合せ区の殻長、全重量、軟体部重量を測定した。

4 外套膜後退の発生メカニズム

冬季へい死時の特徴である外套膜後退の発生メカニズムを解明するために以下のとおり試験を行った。

平成 25 年 2 月 18 日に久栗坂実験漁場のパールネットから回収した平成 24 年産貝を、400L の円型水槽に設置した 2 個のパールネットに 30 枚/段と 15 枚/段で収容し、水中ポンプを使用して、2 時間おきに流速 0.6～0.8 ノット（0.3～0.4m/s）の負荷を与えた（以下、「流速負荷区」と呼ぶ）。対照区として、円型水槽の排水部に設置したコンテナ水槽（長さ 60cm、幅 35cm、高さ 15cm）へ 12 個体収容した。

流速負荷区については、自記水温計（Onset Computer 社、ストアウェイティドビット）を用いて 1 時間間隔で水温を記録した。

飼育期間中は無給餌とし、死貝と生貝中の衰弱貝とワタ抜け貝を毎日 1 回、パールネット内に収容している状態で確認した。

結果と考察

1 冬季のホタテガイ稚貝のへい死状況

(1) 蓬田村地区

稚貝分散時の作業状況について表 1 に示す。漁場水深 38m、幹綱水深 12m の養殖施設では、平成 24 年 12 月 14 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、稚貝分散時には 25 枚であった。

表 1 稚貝分散時の作業状況(蓬田村地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝分散時	
沖側	38m	12m	作業月日	H24.12.14
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	25枚/段

平成 25 年 3 月 4 日に調査した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、上段で 30.4%、中段で 25.0%、下段で 31.8%といずれの段においても高い値を示していた。また、上段と下段でやや高い値であった。

なお、3 月 27 日の同施設のへい死率は 24.4% (1 連平均) であり¹⁾、ほとんど同じであった。

表 2 ホタテガイのへい死率及び測定結果(平成 25 年 3 月 4 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	64	28	30.4	48.9	5.82	11.0	3.50	4.08	1.57	38.6	6.83
中段	81	27	25.0	49.6	7.82	9.9	3.77	4.21	1.65	38.7	6.53
下段	75	35	31.8	47.8	6.13	10.2	3.45	3.93	1.38	40.2	5.50

(2) 青森市奥内地区

漁場別の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 の陸側の養殖施設では、平成 24 年 11 月 22 日に、漁場水深 35m、幹綱水深 15m の沖側施設では、平成 24 年 11 月 22 日及び平成 25 年 1 月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、沖側ともに稚貝分散時には 15 枚であった。

表 3 漁場別の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	稚貝分散時	
陸側	23m	10m	作業月日	H.24.11.22
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	15枚/段
沖側	35m	15m	作業月日	H.24.11.22 H.25.1月
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	15枚/段

漁場別及び稚貝分散時期別のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 4~6 に示す。へい死率は、陸側施設の上段で 22.6%、中段で 20.0%、下段で 22.6%、平成 24 年 11 月に稚貝分散を行った沖側施設の上段で 19.2%、中段で 15.0%、下段で 20.9%、平成 25 年 1 月に稚貝分散を行った沖側施設の上段で 32.1%、中段で 44.8%、下段で 38.5%といずれの段においても高いへい死率を示していた他、沖側養殖施設では、分散時期が遅いほどへい死率が高かった。

なお、11 月に分散した同施設の 4 月 12 日におけるへい死率 (1 連平均)²⁾ は、陸側施設で 27.9%、沖側施設で 23.1%と 2 月 26 日に比べてわずかに増加していた。

表 4 陸側養殖施設のホタテガイのへい死率及び測定結果(平成 25 年 2 月 26 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	48	14	22.6	46.1	6.23	9.1	2.87	3.34	1.26	43.1	2.62
中段	60	15	20.0	44.9	7.44	8.4	3.22	3.04	1.19	38.4	9.67
下段	48	14	22.6	43.6	8.00	8.0	3.48	2.96	1.37	41.6	4.41

表 5 平成 24 年 11 月に稚貝分散した沖側養殖施設のホタテガイのへい死率及び測定結果(平成 25 年 2 月 26 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	59	14	19.2	49.9	5.68	12.0	3.38	4.39	1.28	43.1	9.74
中段	85	15	15.0	51.4	4.73	11.5	2.89	4.35	1.19	42.4	6.60
下段	53	14	20.9	51.3	6.61	13.0	4.11	4.87	1.57	46.6	5.77

表 6 平成 25 年 1 月に稚貝分散した沖側養殖施設のホタテガイのへい死率及び測定結果(平成 25 年 2 月 26 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	38	18	32.1	43.8	4.46	8.0	2.07	3.05	0.91	39.4	2.78
中段	32	26	44.8	44.0	4.65	7.7	2.35	3.07	0.92	38.2	2.59
下段	24	15	38.5	43.9	3.49	8.4	1.85	3.13	0.79	38.2	5.05

平成 24 年 11 月 22 日に稚貝分散を行った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 1 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 2 に示す。陸側施設では、死貝が殻長 22mm~30mm 及び 38mm~48mm に、沖側施設では、殻長 24mm~32mm 及び 38mm~56mm に集中していることから、へい死した貝には分散後まもなくへい死した貝と分散後にかなり成長してからへい死した貝の 2 種類が存在していると考えられた。

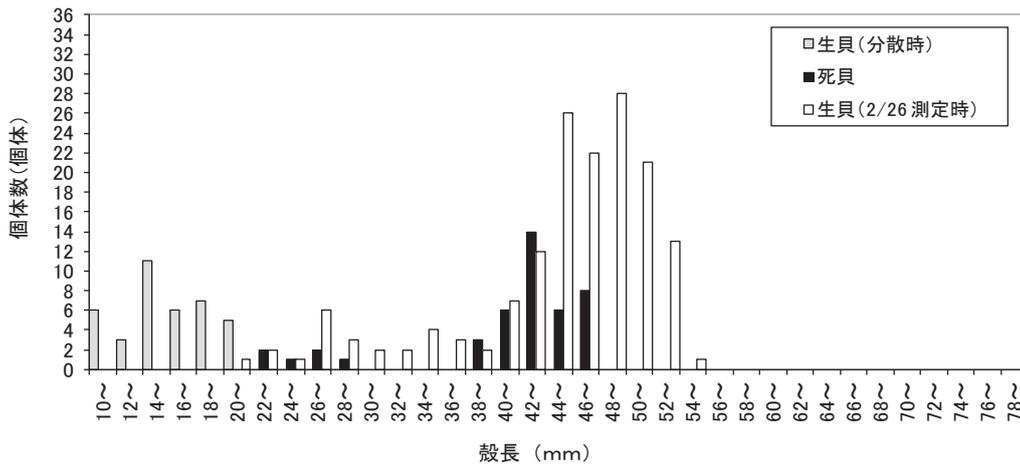


図 1 陸側施設の殻長組成

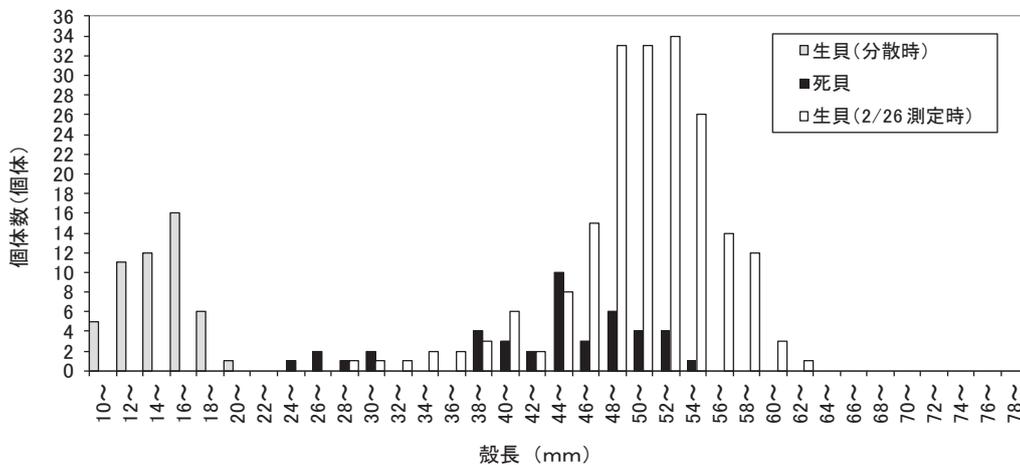


図 2 沖側施設の殻長組成

(3) 平内町茂浦地区

稚貝分散時の作業状況について表 7 に示す。漁場水深 40m、幹綱水深 12m 及び 27m の陸側（沖寄り）に位置する養殖施設では、平成 24 年 10 月 20 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、稚貝分散時にはそれぞれ、15～18 枚及び 20 枚であった。

また、漁場水深 46m、幹綱水深 27m の沖側に位置する養殖施設では、平成 24 年 11 月中旬頃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、稚貝分散時には 6 枚であった。

養殖施設別の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、陸側の幹綱水深 12m の養殖施設において、上段で 17.0%、中段で 15.2%、下段で 22.5% といずれの段においても高いへい死率を示しており、特に上段と下段のへい死が高い値を示していた。また、幹綱水深 27m の養殖施設において、上段で 23.1%、中段で 3.1%、下段で 8.5% であり、上段のへい死が高い値を示していたものの、中～下段は幹綱水深 12m の養殖施設よりもへい死率は低かった。一方、沖側の幹綱水深 27m の養殖施設では、上段で 3.2%、中段及び下段は 0% といずれの段もへい死率が非常に低かった。これらのことから、1 段あたりの収容枚数が少ないことが、沖側でへい死率が低かった一因であると考えられた。

表 7 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	稚貝分散時	
陸側 (沖寄り)	40m	12m	作業月日	H24.10.20
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	15～18枚/段
沖側	46m	27m	作業月日	H24.10.20
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	20枚/段
沖側	46m	27m	作業月日	H.24.11.中旬
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	6枚/段

表 8 養殖施設別のホタテガイのへい死率及び測定結果(茂浦地区)

(陸側・幹綱水深 12m:平成 25 年 2 月 27 日、陸側・幹綱水深 27m:平成 25 年 2 月 25 日、
沖側:平成 25 年 2 月 27 日)

養殖施設 の場所	幹綱 水深	段	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
						殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
						平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
陸側 (沖寄り)	12m	上段	44.0	9.0	17.0	59.7	5.51	20.5	5.58	7.61	2.47	54.1	2.89
		中段	67.0	12.0	15.2	57.6	3.81	17.9	3.28	6.66	1.42	52.7	4.31
		下段	55.0	16.0	22.5	55.8	5.49	15.7	3.90	5.94	1.57	52.5	3.02
	27m	上段	20.0	6.0	23.1	54.8	6.63	14.1	3.49	5.22	1.32	41.5	7.77
		中段	31.0	1.0	3.1	53.3	4.59	13.4	3.18	4.88	1.27	42.9	-
		下段	43.0	4.0	8.5	52.3	3.54	12.1	2.50	4.31	0.91	49.9	0.61
沖側	27m	上段	30.0	1.0	3.2	58.9	2.86	19.5	2.51	7.69	1.16	57.7	-
		中段	17.0	0.0	0.0	58.6	4.71	20.3	4.24	7.67	1.58	-	-
		下段	29.0	0.0	0.0	57.6	5.19	18.0	3.61	6.91	1.54	-	-

(4) 平内町浦田地区

稚貝分散時の作業状況について表 9 に示す。漁場水深 52m、幹綱水深 15m の沖側の養殖施設では、平成 24 年 10 月中旬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、稚貝の大きさが小さかったため、通常の 15 枚よりも多くの稚貝を収容していた。

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～下段を合わせて 29.5%と

表 9 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	稚貝分散時	
沖側	52m	15m	作業月日	H.24.10.中旬
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	20枚/段

やや高い値を示した。

表 10 ホタテガイのへい死率及び測定結果(浦田地区)(平成 25 年 2 月 13 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
全段	160.0	67.0	29.5	53.8	3.80	13.4	2.72	5.19	1.19	50.5	4.10

(5) 平内町稲生地区

漁場別の稚貝分散時の作業状況について表 11 に示す。漁場水深 45m、幹綱水深 15m の沖寄りの陸側施設では、平成 24 年 10 月 3 日に稚貝分散が行われていた。また、漁場水深 53m、幹綱水深 21m の沖側施設では、平成 24 年 10 月 7 日に稚貝分散が行われていた。稚貝分散時のパールネット 1 段あたりの収容枚数については、陸側の沖寄りの施設、沖側施設ともに 15 枚であった。

表 11 漁場別の稚貝分散時の作業状況(稲生地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝分散時	
陸側 (沖寄り)	45m	15m	作業月日	H24.10.3
			パールネットの目合	2分
			収容枚数	15枚/段
沖側	53m	21m	作業月日	H24.10.7
			パールネットの目合	2分
			収容枚数	15枚/段

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、沖寄りの陸側施設の上段で 46.6%、中段で 29.3%、下段で 43.1% であった。また、沖側施設の上段で 48.8%、中段で 45.2%、下段で 56.8% と、陸側、沖側ともに非常に高いへい死率を示していた。特に、上段及び下段のへい死率が高かった。

表 12 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(稲生地区)

(陸側:平成 25 年 2 月 18 日、沖側:平成 25 年 2 月 27 日)

養殖施設 の場所	幹綱 水深	段	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
						殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
						平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
陸側 (沖寄り)	15m	上段	31.0	27.0	46.6	53.2	3.64	14.6	3.34	5.31	1.61	51.1	2.63
		中段	41.0	17.0	29.3	52.7	2.30	13.5	1.79	4.95	0.93	50.3	4.15
		下段	33.0	25.0	43.1	51.3	2.45	12.8	2.03	4.81	1.04	48.7	2.48
沖側	21m	上段	21.0	20.0	48.8	56.8	3.85	15.8	2.89	5.54	1.42	51.9	3.02
		中段	34.0	28.0	45.2	57.1	4.23	17.2	4.00	6.11	2.01	51.1	3.30
		下段	19.0	25.0	56.8	56.6	3.38	16.8	3.21	6.32	1.43	50.4	4.05

沖側施設の貝殻を外部から観察した結果、欠刻や着色等の異常貝は認められなかった。また、サンプルとして搬入された貝の一部は外套膜が萎縮している(通称:ビリが引っ込む)個体が確認されたが、鰓が貝殻から露出している(通称:ワタ抜け)個体は確認されなかった。

また、外套膜が萎縮していた個体について、電子顕微鏡で外套膜及び鰓を観察したところ、8 個体中 6 個体の外套膜の内褶及び触手において、無数の穴が開いていることが確認された(図 3~5)。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 6~7)。

外套膜が萎縮し、弱っている個体の多くには、外套膜に無数の微細な穴が開いていることが確認された。これまでも、へい死貝の外套膜には同様の微細な穴が観察されており、波浪等の影響により貝同士がぶつかったり、籠に擦れたりして、生じるものと考えられてきた。しかし、今回、サンプルを採取した養殖施設は、幹綱水深が約 21m と深く、波浪の影響は受けにくかったと考えられるため、他の原因により微細な穴が生じたものと考えられた。

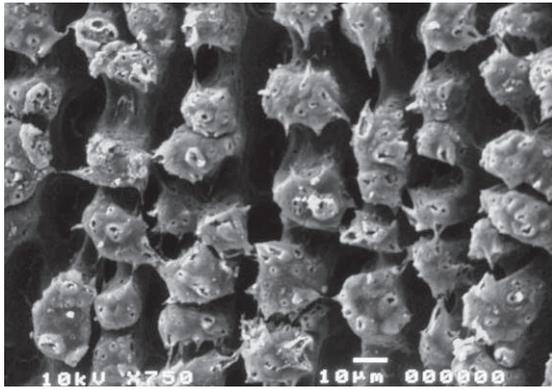


図3 沖側施設における殻長 54.7 mmの稚貝の外套膜内褶

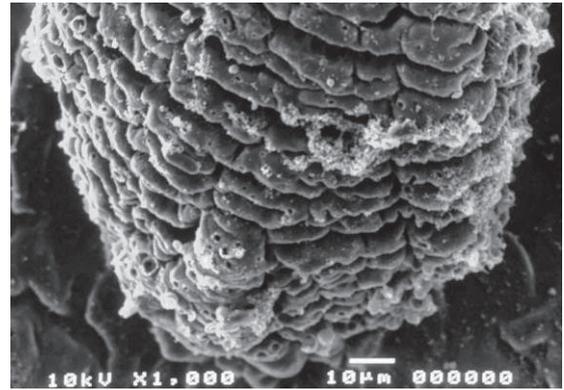


図4 沖側施設における殻長 51.1 mmの稚貝の外套膜触手

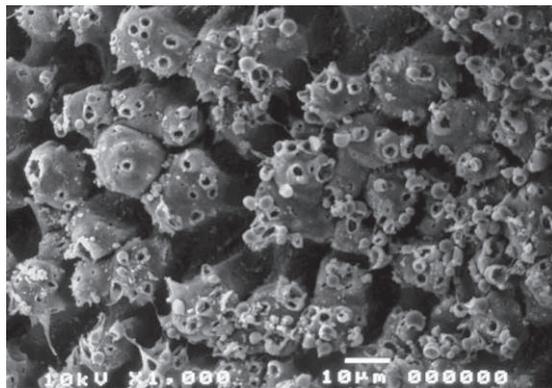


図5 沖側施設における殻長 47.5mmの稚貝の外套膜内褶

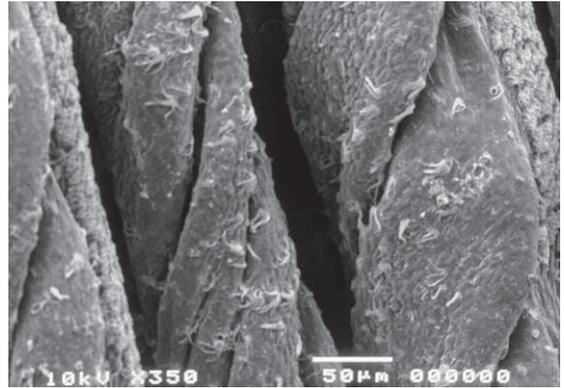


図6 沖側施設における殻長 51.1mmの稚貝の鰓の呼吸拡散

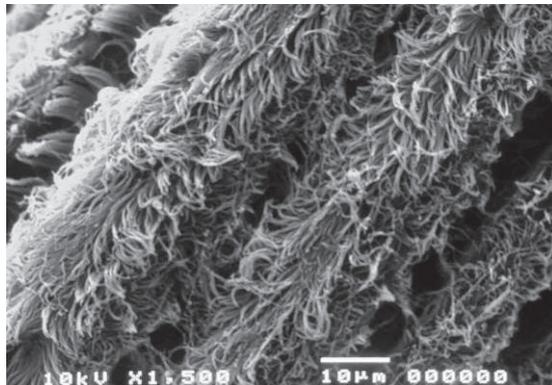


図7 沖側施設における殻長 54.1mmの稚貝の第二次鰓弁

(6) 平内町東田沢地区

稚貝分散時の作業状況について表13に示す。漁場水深48m、幹綱水深18mの陸側と沖側の中間の養殖施設では、平成24年10月30日に稚貝分散が行われていた。また、稚貝分散時のパールネット1段あたりの収容枚数については、15~20枚であった。

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、上段で25.9%、中段で19.0%、下段で14.6%であり、特に上段でへい死率が高かった。

表13 稚貝分散時の作業状況(東田沢地区)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝分散時	
陸側と沖 側の中間	48m	18m	作業月日	H24.10.30
			パールネットの目合	2分
			収容枚数	15~20枚/段

表 14 ホタテガイのへい死率及び測定結果(東田沢地区)(平成 25 年 3 月 5 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	40.0	14.0	25.9	52.3	6.04	14.0	4.44	5.28	2.09	46.6	5.05
中段	34.0	8.0	19.0	52.2	4.46	13.9	3.14	5.30	1.41	48.7	4.20
下段	41.0	7.0	14.6	51.2	5.33	13.2	3.84	5.27	1.68	47.4	5.20

(7) 平内町小湊地区

小湊地区白砂地先の稚貝分散時の作業状況について表 15 に示す。漁場水深 25m、幹綱水深 9m の陸側と沖側の中間の施設では、平成 24 年 10 月 12 日に稚貝分散が行われていた。稚貝分散時のパールネット 1 段あたりの収容枚数については、10~13 枚であった。

表 15 稚貝分散時の作業状況(小湊地区白砂地先)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝分散時	
陸側と沖 側の中間	25m	9m	作業月日	H24.10.12
			パールネットの目合	2分
			収容枚数	10~13枚/段

小湊地区白砂地先のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 16 に示す。へい死率は、上段で 10.0%、中段で 25.4%、下段で 26.8% であり、特に中段と下段でへい死率が高かった。

表 16 漁場別のホタテガイのへい死率及び測定結果(小湊地区白砂地先)(平成 25 年 3 月 6 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	36.0	4.0	10.0	55.4	4.35	16.2	3.24	6.35	1.42	54.9	3.49
中段	47.0	16.0	25.4	55.1	5.11	15.7	3.89	5.93	1.88	52.3	4.07
下段	41.0	15.0	26.8	54.7	4.32	14.6	3.36	5.73	1.61	50.7	3.29

小湊地区浜子地先の稚貝分散時の作業状況について表 17 に示す。漁場水深 20m、幹綱水深 6m の沖寄りの陸側施設では、平成 24 年 11 月 13 日に稚貝分散が行われていた。稚貝分散時のパールネット 1 段あたりの収容枚数については、18 枚であった。

表 17 稚貝分散時の作業状況(小湊地区浜子地先)

養殖施設 の場所	漁場 水深	幹綱 水深	稚貝分散時	
陸側 (沖寄り)	20m	6m	作業月日	H24.11.13
			パールネットの目合	3分
			収容枚数	18枚/段

小湊地区浜子地先のホタテガイのへい死率及び測定結果を表 18 に示す。へい死率は、上段で 7.8%、中段で 9.1%、下段で 13.3% と白砂地区に比べ低い値であり、下段でへい死率が高かった。

表 18 ホタテガイのへい死率及び測定結果(小湊地区浜子地先)(平成 25 年 3 月 11 日)

	生貝 (個体)	死貝 (個体)	へい死率 (%)	生貝						死貝	
				殻長(mm)		全重量(g)		軟体部重量(g)		殻長(mm)	
				平均	SD	平均	SD	平均	SD	平均	SD
上段	47.0	4.0	7.8	49.0	6.88	13.8	4.37	4.83	1.56	50.2	1.53
中段	30.0	3.0	9.1	52.6	4.61	15.1	3.45	6.01	1.40	46.8	2.85
下段	39.0	6.0	13.3	51.2	5.29	13.9	3.67	5.37	1.45	45.4	9.72

(8) 考察

各地区のへい死状況については、①分散時期・収容枚数・幹綱水深の違いによりへい死率が異なる、②上段と下段でへい死率が高いケースや、上段もしくは下段のへい死率が高いケースがある、といった特徴が見られた。

これについては、①平成 24 年 12 月～平成 25 年 3 月の東湾ブイの風向風速（図 8）を見ると、風速 10～20m の強風の日が非常に多いこと、②波浪によるパールネットの上下動は上段ほど大きく、流れによる振り子運動は下段ほど大きいこと、③漁業者情報によればへい死が目立ってきた時期にパールネットに付着していたヨコエビ類の巣（通称、ドロクサ）が流出したこと、から波浪及び吹送流が例年に比べて、激しかった可能性がある。このため、分散が遅れたり、収容枚数が多かったり、幹綱水深が浅かったりした場合、その影響を強く受けたものと考えられた。

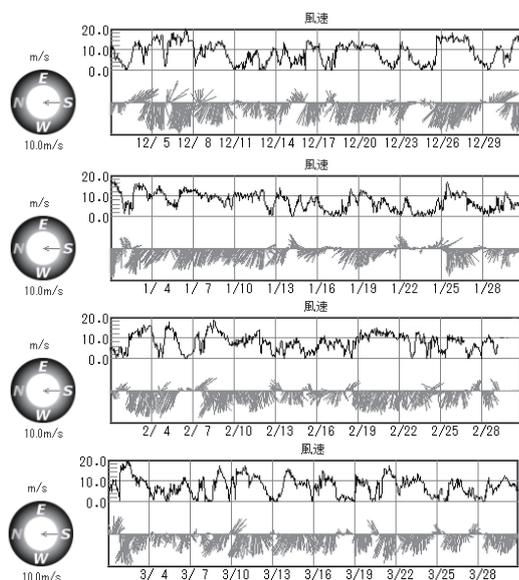


図 8 平成 24 年 12 月～25 年 3 月の東湾ブイにおける風向風速

2 海域への排雪によるホタテガイ稚貝への影響

青森市奥内地区の陸側及び沖側養殖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を図 9～10 に示す。

陸側養殖施設の塩分は約 33.0～33.9‰、沖側養殖施設の塩分は約 32.8～33.7‰で推移しており、いずれもホタテガイ適応範囲内³⁾であることから、塩分濃度の低下が冬季へい死の原因ではないと考えられた。

なお、陸側養殖施設では、平成 25 年 2 月 13 日、2 月 25 日に塩分濃度の低下が見られたが、いずれも短時間（1 時間毎に 1 秒間隔で 1 分間測定しているうちの数秒間）であることから、排雪との因果関係は不明である。

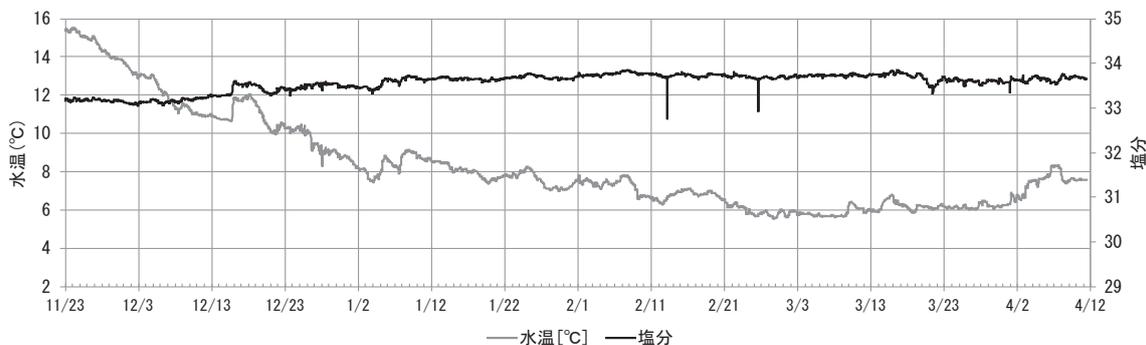


図 9 陸側施設に設置したメモリー式水温塩分計の水温及び塩分の推移

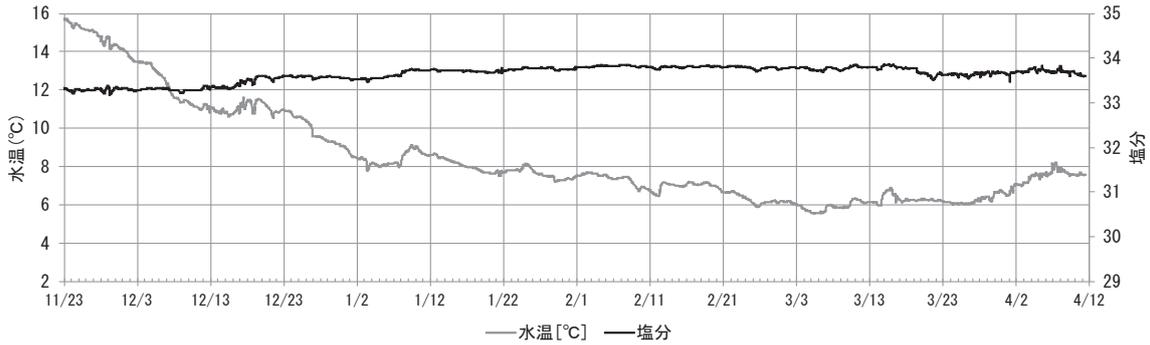


図 10 沖側施設に設置したメモリー式水温塩分計の水温及び塩分の推移

平成 23 年産及び平成 24 年度産貝を用いた融雪剤耐性室内飼育試験における水温、塩分、PH 及びホタテガイのへい死数について表 19～20 に示す。

水温については、試験期間中、5.9～8.0℃前後で推移していた。また、塩分については、32.0～34.4‰で推移していた。

Ph は試験開始時が 7.9～8.1、試験終了時が 7.4～7.6 であり、一般的な海水の Ph の値 (pH8.0) にほぼ近い値であった。

へい死の状況については、平成 23 年産貝及び平成 24 年産貝ともに全ての試験区においてへい死した個体は確認されなかった。

表 19 各試験区における水温、塩分、Ph及びへい死数の推移(平成23年産貝)

対照区						0.03g/L 融雪剤区					
測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)		測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)	
H.25.1.30 9:00	6.4	32.2	7.9	—		H.25.1.30 9:00	6.3	32.2	8.0	—	
H.25.1.31 10:00	7.1	32.4	—	0		H.25.1.31 10:00	7.1	32.5	—	0	
H.25.2.1 10:00	6.9	32.6	—	0		H.25.2.1 10:00	6.9	32.8	—	0	
H.25.2.4 10:00	6.5	32.4	—	0		H.25.2.4 10:00	6.5	32.8	—	0	
H.25.2.5 15:00	6.7	32.5	—	0		H.25.2.5 15:00	6.7	33.0	—	0	
H.25.2.6 17:00	6.8	32.8	7.5	0		H.25.2.6 17:00	6.9	33.1	7.6	0	

0.0003g/L 融雪剤区						0.3g/L 融雪剤区					
測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)		測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)	
H.25.1.30 9:00	6.3	32.2	7.9	—		H.25.1.30 9:00	6.3	32.4	7.9	—	
H.25.1.31 10:00	7.0	32.5	—	0		H.25.1.31 10:00	7.0	33.1	—	0	
H.25.2.1 10:00	6.9	32.7	—	0		H.25.2.1 10:00	6.9	33.1	—	0	
H.25.2.4 10:00	6.4	32.4	—	0		H.25.2.4 10:00	6.3	33.3	—	0	
H.25.2.5 15:00	6.5	32.5	—	0		H.25.2.5 15:00	6.5	33.4	—	0	
H.25.2.6 17:00	6.7	32.6	7.5	0		H.25.2.6 17:00	6.7	33.7	7.5	0	

0.003g/L 融雪剤区					
測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)	
H.25.1.30 9:00	6.3	32.2	7.9	—	
H.25.1.31 10:00	7.0	32.5	—	0	
H.25.2.1 10:00	6.9	32.7	—	0	
H.25.2.4 10:00	6.5	32.6	—	0	
H.25.2.5 15:00	6.6	32.7	—	0	
H.25.2.6 17:00	6.8	32.9	7.5	0	

表 20 各試験区における水温、塩分、Ph及びへい死数の推移(平成24年産貝)

対照区						0.03g/L 融雪剤区					
測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)		測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)	
H.25.2.8 18:00	7.1	32.0	8.0	—		H.25.2.8 18:00	6.8	32.2	8.1	—	
H.25.2.12 10:00	6.1	32.6	—	0		H.25.2.12 10:00	5.9	33.0	—	0	
H.25.2.13 11:00	7.1	32.4	—	0		H.25.2.13 11:00	6.8	32.9	—	0	
H.25.2.14 14:00	8.0	32.4	—	0		H.25.2.14 14:00	7.8	33.1	—	0	
H.25.2.15 15:00	6.8	32.8	7.4	0		H.25.2.15 15:00	6.8	33.7	7.5	0	

0.0003g/L 融雪剤区						0.3g/L 融雪剤区					
測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)		測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)	
H.25.2.8 18:00	6.8	32.0	8.0	—		H.25.2.8 18:00	6.9	32.2	8.1	—	
H.25.2.12 10:00	5.9	32.8	—	0		H.25.2.12 10:00	5.9	33.5	—	0	
H.25.2.13 11:00	6.8	32.8	—	0		H.25.2.13 11:00	6.8	33.5	—	0	
H.25.2.14 14:00	7.8	32.8	—	0		H.25.2.14 14:00	7.8	33.7	—	0	
H.25.2.15 15:00	6.8	33.4	7.5	0		H.25.2.15 15:00	6.7	34.4	7.4	0	

0.003g/L 融雪剤区					
測定日時	水温(°C)	塩分(‰)	PH	へい死数(個体)	
H.25.2.8 18:00	6.9	32.1	8.1	—	
H.25.2.12 10:00	5.9	32.6	—	0	
H.25.2.13 11:00	6.8	32.5	—	0	
H.25.2.14 14:00	7.8	32.7	—	0	
H.25.2.15 15:00	6.8	33.1	7.5	0	

国土交通省青森河川国道事務所、青森県東青地域県民局地域整備部及び青森市道路維持課から得た青森湾周辺の国道、県道及び市道への平成23年度の融雪剤散布量は合計約1,530トンであり、青森湾の面積が約315km²、水深15mまでの青森湾容積が約4,725,000,000m³であることから、仮に青森湾周辺の道路に散布された融雪剤が全て青森湾に流れ込み、水深15mまでの範囲に溶け込んだとした場合、その濃度は約0.0003g/Lとなる。

今回の耐性試験において、その1,000倍の濃度にあたる0.3g/Lの試験区においても、へい死した貝が確認されなかったことから、ホタテガイの冬季へい死への融雪剤の影響はないものと考えられた。

3 鰓の脱落の発生メカニズム

(1) 高水温による影響

平成24年10月5日における漁業者の稚貝の屋内飼育試験の結果を表21、図11に示した。いずれの地区とも飼育水温が高いほど、へい死率は高く、特に浦田地区の25℃区、26℃区、土屋地区の26℃区では9割以上と極めて高かった。

稲生地区の26℃区は約4割と飼育日数が同じ土屋地区よりも低かった。これは稲生地区の稚貝は8月3日に採取し、幹綱水深を37mに沈めていたのに対して、土屋地区の稚貝は8月5日、17日に稚貝採取し、幹綱水深が18m、23mと浅かったため、高水温の影響によりエネルギーを消耗したためと考えられた。

表 21 漁業者の稚貝の屋内飼育試験結果（平成 24 年 10 月 5 日）

地区	項目	20℃	23℃	24℃	25℃	26℃	備考
浦田	飼育開始日	9月11日	9月11日	9月11日	9月11日	9月11日	8月10日に稚貝採取し、幹綱水深を30mとしていた稚貝を使用。
	開始時殻長(mm)	-	-	-	-	-	
	收容数(個体)	151	198	130	183	222	
	へい死数(個体)	10	9	21	168	217	
	へい死率(%)	6.6	4.5	16.2	91.8	97.7	
稲生	飼育開始日	-	9月25日	9月25日	9月25日	9月25日	8月3日に稚貝採取し、幹綱水深を37mとしていた稚貝を使用。
	開始時殻長(mm)	-	16.8	16.8	16.8	16.8	
	收容数(個体)	-	178	83	114	89	
	へい死数(個体)	-	3	2	14	37	
	へい死率(%)	-	1.7	2.4	12.3	41.6	
土屋	飼育開始日	-	-	9月25日	9月25日	9月25日	8月5日に稚貝採取し、幹綱水深を23mとしていた稚貝、8月17日に稚貝採取し、幹綱水深を18mとしていた稚貝を混ぜて使用。
	開始時殻長(mm)	-	-	14.5	14.5	14.5	
	收容数(個体)	-	-	88	127	118	
	へい死数(個体)	-	-	47	53	113	
	へい死率(%)	-	-	53.4	41.7	95.8	

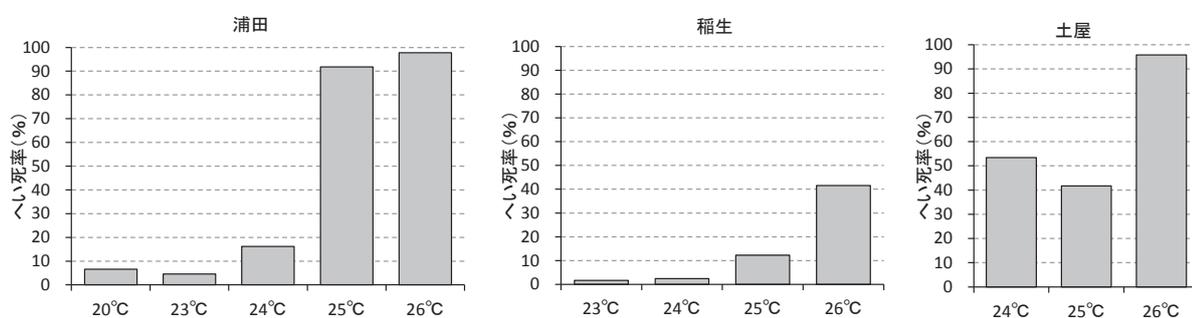


図 11 漁業者の稚貝の屋内飼育試験におけるへい死率（平成 24 年 10 月 5 日）

11 月 5 日における漁業者の稚貝の栈橋飼育試験結果を表 22、図 12～13 に示した。

いずれのパールネットも屋内水槽での飼育水温が高いほど、へい死率や異常貝率が高かった。

表 22 漁業者の稚貝の栈橋飼育試験結果（平成 24 年 11 月 5 日）

地区	項目	23℃	24℃	25℃	26℃	備考
浦田	生貝(個体)	41	26	14	3	
	うち異常貝(個体)	0	0	1	0	
	死貝(個体)	10	24	29	13	
	へい死率(%)	19.6	48.0	67.4	81.3	
	異常貝率(%)	0.0	0.0	7.1	0.0	
稲生	生貝(個体)	40	51	18	4	
	うち異常貝(個体)	0	6	1	1	
	死貝(個体)	3	7	30	12	
	へい死率(%)	7.0	12.1	62.5	75.0	
	異常貝率(%)	0.0	11.8	5.6	25.0	
土屋	生貝(個体)	-	15	21	-	
	うち異常貝(個体)	-	0	1	-	
	死貝(個体)	-	8	20	-	
	へい死率(%)	-	34.8	48.8	-	
	異常貝率(%)	-	0.0	4.8	-	

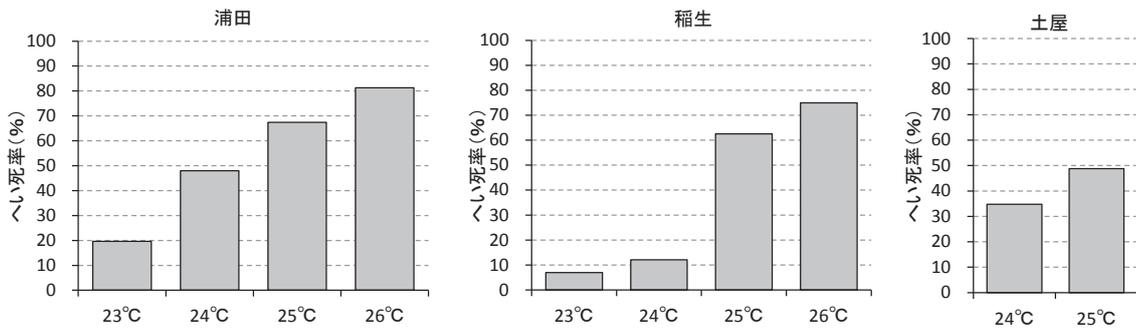


図 12 漁業者の稚貝の棧橋飼育試験におけるへい死率（平成 24 年 11 月 5 日）

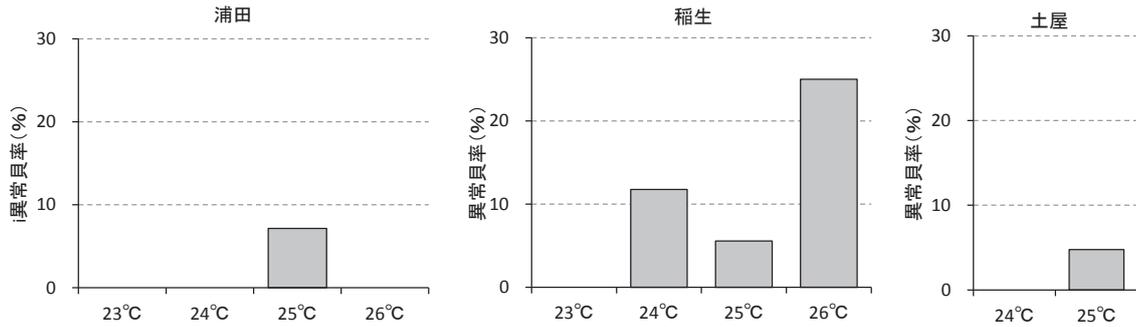


図 13 漁業者の稚貝の棧橋飼育試験における異常貝率（平成 24 年 11 月 5 日）

平成 25 年 1 月 17 日における各パールネットの測定結果を表 23、図 14 に示した。ワタ抜け貝はいずれも確認されなかった。

なお、へい死率・異常貝出現率・殻長・全重量・軟体部重量と水温との間には、いずれも明瞭な関係は見られなかった。これは、測定個体数が 2~26 個体と少なかったためと考えられた。

表 23 漁業者の稚貝の棧橋飼育試験結果（平成 25 年 1 月 17 日）

	浦田				稲生				土屋	
	20°C	23°C	24°C	25°C	23°C	24°C	25°C	26°C	24°C	25°C
収容枚数 (個体)	40	26	14	3	40	40	18	4	15	21
生貝 (個体)	26	23	11	2	0	21	15	4	11	20
死貝 (個体)	7	2	3	0	0	8	3	0	4	1
脱落貝 (個体)	7	1	0	1	40	11	0	0	0	0
異常貝 (個体)	1	2	0	0	-	3	0	0	2	2
ワタ抜け貝 (個体)	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
へい死率 (%)	35.0	11.5	21.4	33.3	-	47.5	16.7	0.0	26.7	4.8
異常貝出現率 (%)	3.8	8.7	0.0	0.0	-	14.3	0.0	0.0	18.2	10.0
ワタ抜け貝出現率 (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
殻長 平均値 (mm)	43.5	47.2	43.7	46.6	-	39.1	48.4	48.5	36.6	43.5
// 標準偏差 (mm)	4.0	4.5	3.2	3.3	-	3.6	5.7	3.1	11.3	4.4
全重量 平均値 (mm)	9.7	11.7	8.8	11.4	-	6.9	12.7	12.9	6.6	9.0
// 標準偏差 (mm)	2.2	3.0	1.8	2.0	-	1.4	3.3	1.7	4.3	2.4
軟体部重量 平均値 (mm)	2.8	3.5	2.7	3.7	-	2.1	3.9	3.9	1.9	2.6
// 標準偏差 (mm)	0.6	1.0	0.7	0.9	-	0.4	1.0	0.6	1.3	0.7

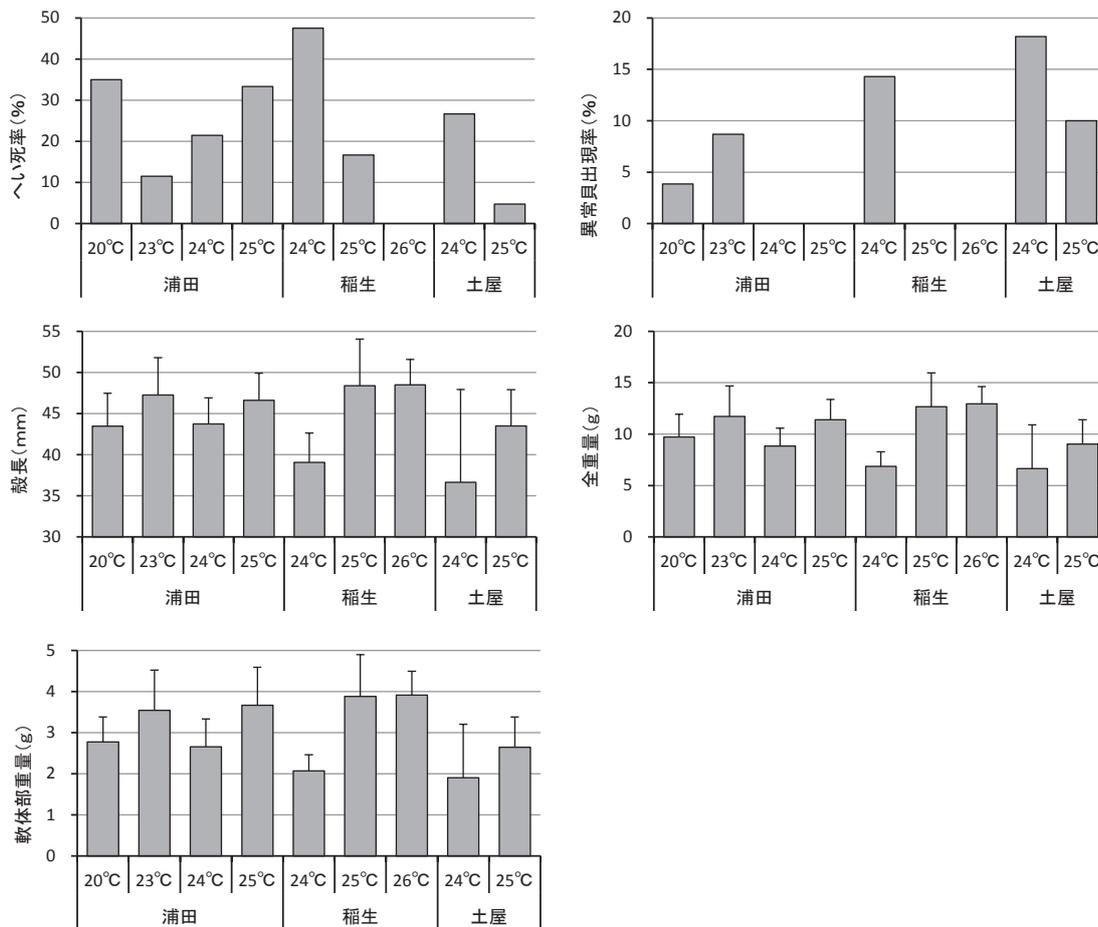


図 14 漁業者の稚貝の棧橋飼育試験結果（平成 25 年 1 月 17 日）

(2) 噛合せによる影響

平成 24 年 11 月 5 日、平成 25 年 1 月 9 日における久栗坂実験漁場の稚貝の棧橋における飼育結果を表 24 に示した。

11 月 5 日のへい死率は 8.6%とやや高かったが、噛合せ試験開始時の 1 月 9 日には 2.4%と低下しており、夏季高水温の影響はほとんど見られなかった。

表 24 久栗坂実験漁場の稚貝の棧橋飼育試験結果

項目	平成24年11月5日	平成25年1月9日
生貝(個体)	128	41
うち異常貝(個体)	0	-
死貝(個体)	12	1
へい死率(%)	8.6	2.4
異常貝率(%)	0.0	-

1 月 9 日～2 月 4 日の噛合せ試験の結果を表 25 に示した。

貝殻による傷害区では死貝が 4 個体、衰弱貝が 6 個体見られた。ワタ抜けは見られなかったが、水槽内に鰓が浮遊していたことから、傷害により鰓が脱落した個体があったものと考えられた。なお、対照区と噛合せ区では、死貝、衰弱貝、ワタ抜け貝は見られなかった。

表 25 噛合せ試験における各試験区の結果

項目	貝殻による傷害区	対照区	噛合せ区
試験開始日	平成25年1月9日	平成25年1月9日	平成25年1月23日
試験終了日	平成25年2月1日	平成25年2月1日	平成25年2月4日
試験期間(日)	23	23	12
生貝(個体)	40	20	20
うちワタ抜け(個体)	0	0	0
うち衰弱貝(個体)	6	0	0
死貝(個体)	4	0	0
へい死率(%)	10.0	0.0	0.0
殻長(mm)	-	43.2±2.8	42.2±3.1
全重量(g)	-	8.64±1.56	8.15±1.46
軟体部重量(g)	-	2.08±0.34	1.88±0.34

※殻長、全重量、軟体部重量は平均値±標準偏差

(3) 考察

夏季～秋季の高水温によるダメージを受けた貝を翌年1月まで屋外飼育しても、ワタ抜けが発生しないこと、人為的に鰓と貝柱の結合部に傷害を与えた試験区では脱落した鰓が水槽内に確認できたことから、ワタ抜けは高水温よりも外傷に起因する可能性が高いと考えられた。

4 外套膜後退の発生メカニズム

平成25年2月19日の試験開始時の水温は6.0℃であったが、2月22日には4.0℃まで低下、その後、上昇し2月27日～3月7日までは6℃前後で推移した(図15)。

対照区では衰弱貝、ワタ抜け貝、死貝は見られなかったが、流速負荷区では死貝、ワタ抜け貝は見られなかったものの衰弱貝が1日当たり1～2枚見られた(表26)。

衰弱貝の状態を詳しく調べるため、平成25年3月7日の試験終了時に流速負荷区のパールネットから貝を取り出して250LのFRP製水槽に移し、1時間安静にしてから、対照区の貝とともに、衰弱貝①(外套膜がやや後退、触手は確認できる)、衰弱貝②(外套膜が完全に後退)、死貝に分けて確認した(写真1)。その結果、流速負荷区の収容密度30枚/段では衰弱貝①が8枚、衰弱貝②が2枚、死貝が0枚、収容密度15枚/段では衰弱貝①が3枚、衰弱貝②が1枚、死貝が0枚、対照区では衰弱貝①、衰弱貝②、死貝とも0枚であった(表27)。

これらのことから、外套膜の後退は、流れ及び高密度収容による貝同士のぶつかり合いや噛合せ、箆への擦れに起因するものと考えられた。

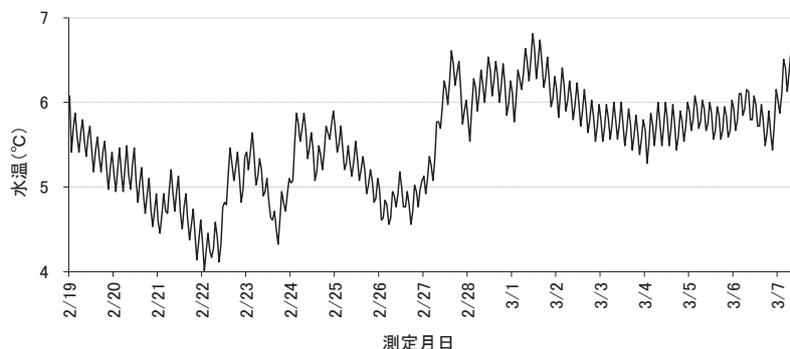


図 15 流速負荷区の水温の推移(平成25年2月19日～3月7日)

表 26 流速負荷試験期間中（平成 25 年 2 月 19 日～3 月 6 日）の衰弱貝と死貝

単位：個体

月日	流速負荷区(30枚/段)			流速負荷区(15枚/段)			対照区(12枚/段)		
	衰弱貝	ワタ抜け貝	死貝	衰弱貝	ワタ抜け貝	死貝	衰弱貝	ワタ抜け貝	死貝
平成25年2月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平成25年2月20日	1	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年2月21日	1	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年2月22日	1	0	0	1	0	0	0	0	0
平成25年2月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平成25年2月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平成25年2月25日	1	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年2月26日	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年2月27日	1	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年2月28日	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年3月1日	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年3月2日	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平成25年3月3日	-	-	-	-	-	-	-	-	-
平成25年3月4日	1	0	0	2	0	0	0	0	0
平成25年3月5日	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平成25年3月6日	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 27 流速負荷試験終了時（平成 25 年 3 月 7 日）における衰弱貝と死貝

単位：個体

月日	流速負荷区(30枚/段)			流速負荷区(15枚/段)			対照区(12枚/段)		
	衰弱貝①	衰弱貝②	死貝	衰弱貝①	衰弱貝②	死貝	衰弱貝①	衰弱貝②	死貝
平成25年3月7日	8	2	0	3	1	0	0	0	0

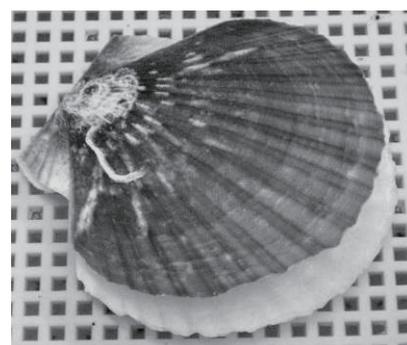
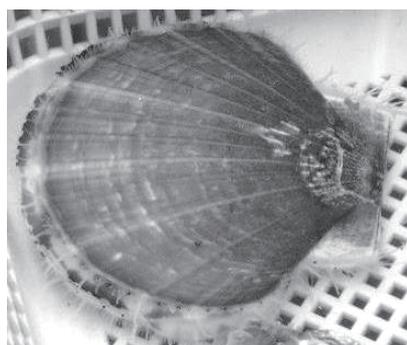


写真 1 生貝の状態（左は正常、中央は衰弱貝①、右は衰弱貝②）

5 今後の課題

海面養殖業高度化事業¹⁾やはたてがい高水温被害回避対策事業²⁾では、メモリー式流速計を用いて養殖施設内の流れを観測しているが、いずれの地点でも速い流れは観測されていない。しかし、前述のとおりパールネット下段のへい死率が高いことや、冬季としてはかなり潮の速い日があったという漁業者情報もあることから、これまでの調査では局所的な流れを捉えきれていない可能性がある。このため、へい死が多発している地区に、メモリー式流速計を大幅に増設して、集中的なモニタリングを行う必要がある。

また、昨年度⁴⁾同様、波浪や流れの影響だけでは説明しきれない部分もあることから、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も、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) 東野敏及・吉田達・伊藤良博・森恭子・小谷健二・川村要 (2014) 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 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, 344-359.
- 2) 東野敏及・吉田達・伊藤良博・森恭子・小谷健二・川村要 (2014) 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 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, @ 369-393.
- 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.
- 4) 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.