

# 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

森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要

## 目的

ホタテガイ養殖の現場では、度々潮流や波浪が原因と考えられるホタテガイのへい死が発生していることに加え、温暖化の影響によるへい死も危惧されることから、ホタテガイの成育及び漁場環境をモニタリングし、へい死原因の解明と対策に取り組む。

## 材料と方法

### 1. ホタテガイの成育状況と漁場環境のモニタリング

蓬田村、平内町小湊地先(図1)において、平成27年産稚貝の養殖施設各1か統を対象に、施設の構造を聞き取りするとともに、稚貝採取時、稚貝分散時及び平成28年3月(以下「試験終了時」)に貝を採取して生貝と死貝の殻長組成とへい死率を求めた。なお、試験終了時には、これらに加え生貝の全重量と軟体部重量を測定するとともに、異常貝の出現率を求めた。

また、稚貝採取時から試験終了時まで、上述の養殖施設の幹綱にメモリー式流向流速計(JFEアドバンテック社製COMPACT EM、水温センサー内蔵)、メモリー式深度計((JFEアドバンテック社製MDS-MkV/D)及び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、1時間間隔で流向、流速及び水温、1分間隔で幹綱水深、5分間隔で幹綱の鉛直方向の加速度を測定した。

本結果を、過去に両地先で行った調査結果と比較した。

### 2. 貧酸素による影響調査

貧酸素によるホタテガイ稚貝のへい死状況をモニタリングするため、むつ市大湊及び浜奥内地先(図2)において、平成27年産稚貝の養殖施設各1か統を対象に、平成27年10月の稚貝分散時にパールネットの上部(1段目)、中部(5段目)、下部(10段目)に収容されている全ての貝を採取して生貝と死貝を計数し、へい死率を求めるとともに、各部から無作為に抽出した生貝50枚と全ての死貝について、殻長を測定し組成を求めた。また、平成27年7月の稚貝採取から稚貝分散まで、上述の養殖施設の直下にメモリー式溶存酸素計(JFEアドバンテック社製COMPACT-DOW、水温センサー内蔵)を取り付け、1時間間隔で溶存酸素飽和度及び水温を測定した。なお、溶存酸素計は、各施設に2基設置し、1基を土俵5kgを入れたカニ籠に取り付けて養殖施設直下の海底から15cmに設置し、1基を幹綱とカニ籠を連結したロープに取り付けてパールネット下段と同じ水深に設置した(図3)。

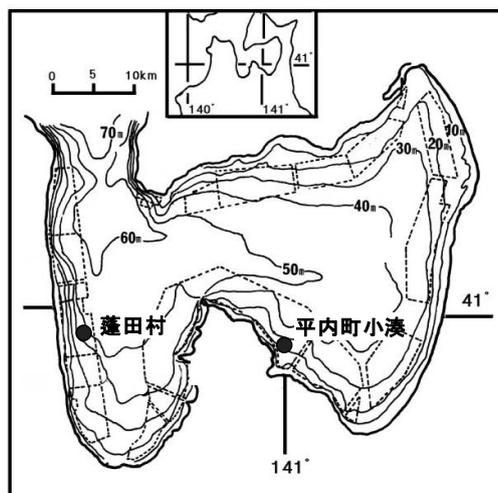


図1. モニタリング地点

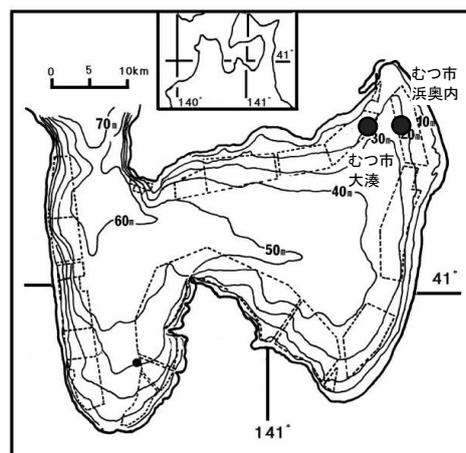


図2. モニタリング地点

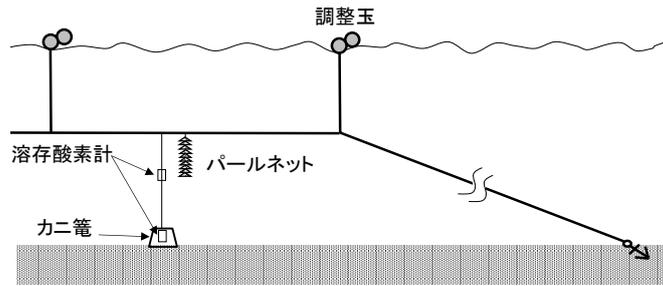


図 3. 溶存酸素計の設置方法

## 結果と考察

### 1. ホタテガイの成育状況と漁場環境のモニタリング

#### (1) 蓬田村

養殖作業の時期を表 1 に、養殖施設の基本構造を表 2 に、養殖施設の構造等を表 3 に示す。作業時期を前年度<sup>1)</sup>と比較すると、稚貝採取は約 4 週間早く、稚貝分散は同じ時期だった。施設構造を前年度<sup>1)</sup>と比較すると、稚貝採取時では幹綱水深が 1~13m 浅く、錨綱長が 50m 短く、パールネットの連数が 100 連少なく、稚貝分散時には選別機の見合いが 2mm 小さくなっていった。

表 1. 養殖作業の時期

稚貝採取	稚貝分散
H27.8.3	H27.10.20

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
	稚貝採取時	稚貝分散時			重量	個数	
36m	12~24m	12m	100m	100m	110kg	片側1丁	無

表 3. 養殖施設の構造等

	調整玉			底玉		パールネット				備考	
	種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数		錘
稚貝採取時	ABS製1尺3寸	2個	3ヶ所	ABS製1尺3寸	10個	2分	10段	300連	120個体/段	鉛50匁	篩の目合2分
分散時	ABS製1尺3寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺3寸	22個	3分	10段	500連	25個体/段	鉛50匁	篩の目合6分

平成 27 年度の測定結果を表 4 に、平成 19 年度から平成 27 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 4~6 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 4.7%と平成 19~26 年度平均(以下「平均値」)の 1.1%より高く、殻長が 7.1mmと平均値 9.7mmより小さかった。稚貝分散時の成育状況は、へい死率が 31.9%と平均値 26.3%より高く、殻長が 24.1mmと平均値 23.1mmより大きかった。試験終了時の成育状況は、へい死率が 16.3%と平均値 16.1%とほぼ等しく、殻長が 69.9mmと平均値 61.8mmより大きく、全重量が 35.0gと平均値 23.2gより重く、軟体部重量が 15.0gと平均値 9.7gよりも重かった。平成 27 年産稚貝の成育状況は、調査期間を通じてへい死率が平均値よりも高かったが、試験終了時の殻長、全重量、軟体部重量は、平成 19 年度以降最も高い値であった。

表 4. ホタテガイの測定結果

調査年月日	作業内容	サンプリング方法	生貝	死貝	異常貝	へい死	異常貝	殻長(mm)	全重量(g)	軟体部重量(g)	軟体部
			(枚)	(枚)	(枚)	率(%)	率(%)	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	指数
H27.8.3	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	265	13	-	4.7	-	7.1 ± 1.4	-	-	-
H27.10.20	稚貝分散	パールネット(未分散)1段分	139	65	-	31.9	-	24.1 ± 3.3	-	-	-
H28.3.28	試験終了	パールネット1連分(10段)	215	42	1	16.3	1.1	69.9 ± 4.1	35.0 ± 7.2	15.0 ± 2.8	42.7

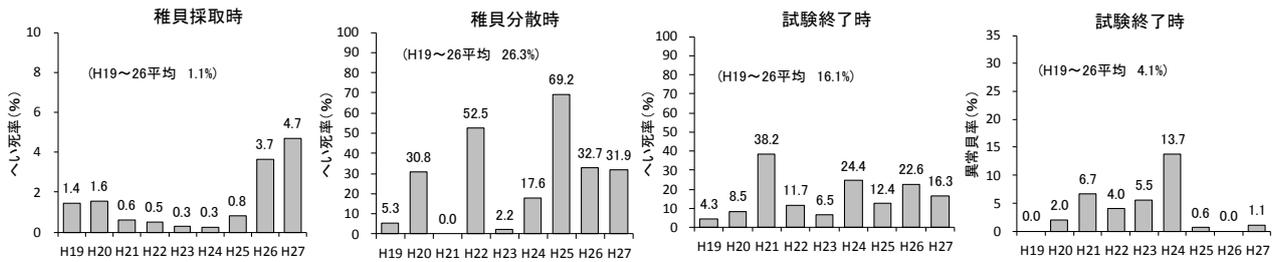


図 4. 年度別、時期別のホタテガイのへい死率、異常貝率の推移 (H24 の稚貝分散時のへい死率はサンプル数が少ないため参考値)

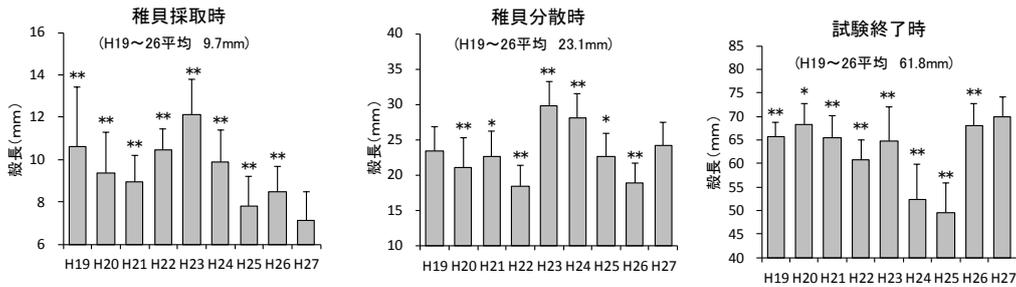


図 5. 年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移 (バーは標準偏差、H27 と比較して\*\*は有意水準 1%、\*は有意水準 5%で有意差があることを示す。)

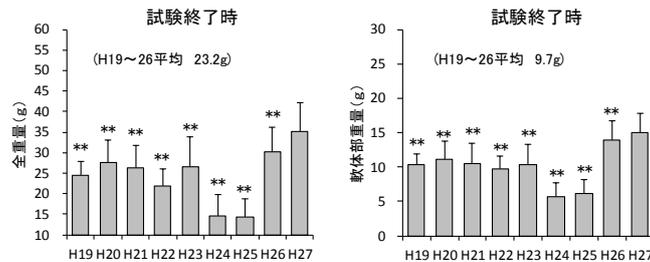


図 6. 年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移 (バーは標準偏差、\*\*は H27 と比較して有意水準 1%で有意差があることを示す。)

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図 7 に示す。稚貝分散時に採集された死貝は、殻長が 6～22mm とばらつきが大きく、稚貝採取時から 2mm 程度成長するまでの間に多くへい死が見られ、その後も稚貝分散時までへい死が続いたと考えられた。また、試験終了時に採集された死貝も、殻長が 22～66mm とばらつきが大きく、稚貝分散時と同じ大きさから終了時と同じ大きさまで混在していたことから、稚貝分散直後から終了時までへい死が続いていたと考えられた。

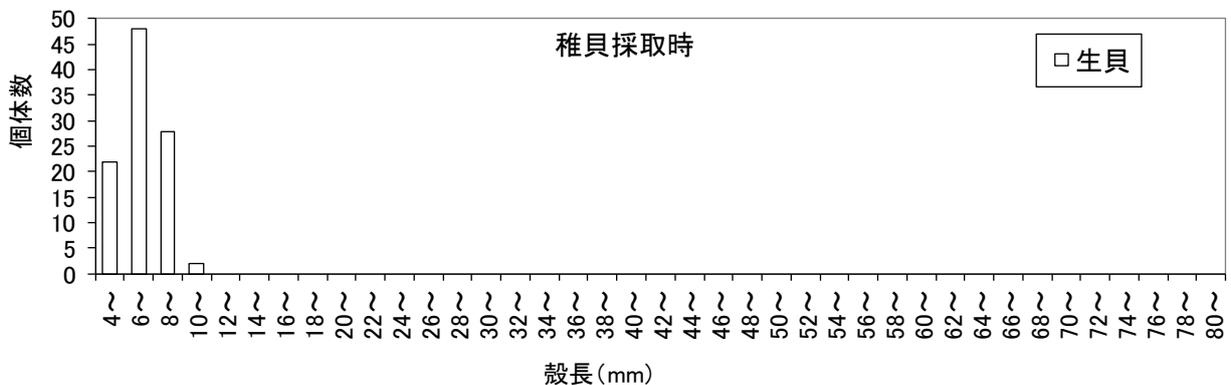


図 7-1. 時期別の生貝の殻長組成

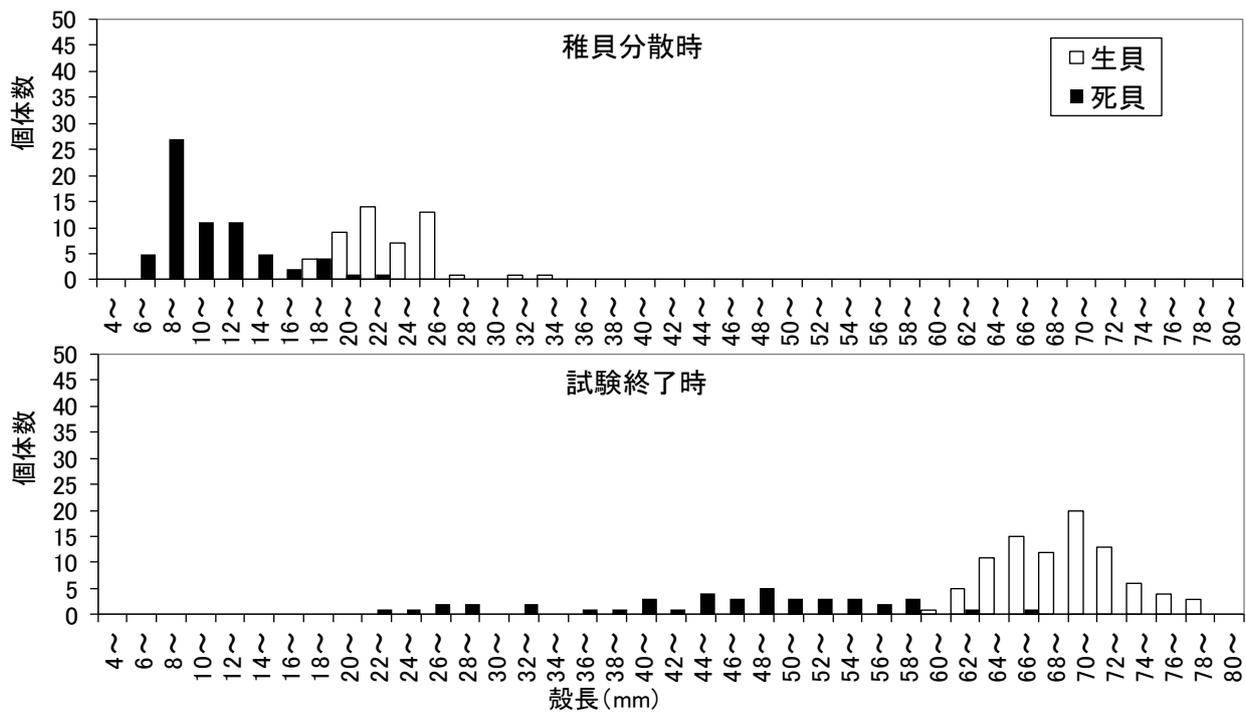


図 7-2. 時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設における水温の推移を図 8 に、平成 19 年以降の稚貝採取から稚貝分散の期間における日平均水温の水温別日数を図 9 に示す。平成 27 年度は、稚貝採取時が 22℃ 前半で、8 月 5 日から 18 日まででは 23℃ を超える時間帯が見られたが、その後はなだらかに下降した。平成 27 年度は日平均水温が 23℃ を超えた日数が 8 日間で平均値 16 日より少なかった。

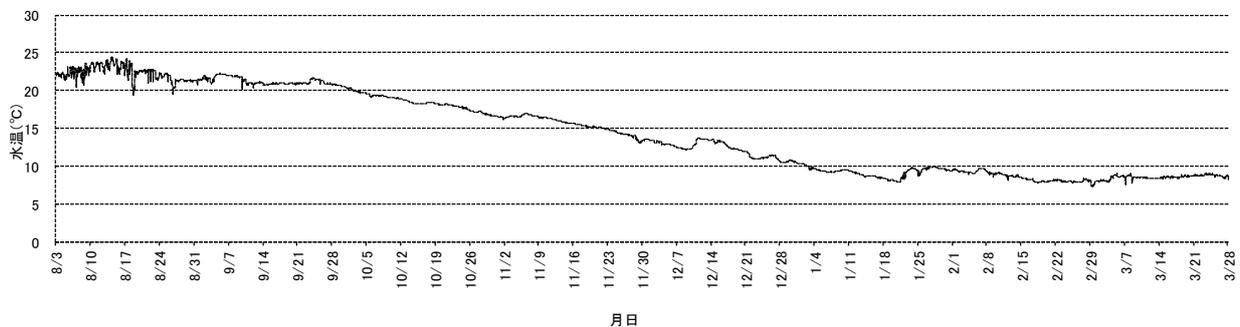


図 8. 養殖施設の水温の推移

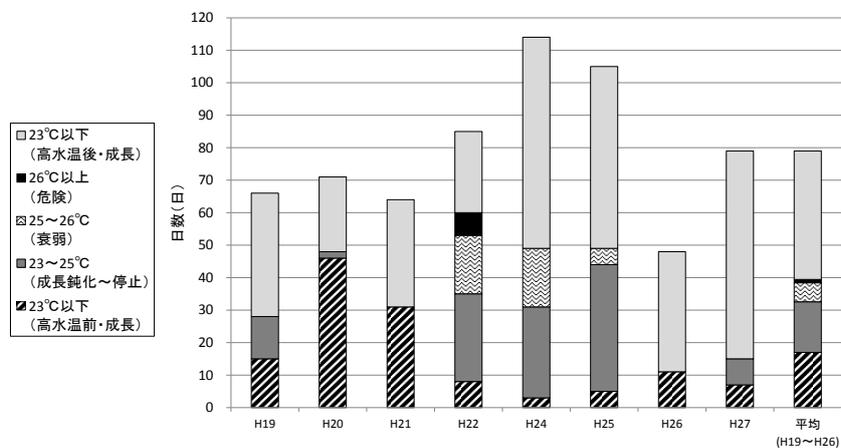


図 9. 日平均水温の水温別日数

養殖施設の幹綱水深の変化を図 10 に、幹綱の加速度を図 11 に示す。幹綱水深は、稚貝採取から稚貝分散までは 8~28m、稚貝分散から試験終了までは 5~28m であった。稚貝採取から稚貝分散までは幹綱水深が 10m 前後沈み込んで短時間で戻る変化が何度も見られた。平成 27 年 9 月 14 日、翌年 3 月 8 日、18 日に 12m 前後、平成 27 年 10 月 6 日に幹綱水深が 20m 近く急上昇していたが、これらは施設が沈降しないように玉付け作業が行われたためと考えられた。また、幹綱の加速度は、平成 27 年 8 月 6~23 日、9 月 15~20 日、11 月 24 日~翌年 1 月 8 日にかけて、 $\pm 0.1\text{m/s}^2$  を超える値が頻繁に確認された。ホタテガイ等の成長に伴い養殖施設が沈むと上下動が小さくなり、玉付けで浮き気味になると上下動が大きくなる傾向が見られたが、11 月下旬から 1 月初めにかけては施設が沈んでいるにも拘らず、上下動が大きい傾向を示した。これは 10 月下旬に行った玉付けの程度、幹綱水深が影響している可能性がある。

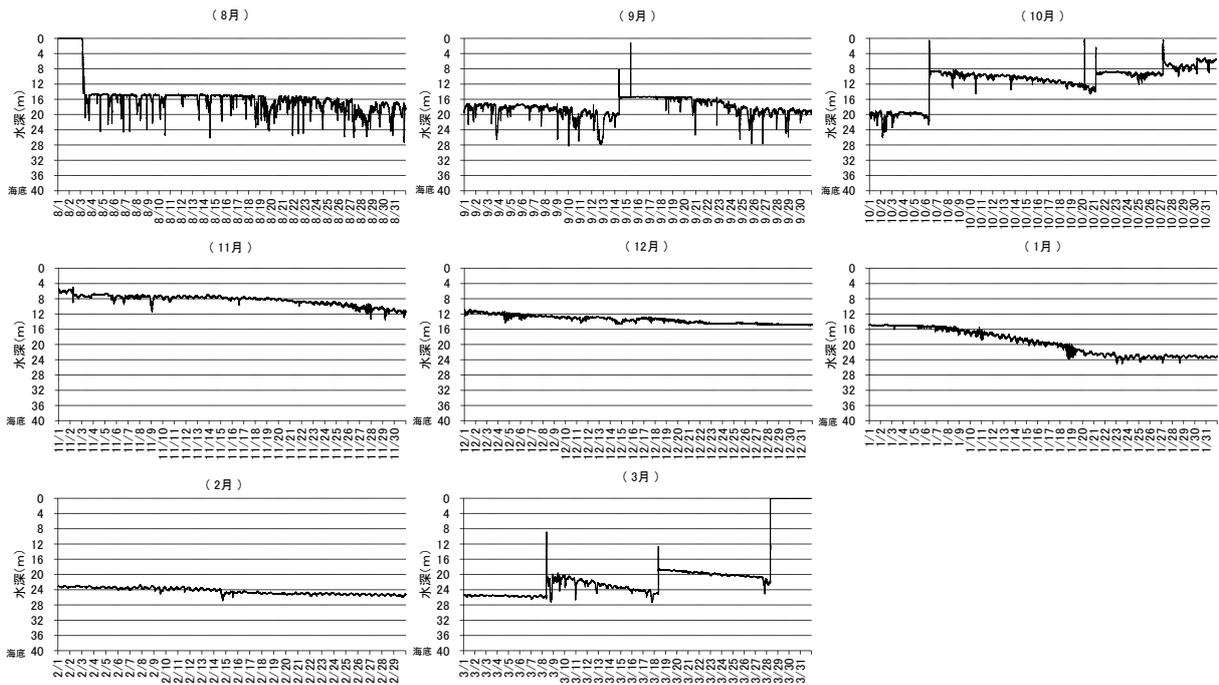


図 10. 養殖施設の幹綱水深の変化

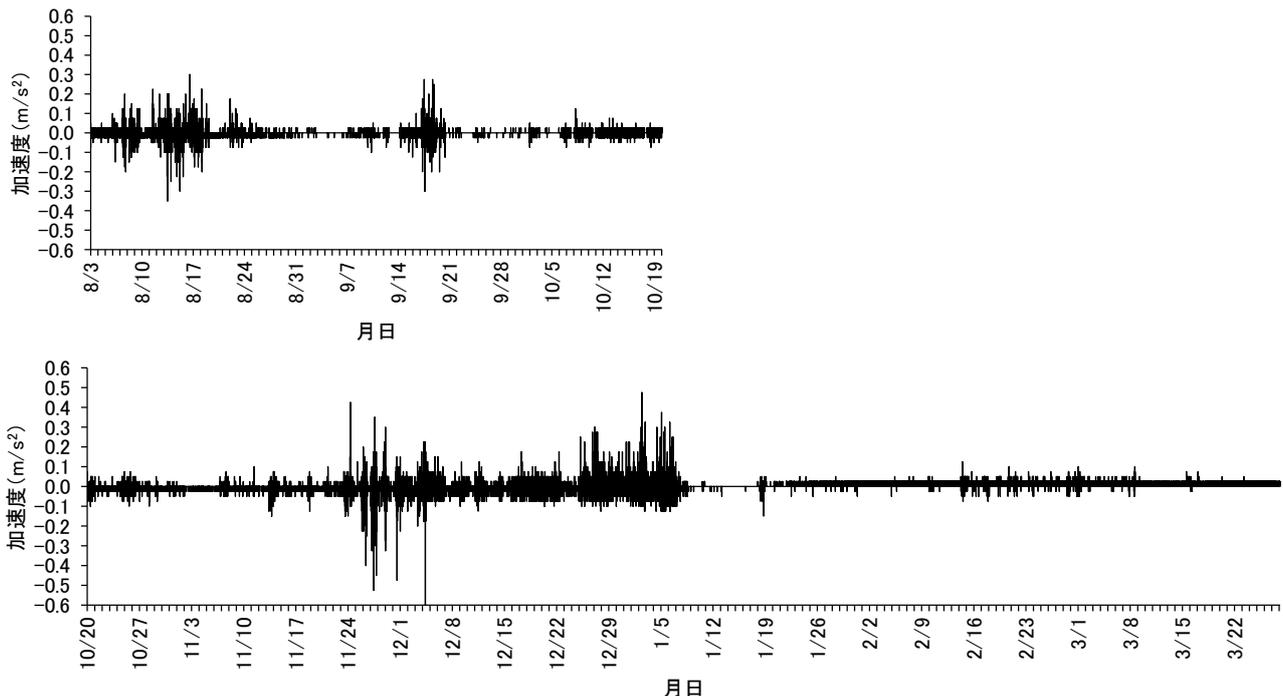


図 11. 養殖施設の幹綱の加速度（上は稚貝採取から稚貝分散、下は稚貝分散から試験終了）

養殖施設の流向流速の推移を図 12 に、稚貝採取から稚貝分散の期間における最高流速と流速別出現数を表 5 に示す。稚貝採取時の 8 月 3 日～31 日の期間に流速 0.1～0.4m/s の強い南向きの流れ、10 月 25 日～28 日の期間に流速 0.1～0.2m/s の南向きの流れが観測されたが、それ以外の期間では 0.1m/s 以下の流れがほとんどであった。流速別出現数について過去のデータと比較すると、0.1m/s 以上の出現数は 367 回で平均値 267 回より多く、0.2 m/s 以上の出現数は 114 回で平均値 24 回より多く、0.3 m/s 以上の出現数は 25 回で平均値 3 回より多かった。

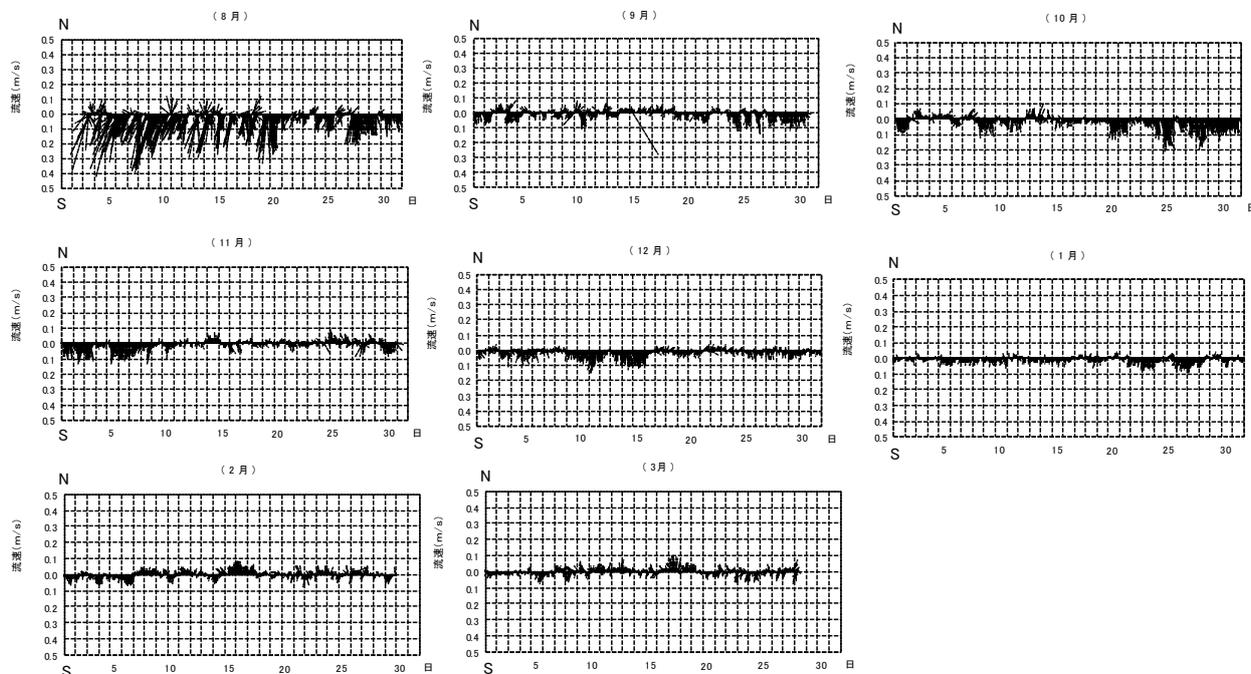


図 12. 養殖施設の流向流速の推移

表 5. 最高流速と流速別出現数

	H19	H20	H21 <sup>※</sup>	H22	H23 <sup>※</sup>	H24	H25	H26	H27	H19-26平均
最高流速(m/s)	0.37	0.34	0.33	0.26	-	0.33	0.45	0.21	0.45	0.33
流速0.3m/s以上の出現数(回)	6	5	8	0	-	2	0	0	25	3
流速0.2m/s以上の出現数(回)	60	37	39	10	-	6	16	1	114	24
流速0.1m/s以上の出現数(回)	338	271	433	187	-	150	385	104	367	267
合計(回)	1,563	1,666	2,024	2,013	-	2,713	2,448	1,133	1,874	1,937

※H21 7/31～8/4及びH23は欠測

平成 27 年のへい死率は、稚貝採取時、稚貝分散時及び試験終了時のいずれも平均値より高かった。稚貝採取時から 2mm 程度成長するまでにへい死した個体の多くは、稚貝採取から稚貝分散までの日間成長量 0.21mm/日から 8 月 13 日前後にへい死したものと考えられるが、採取時から南向きの強い流れが確認されていること、施設の幹綱水深が大きく上下動していること、幹綱の加速度の値も大きいことから、潮流により施設が大きく動揺すると同時にパールネットも大きく振られ、籠内で貝同士がぶつかり合いを起こすことによりへい死したものと推察された。稚貝採取後にしばらく成長して 8 月 13 日前後から稚貝分散までにへい死した個体及び稚貝分散後から試験終了までにへい死した個体は、幹綱の加速度の値は大きいものの、強い流れは確認できないことから、潮流よりも波浪の影響を強く受けたものと推察された。

また、試験終了時に成育が良かったのは、稚貝分散から試験終了までの期間が 161 日と平均値 132 日より 30 日近く長い期間であったことと、図 13 に示すとおり、水温が平均値よりも高めに推移したことにより摂餌が活発だったことが要因と考えられた。

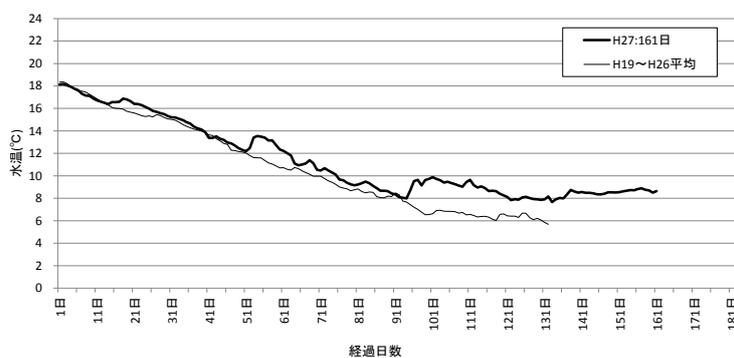


図 13. 稚貝分散から試験終了までの水温の推移

(2) 平内町小湊

養殖作業の時期を表 6 に、養殖施設の基本構造等を表 7 に、養殖施設の構造等を表 8 に示す。作業時期を前年度<sup>1)</sup>と比較すると、稚貝採取は約 4 週間早く、稚貝分散は約 3 週間早くなっていた。施設構造を前年度<sup>1)</sup>と比較すると、稚貝採取時ではパールネットの連数が 335 連多く、稚貝分散時ではパールネットの連数が 30 連少なく、選別機の目合いが 1 分小さくなっていた。

表 6. 養殖作業の時期

稚貝採取	稚貝分散
H27.7.30	H27.10.24

表 7. 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
	稚貝採取時	稚貝分散時			重量	個数	
20m	7m		120m	80m	100kg	片側2丁	60kg2個

表 8. 養殖施設の構造等

	調整玉			底玉		パールネット				備考	
	種類	個数	箇所数	種類	個数	目合	段数	連数	収容数		錘
稚貝採取時	ABS製1尺2寸	1個	6ヶ所	ABS製1尺2寸	18個	2分	8段	750連	200個体/段	鉛75匁	篩の目合2分
※1	ABS製1尺3寸	1個	1ヶ所	ABS製1尺3寸	7個						
分散時	ABS製1尺2寸	1個	7ヶ所	ABS製1尺3寸	30個	3分	8段	690連	23個体/段	鉛75匁	選別機の目合7分5厘

※1 片端がABS製1尺3寸、残り6ヶ所は1尺2寸

ホタテガイの測定結果を表 9 に、平成 18 年度から平成 27 年度までのへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を図 14~16 に示す。稚貝採取時の成育状況は、へい死率が 3.4%と平成 18~26 年度平均(以下「平均値」)の 1.2%より高く、殻長が 8.5mm と平均値 9.5mm より小さかった。稚貝分散時の成育状況は、へい死率が 12.1%と平均値 19.2%より低く、殻長が 24.9mm と平均値 25.3mm より小さかった。試験終了時の成育状況は、へい死率が 0.0%と平均値 7.2%より低く、殻長が 73.9mm と平均値 64.4mm より大きく、全重量が 42.6g と平均値 30.6g より重く、軟体部重量が 19.5g と平均値 13.2g より重かった。平成 27 年産稚貝の成育状況は、稚貝採取時のへい死率は平均値よりも高かったものの、目立ったへい死はなく、試験終了時の殻長、全重量、軟体部重量は、平成 18 年度以降 2 番目に高い値であった。

表 9. ホタテガイの測定結果

調査年月日	作業内容	サンプリング方法	生貝	死貝	異常貝	へい死	異常貝	殻長(mm)	全重量(g)	軟体部重量(g)	軟体部
			(枚)	(枚)	(枚)	率(%)	率(%)	平均値±SD	平均値±SD	平均値±SD	指数
H27.7.30	稚貝採取	選別後の稚貝を適宜	170	6	-	3.4	-	8.5 ± 1.3	-	-	-
H27.10.24	稚貝分散	パールネット(未分散)1段分	218	30	-	12.1	-	24.9 ± 4.3	-	-	-
H28.3.24	試験終了	パールネット1連分(8段)	157	0	2	0.0	2.2	73.9 ± 3.7	42.6 ± 5.9	19.5 ± 2.6	45.8

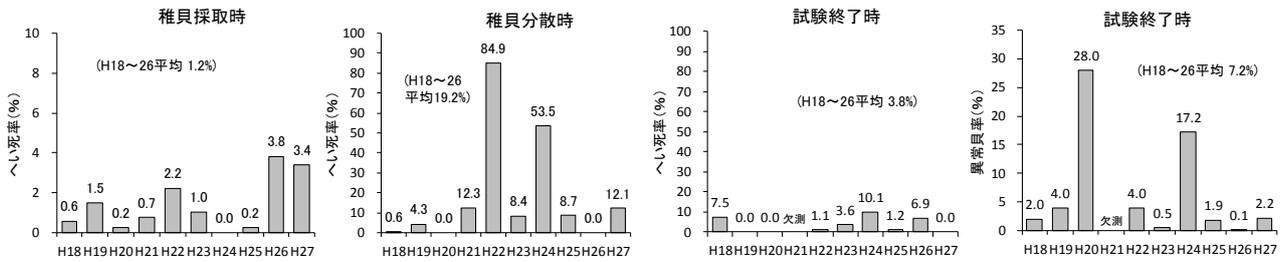


図 14. 年度別、時期別のホタテガイのへい死率、異常貝率の推移

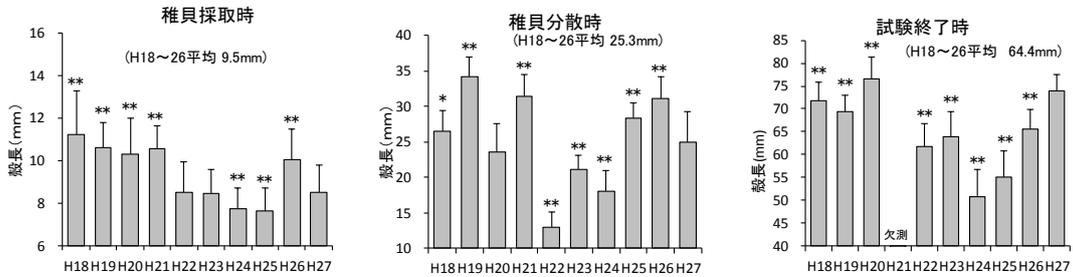


図 15. 年度別、時期別のホタテガイの殻長の推移 (バーは標準偏差、H27 と比較して\*\*は有意水準 1%、\*は有意水準 5%で有意差があることを示す。)

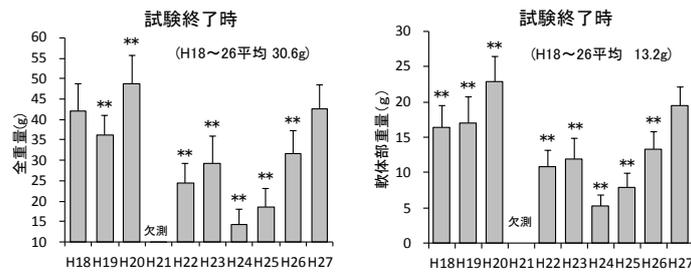


図 16. 年度別のホタテガイの全重量、軟体部重量の推移 (バーは標準偏差、H27 と比較して\*\*は有意水準 1%で有意差があることを示す。)

稚貝採取から試験終了までの時期別の生貝、死貝の殻長組成を図 17 に示す。稚貝分散時に採集された 30 個体の死貝のうち 5 個体を除いて、殻長が稚貝採取時と同じ大きさであったことから、稚貝採取直後にへい死したものと考えられた。

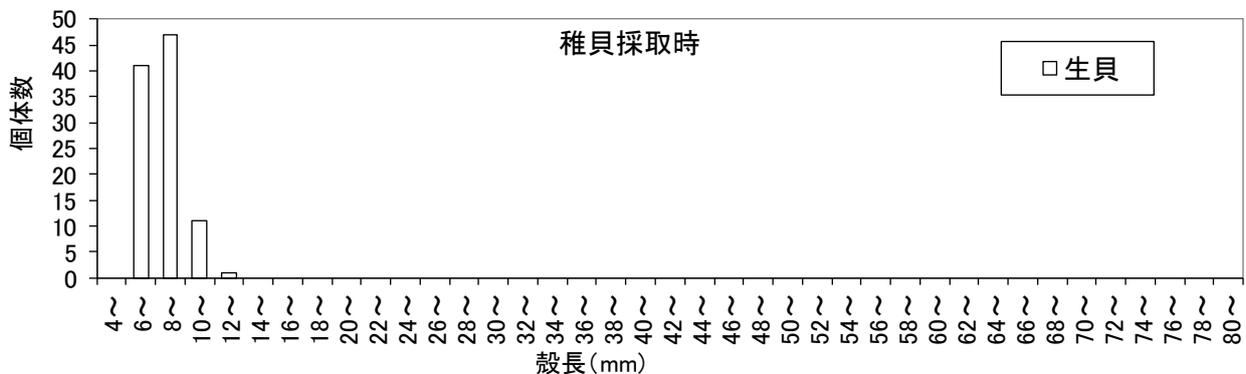


図 17-1. 時期別の生貝の殻長組成

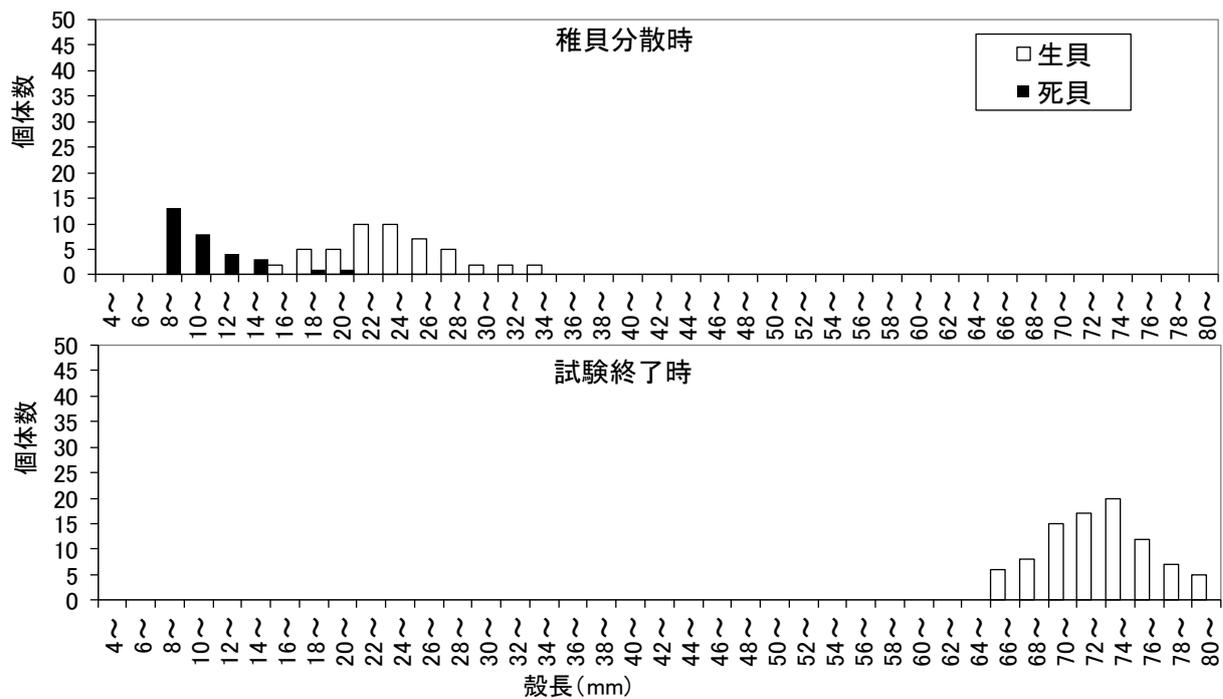


図 17-2. 時期別の生貝、死貝の殻長組成

養殖施設における水温の推移を図 18 に、平成 18 年以降の稚貝採取から稚貝分散の期間における日平均水温の水温別日数を図 19 に示す。平成 27 年度の水溫は、稚貝採取時の 21.4℃から 8 月 8 日の 26.2℃まで上昇した後、8 月 28 日まで 2～5℃の昇降を繰り返しながら下降し、その後はなだらかに下降した。水温別日数をみると、平成 27 年度の 23℃以上の日数は 9 日間で、昨年の 0 日より 23℃以上の日が多かったものの、平均値 22 日間よりは少なかった。

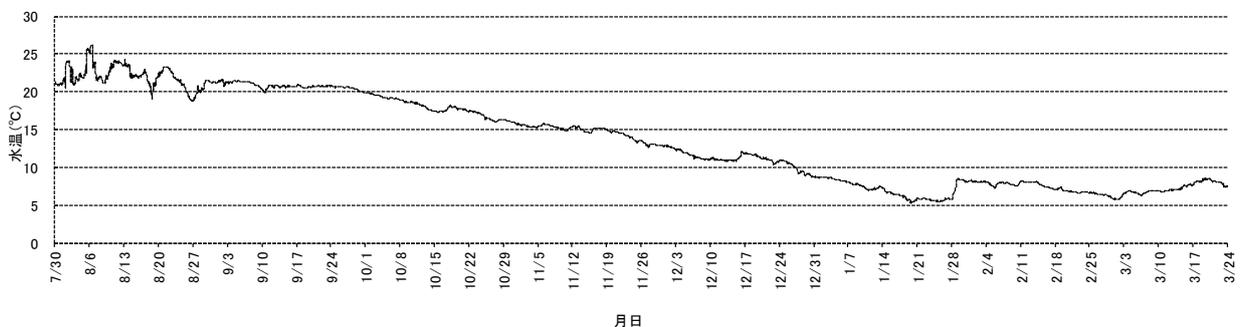


図 18. 養殖施設の水溫の推移

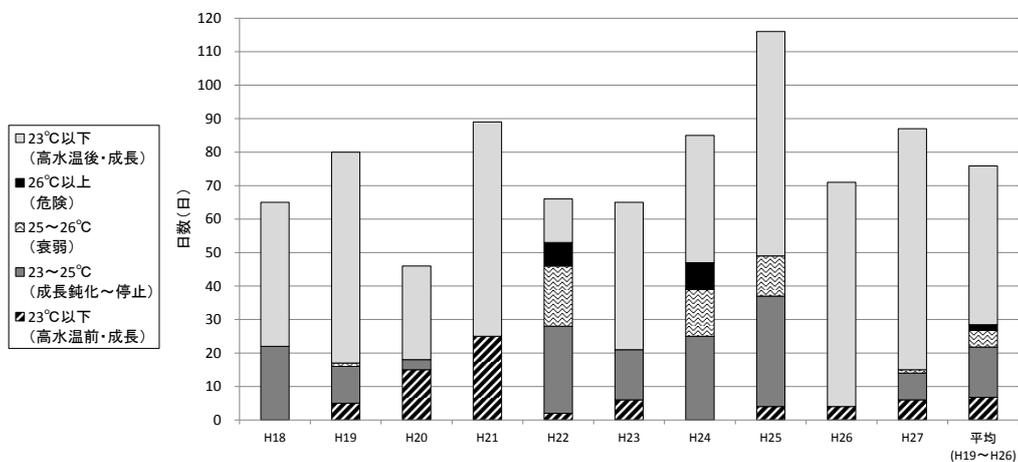


図 19. 日平均水温の水温別日数

養殖施設の幹綱水深の変化を図 20 に、幹綱の加速度を図 21 に示す。幹綱水深を約 8m に維持するために稚貝採取以降、平成 27 年 9 月 5 日、10 月 5 日、18 日、11 月 18 日、12 月 11 日、平成 28 年 1 月 9 日、31 日、3 月 11 日の計 8 回、玉付け作業が行われていた。

8~10 月に幹綱水深が頻繁に変化していたのは、小湊沖における有義波高（356 ページ参照）の、1.5m を超える波が観測された時期と一致していることから、シケに伴う吹送流の影響を強く受けて施設が大きく沈み込んでいたと推察されるが、加速度の値では施設が上下動している状況は確認できなかった。これは、流れによる施設の沈み込みが比較的ゆっくりだったためと考えられた。

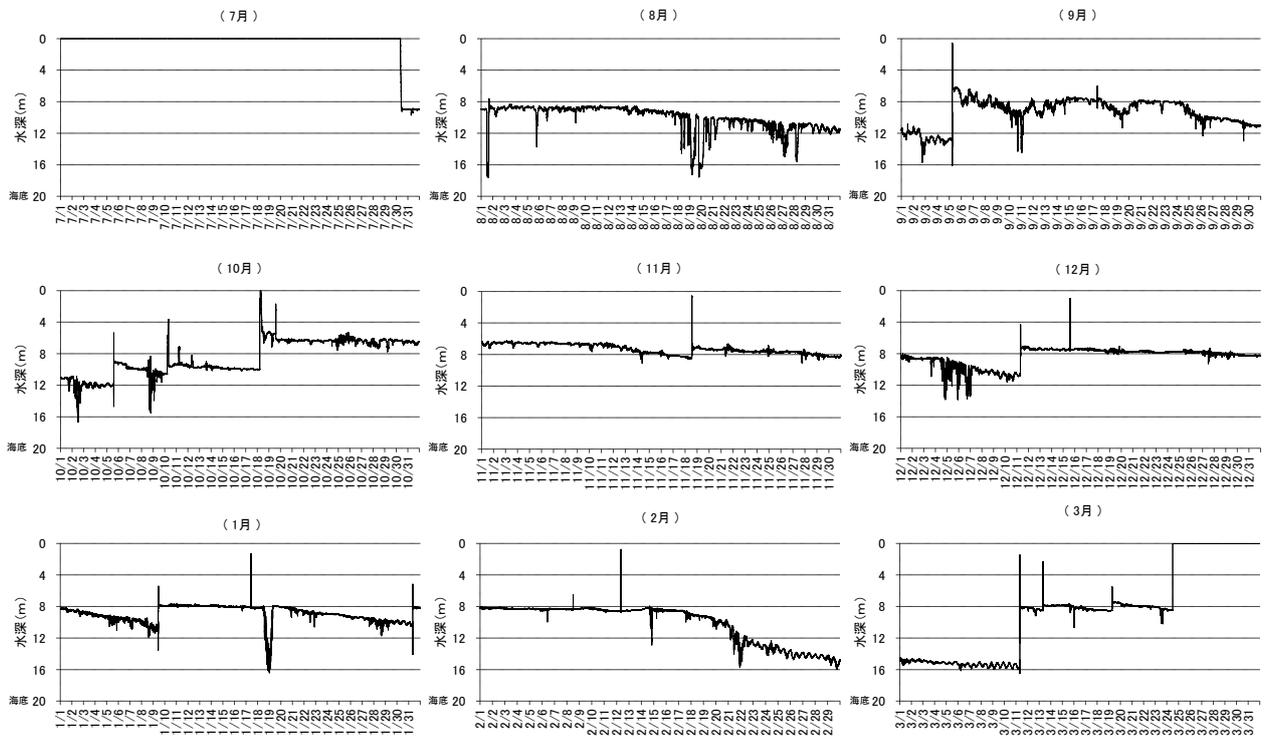


図 20. 養殖施設の幹綱水深の変化

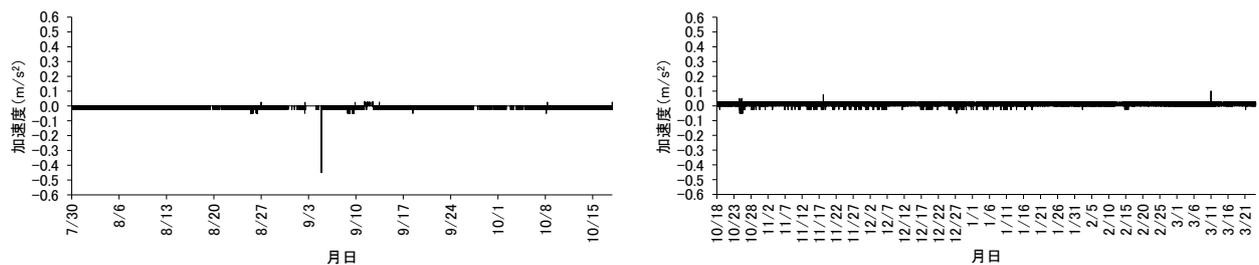


図 21. 養殖施設の幹綱の加速度

養殖施設の流向流速の推移を図 22 に、稚貝採取から稚貝分散の期間における最高流速と流速別出現数を表 10 に示す。全期間を通じて、0.1m/s 未満がほとんどであったが、稚貝採取から 8 月 22 日までは向きが頻繁に変化し、8 月 22 日から 9 月までは北向きの流れが、それ以降は南向きの流れが多かった。流速別出現数について過去のデータと比較すると、0.1m/s 以上の出現数は 222 回で平均値 200 回より多く、0.2 m/s 及び 0.3m/s 以上の出現数はいずれも 0 回と平均値それぞれ 11 回、1 回より少なかった。

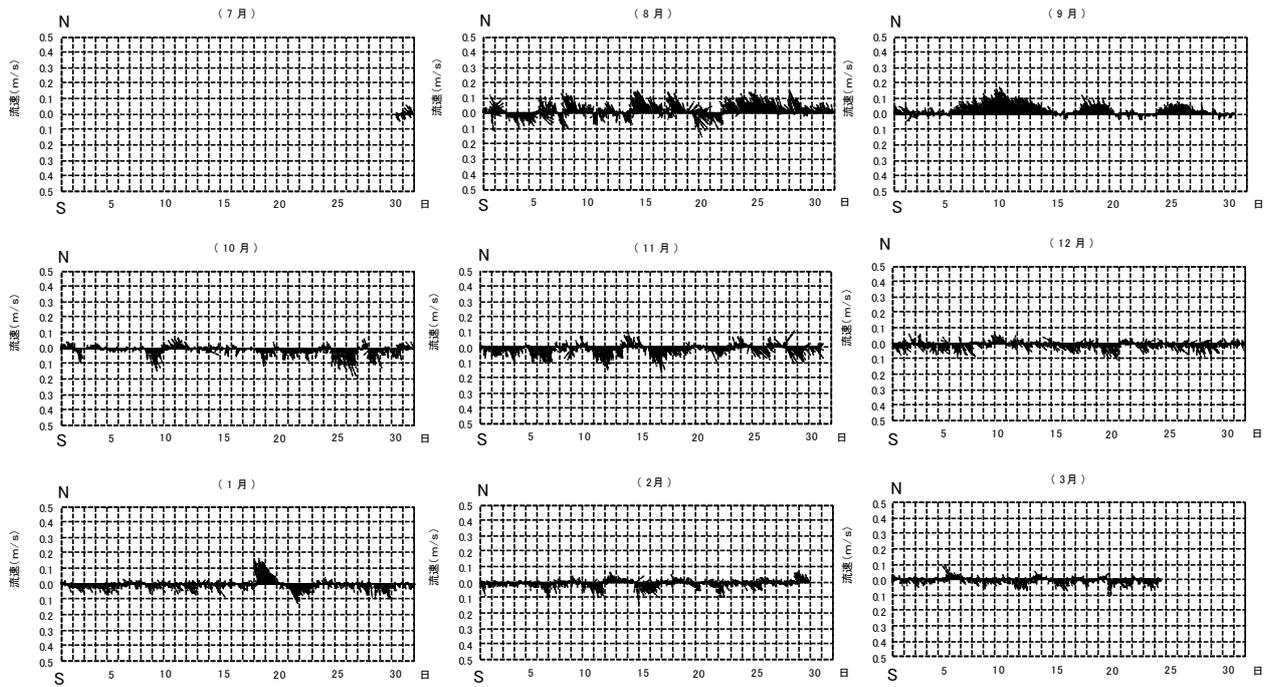


図 22. 養殖施設の流向流速の推移

表 10. 最高流速と流速別出現数

	H18	H19	H20 <sup>※</sup>	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H18-26平均
最高流速(m/s)	0.19	0.31	0.36	0.22	0.24	0.58	0.18	0.25	0.36	0.20	0.30
流速0.3m/s以上の出現数(回)	0	2	4	0	0	1	0	0	3	0	1
流速0.2m/s以上の出現数(回)	0	25	16	7	12	4	0	6	33	0	11
流速0.1m/s以上の出現数(回)	140	211	184	176	337	161	114	303	174	222	200
合計回数(回)	1,543	1,895	1,019	2,120	1,560	1,542	2,018	2,764	1,825	1,918	1,810

※H20 9/11~14は欠測

平成 27 年のへい死率は、稚貝採取時が平均値よりも高く、稚貝分散時と試験終了時が平均値より低かった。試験終了時にへい死が見られなかったのは、シケに伴う吹送流による施設の沈み込みがあったものの、施設が比較的安定していたためと推察された。また、試験終了時に成育が良かったのは、稚貝分散から試験終了までの期間が 153 日と平均値 146 日よりやや長い期間であったことと、図 23 に示すとおり、水温が平均値よりも高めに推移したことにより摂餌が活発だったことが要因と考えられた。

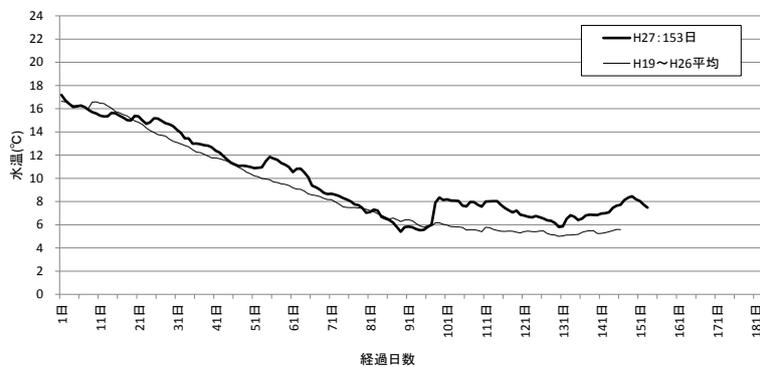


図 23. 稚貝分散から試験終了までの水温の推移

## 2. 貧酸素による影響調査

養殖作業の時期を表 11 に、漁場水深、幹綱水深及び溶存酸素計の設置水深を表 12 に、ホタテガイの測

定結果を表 13 に、生貝、死貝の殻長組成を図 24 に示す。両地区のホタテガイのへい死率は、3.2%、2.6%と低い値であった。

表 11. 養殖作業の時期

	稚貝採取	稚貝分散
むつ市大湊	H27.7.22	H27.10.22
むつ市浜奥内	H27.7.24	H27.11.17

表 12. 溶存酸素計の設置水深等

	漁場水深 (m)	幹綱水深 (m)	溶存酸素計の設置水深(m) (海底からの距離)	
			パールネット下段付近	海底付近
むつ市大湊	26	10.5	13.5 (海底から12.5m上)	(海底から15cm上)
むつ市浜奥内	28	23	26 (海底から2m上)	(海底から15cm上)

表 13. ホタテガイの測定結果

		生貝	死貝	へい死	生貝殻長(mm)	死貝殻長(mm)
		(枚)	(枚)	率(%)	平均値±SD	平均値±SD
むつ市大湊	上	199	10	4.8	28.7 ± 3.5	19.9 ± 4.8
	中	137	0	0.0	31.5 ± 3.2	-
	下	118	6	4.8	32.3 ± 3.8	19.4 ± 3.7
	平均	-	-	3.2	30.8	19.7
むつ市浜奥内	上	156	5	3.1	31.1 ± 3.7	10.8 ± 3.6
	中	119	4	3.3	34.6 ± 4.5	22.9 ± 7.0
	下	70	1	1.4	32.1 ± 4.0	23.1
	平均	-	-	2.6	32.6	18.9

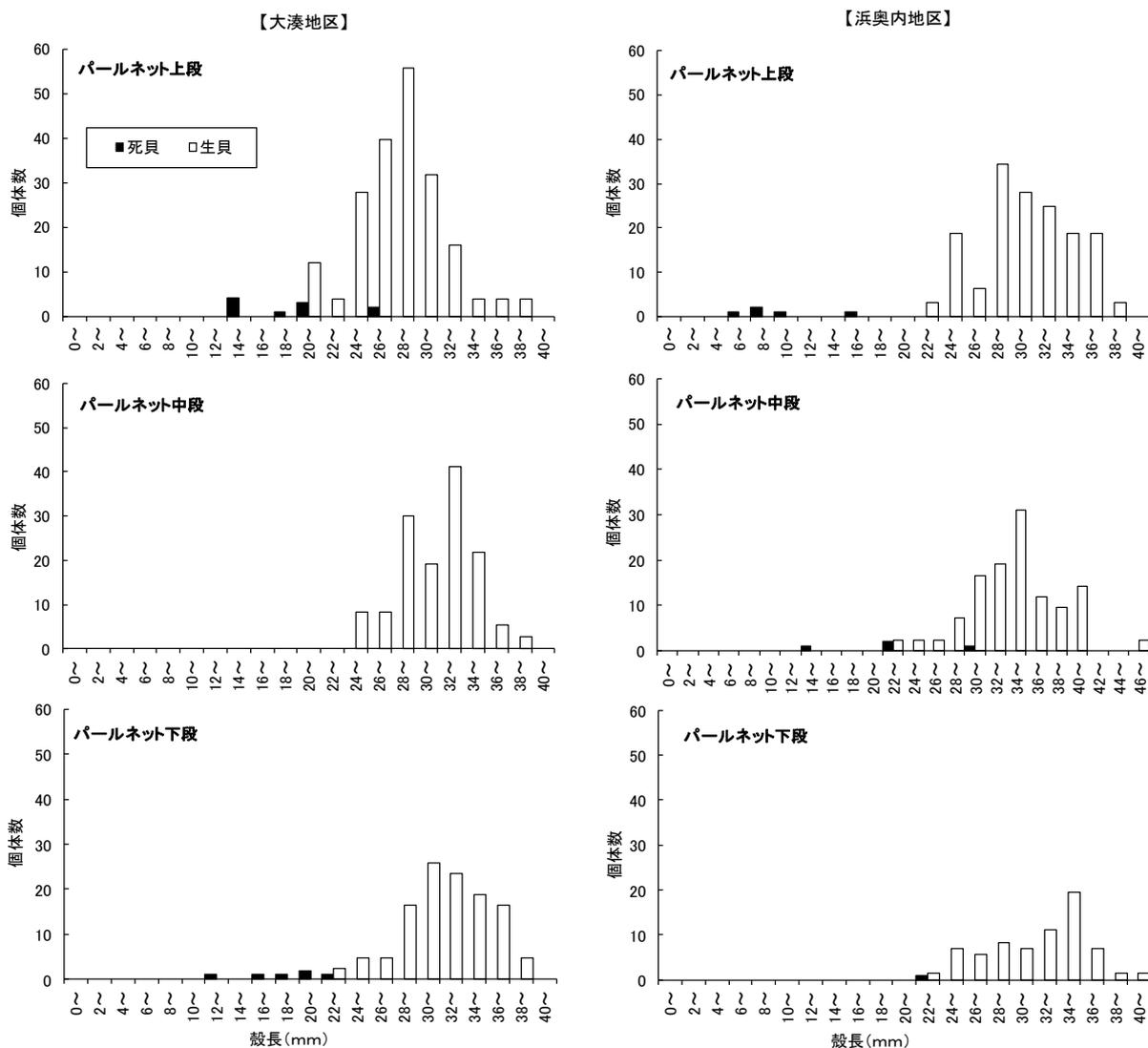


図 24. 生貝、死貝の殻長組成 (左：大湊地区、右：浜奥内地区)

養殖施設のパールネット下段付近及び海底から 15cm 付近における水温を図 25 に、日平均溶存酸素量を図 26 に示す。平成 26 年と同様に、大湊地区では、パールネット下段付近と海底付近の水温差が大きかったが、浜奥内地区では、ほぼ一致していた。これは、2 個の溶存酸素計の水深差によるものと考えられた。溶存酸素量は、大湊地区では平成 26 年度と同様にパールネット下段付近で 8~9mg/l と高い日が続いたが、海底付近では 8 月下旬から 9 月下旬にかけて 3~9 mg/l の間で大きく変化していた。これは、大湊地区のパールネット下段付近の溶存酸素計が海底から 12.5m の位置にあったためと考えられた。浜奥内地区では、平成 26 年度はパールネット下段付近で高く、海底付近で水産用水基準の 4.3 mg/l を下回る日が続いたが、平成 27 年度はパールネット下段付近と海底付近の両方が 8 月下旬から 9 月上旬にかけて 2~9 mg/l の間で大きく変化していた。

平成 23~27 年の海底の溶存酸素量<sup>1)~4)</sup>の最低値は、浜奥内で 2.4~5.3mg/l、大湊で 3.1~3.3mg/l であり、稚貝が急死するレベル<sup>5)~6)</sup>ではなかった。平成 22 年の異常高水温時のデータは収集できていないことから、高水温時に養殖籠を海底ぎりぎりまで沈める際の貧酸素リスクは依然として残るが、平成 23~25 年の結果<sup>7)</sup>を見ると、養殖籠を沈めた方がへい死率を軽減できる可能性が高いと考えられた。

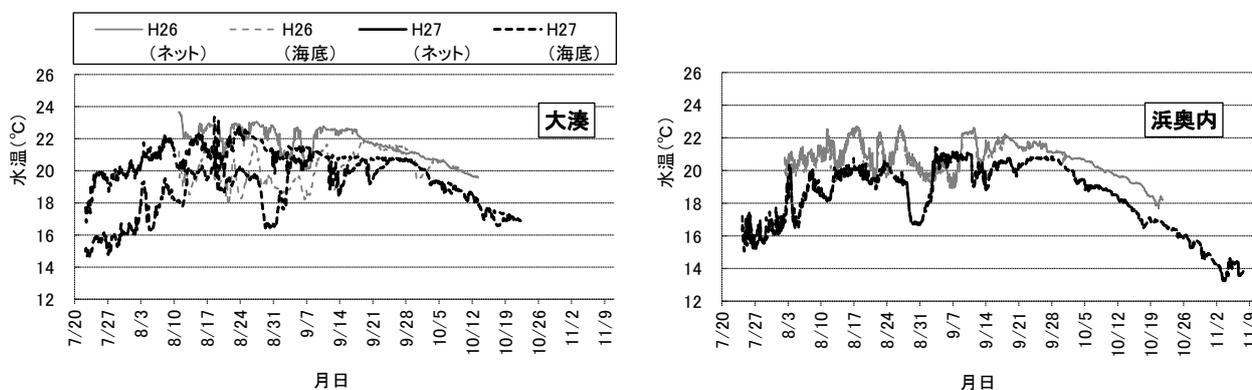


図 25. 水温の推移

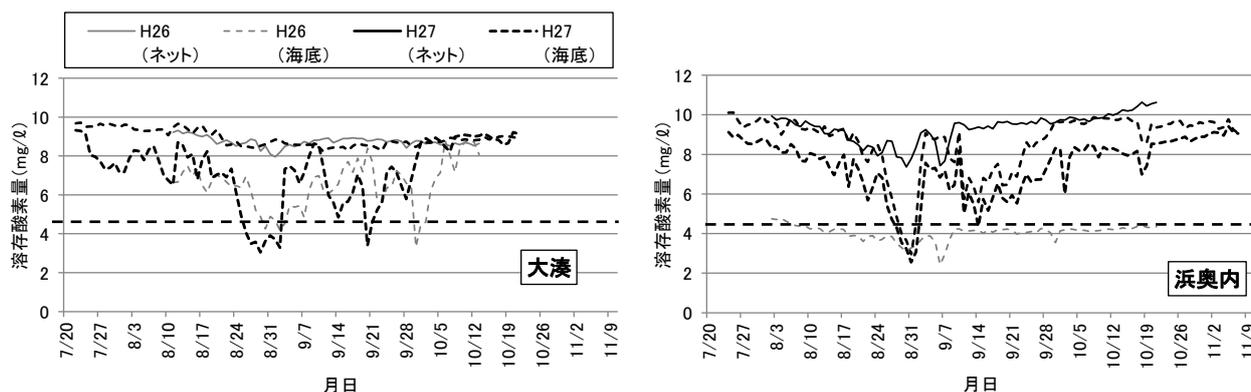


図 26. 日平均溶存酸素量の推移（破線の直線は水産用水基準 4.3mg/l、H26 大湊海底付近と H26 浜奥内パールネット下段付近は参考値）

## 謝 辞

養殖ホタテガイと漁場環境のモニタリング及び貧酸素による影響調査につきまして、調査にご協力いただいた蓬田村地区、平内町小湊地区、むつ市大湊地区、浜奥内地区の各漁業者並びに漁業協同組合の職員の皆様にお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要（2016）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 26 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 331-348.
- 2) 田中淳也（2013）ほたてがい異常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.
- 3) 扇田いずみ（2014）ほたてがい高水温被害回避対策事業（養殖漁場内の環境調査）. 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, 225-234.
- 4) 扇田いずみ（2015）ほたてがい高水温被害回避対策事業（養殖漁場内の環境調査）. 平成 25 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 213-219.
- 5) 瀬戸雅文・金子和恵・新居久也（2004）能取湖に形成される貧酸素水塊がホタテガイに及ぼす影響. 海洋開発論文集, 第 20 巻, 1049-1054.
- 6) 武田忠明・櫻井泉・前川公彦・埜澤尚範（2014）環境ストレス負荷によるホタテガイ *Mizuhopecten yessoensis* の活力低下と閉殻筋 ATP およびアルギニンリン酸含有量の関係. 日本水産学会誌, 80, 753-760.
- 7) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要（2015）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 25 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 350-371.