

ほたてがい冬季へい死対策事業

森 恭子・吉田 達・伊藤欣吾・伊藤良博・小谷健二・川村 要

目 的

平成 25 年 2～3 月にかけて陸奥湾のホタテガイが大量にへい死した。冬季へい死の多発地区において、これまでに養殖施設内でホタテガイの成育状況と波浪や流れなどの環境要因を同時かつ集中的に観測した事例はなく、はっきりとしたへい死要因は分かっていない。そこで、漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ成育状況の集中的モニタリングによるへい死要因の解明と対策に取り組んだ。

また、冬季の性成熟期で生理的に不安定な状態のホタテガイが、波浪・潮流によるぶつかり合いや低水温による摂餌不良などの環境にさらされた場合の影響を把握するため、室内試験による生理的なへい死メカニズムを解明するとともに、へい死軽減技術実証試験を実施した。

材料と方法

1. 漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ成育状況の集中的モニタリング

調査は平成 25 年冬季に養殖貝が大量へい死した青森市後潟、奥内、油川の 3 地区（図 1）において、後潟地区では後潟、六枚橋と左堰、奥内地区では清水、前田と飛鳥、油川地区では油川のそれぞれ陸側と沖側にある平成 26 年産稚貝の養殖施設各 1 か統（表 1）を対象に実施した。

各養殖施設には、平成 26 年 10～11 月の稚貝分散時に目合 3 分、10 段のパールネットへ 1 段当り稚貝を 15 枚、40 枚収容した試験区（以下、「15 枚入れ」、「40 枚入れ」と称す）を垂下するとともに、養殖施設の構造を聞き取りした。

稚貝分散時は、分散前のパールネット中段 1 段分について稚貝の生貝数と死貝数を計測してへい死率を求めるとともに、生貝 50 個体と全ての死貝について殻長を測定した。試験終了時は、養殖施設に垂下したパールネット 1 連を上段（1～3 段）、中段（4～7 段）、下段（8～10 段）に区分し、各段において収容した稚貝の生貝数と死貝数を計測してへい死率を求めるとともに、生貝 30 個体について殻長、全重量、軟体部重量を測定し、異常貝数を計測して異常貝率を求めた。また、死貝の殻長を測定してへい死時期を推定した。なお、試験終了時は 15 枚入れ、40 枚入れのほかに、同じ養殖施設に垂下していた漁業者のパールネット（任意枚数入れ）についても同様に測定を行った。

また、平成 26 年 12 月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 INFINITY-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 DEFI-D10）及びメモリー式加速度計（Onset Computer 社製 HOB0 ペンダント G Logger）を取り付け、1 時間間隔の流向、流速及び水温、1 分間隔の幹綱水深、5 分間隔の幹綱の鉛直方向の加速度を測定した。

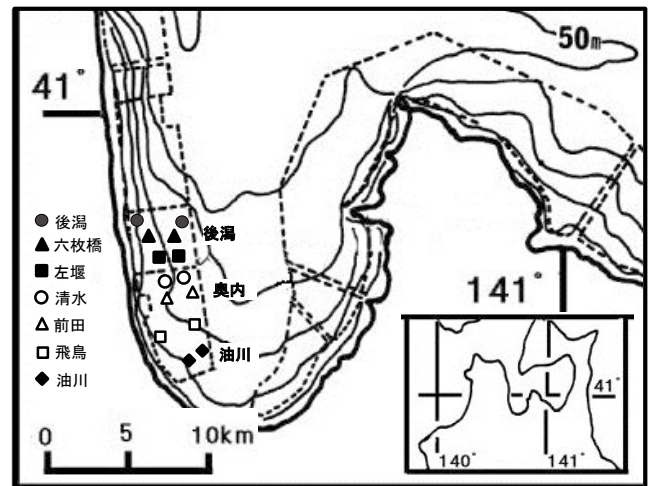


図1. モニタリング地点図

表 1. モニタリング地点の漁場水深と養殖施設の幹綱水深

地区	施設の場所	漁場水深	幹綱水深
後潟	後潟 陸側	20m	8m
	後潟 沖側	36m	12m
	六枚橋 陸側	26m	10m
	六枚橋 沖側	36m	12m
	左堰 陸側	30m	12m
	左堰 沖側	35m	12m
奥内	清水 陸側	30m	20m
	清水 沖側	35m	20m
	前田 陸側	28m	12m
	前田 沖側	36m	12m
	飛鳥 陸側	18m	9m
	飛鳥 沖側	30m	12m
油川	陸側	23m	10m
	沖側	28m	12m

2. 室内試験による生理的なへい死メカニズムの解明

試験は、平成 27 年 2 月 5 日から 3 月 9 日にかけて当研究所の室内において、水温、給餌の有無、生殖巣の発達度合いによって図 2 に示すような試験区を設定して行った。なお、10℃の水温帯における成熟済の試験区については、水温の刺激によりホタテガイが産卵し、他の試験区と比較することが困難になる可能性が高いため、試験対象から除外した。

材料は、久栗坂実験漁場の養殖施設において、室内試験開始時に生殖巣が未成熟の個体としてパールネット 1 段当り 100 個体、成熟中の個体として 1 段当り 15 個体、成熟済の個体として 1 段当り 5 個体の稚貝を収容した 10 段/連のパールネットを、未成熟用は 1 連、成熟中用は 4 連、成熟済用は 8 連作成し、平成 26 年 9 月 29 日から平成 27 年 2 月 5 日まで育成した稚貝を回収して用いた。回収した稚貝は、パールネットから取り出し、1 試験区当り 50 個体を選別して 250ℓ FRP 水槽に収容したほか、30 個体を測定用に供した。

各試験区の海水は、2℃、5℃、10℃に調温して 0.25 m³/時の掛け流しで給水し、試験期間中は、各試験区について自記水温計 (Onset Computer 社、HOB0 Water Temp Pro v2) で 1 時間毎の水温を記録した。

餌は、珪藻の 1 種 *Chaetoceros gracilis* の市販濃縮液 (ヤンマー株式会社、ヤンマー生物餌料キートセロス) を用いた。給餌は、クロロフィル a が 2 μg/ℓ以上の濃度になるように、水温毎の餌料タンク (200ℓパンライト水槽) へ表 2 で示した量の市販濃縮液を投入し、ろ過海水で 180ℓに希釈して与えた (図 2)。給餌量は、水槽毎に定量ポンプ (EYELA 社、RP1000)

表 2. 3つの給餌区の設定条件

試験区	市販濃縮液の投入量	希釈液の給餌量
2℃	3,600ml	62.5ml/分
5℃	3,600ml	62.5ml/分
10℃	2,400ml	62.5ml/分

を用いて表 2 に示した分量で与えた。試験期間中に餌の希釈液がなくなならないように、各餌料タンクで 2 日に 1 回餌の希釈液を作成した。また、給餌区の各水槽の給餌側と排水側から試験期間中に 3 回海水を採水し、ガラス繊維ろ紙 (ワットマン GF/F フィルター、孔径 0.7 μm) を用いて試水各 1ℓをろ過した後、フィルターの残存物をアセトンで抽出し、蛍光法によりクロロフィル a 濃度を測定した。

ホタテガイの測定については、試験開始時と試験終了時の生貝 30 個体の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量を測定した。

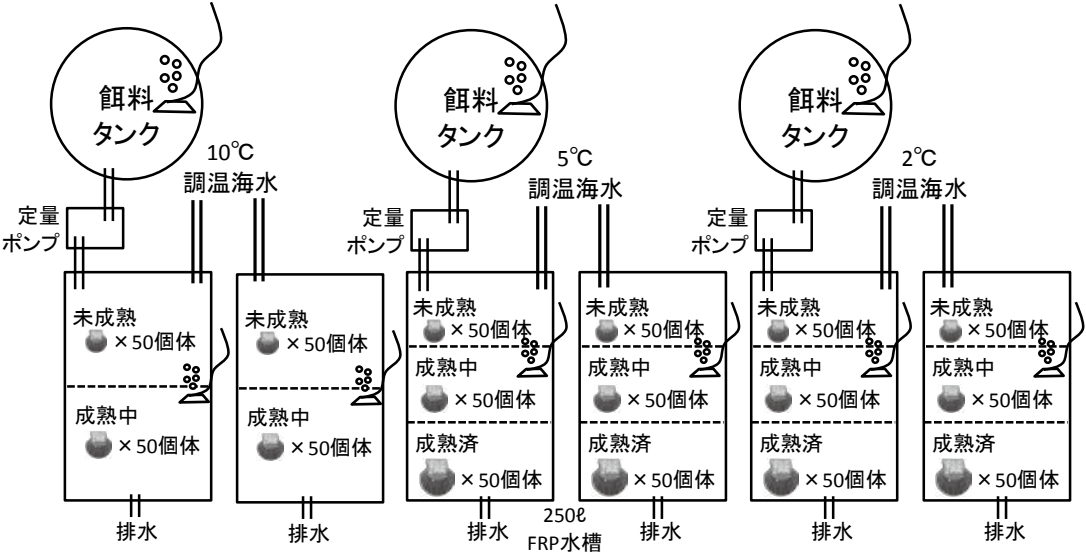


図 2. 試験区のイメージ図

3. へい死軽減技術実証試験

平成 25 年 10 月 7 日に低密度区としてパールネット 1 段当り 15 枚と高密度区として 1 段当り 40 枚の稚貝を収容した目合 3 分、10 段/連のパールネットを各 4 連ずつ準備し、それぞれ最下段の鉄枠を太枠に代えたもの（下 1 段太枠区）、最下段に鉛 100 匁を付したものの（鉛 100 匁区）、最下段にコンクリート錘 1,650g を付したものの（コンクリート錘区）、錘を付さないもの（対照区）を作成して久栗坂実験漁場（図 3）の養殖施設の 2 つの調整玉と調整玉の間部部の幹綱に垂下した（図 4）。また、高密度区と低密度区の間部の幹綱と低密度区のパールネットの 9 段目と 10 段目の間にメモリー式加速度計（Onset Computer 社、HOB0 ペンダント G Logger）を設置（図 4）し、5 分間隔で鉛直方向の加速度を記録した。

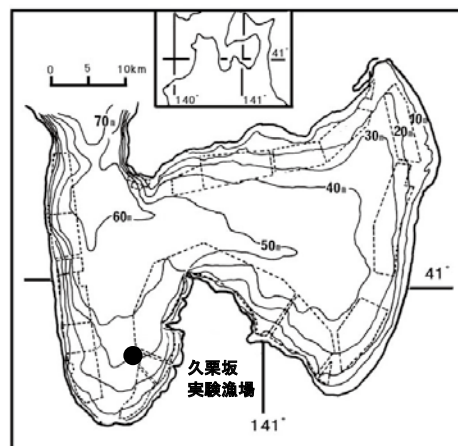


図 3. 試験施設の位置図

平成 27 年 4 月 9 日にパールネットを回収してパールネット 1 連を上段（1～3 段）、中段（4～7 段）、下段（8～10 段）に区分し、各段において収容した稚貝の生貝数と死貝数を計測してへい死率を求めるとともに、生貝 30 個体の殻長、全重量、軟体部重量を測定し、異常貝数を計測して異常貝率を求めた。

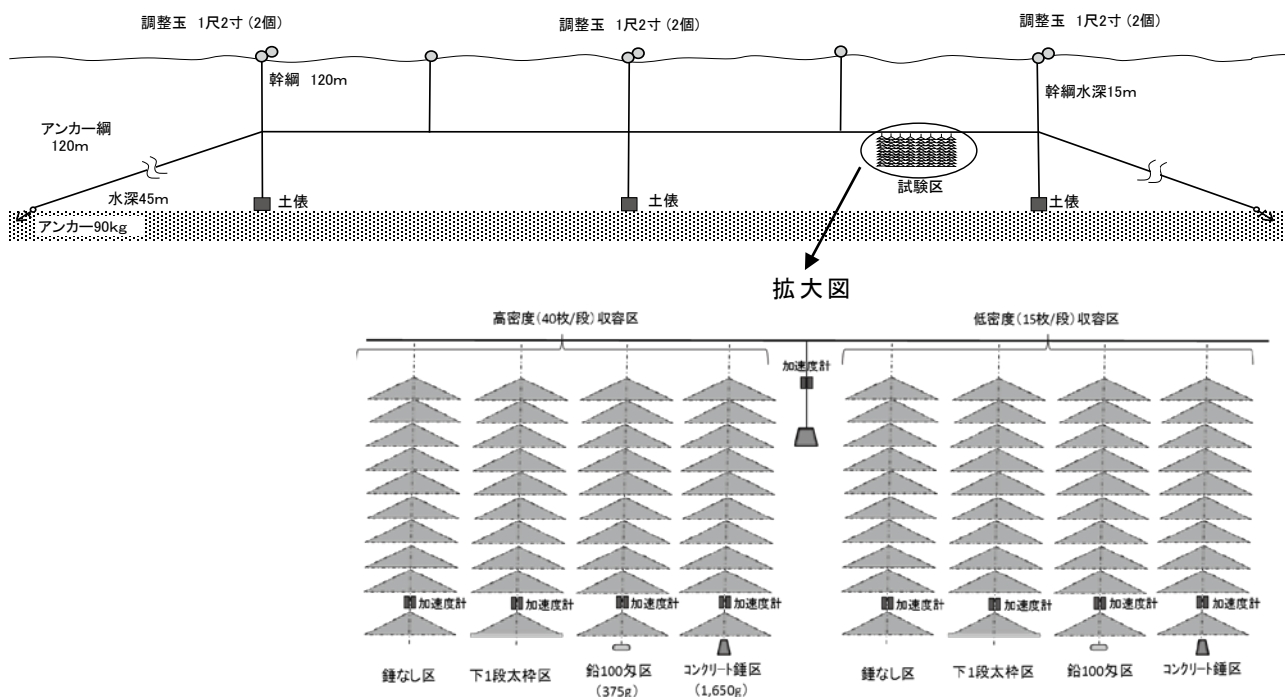


図 4. 養殖施設の構造

結果と考察

1. 漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ育成状況の集中的モニタリング

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表 3 に、養殖施設の基本構造を表 4 に、養殖施設の構造等を表 5 に、稚貝分散時及び試験終了時のホタテガイの測定結果を表 6～9 に、稚貝分散時のへい死率及び平均殻長を付図 1-1、1-2 に、試験終了時のへい死率、異常貝率、殻長、全重量、軟体部重量を付図 2-1～2-5 に示す。

表 3. 養殖作業及びホタテガイの測定時期 表 4. 養殖施設の基本構造

地区	施設の場所	稚貝分散	試験終了
後潟	後潟 陸側	H26.10.11	H27.3.18
	後潟 沖側	H26.10.23	H27.3.18
	六枚橋 陸側	H26.10.23	H27.3.18
	六枚橋 沖側	H26.10.11	H27.3.18
	左堰 陸側	H26.11.2	H27.3.18
	左堰 沖側	H26.11.12	H27.3.18
奥内	清水 陸側	H26.10.16	H27.3.23
	清水 沖側	H26.10.16	H27.3.23
	前田 陸側	H26.10.19	H27.3.23
	前田 沖側	H26.10.19	H27.3.23
	飛鳥 陸側	H26.10.18	H27.3.23
	飛鳥 沖側	H26.10.18	H27.3.23
油川	陸側	H26.10.28	H27.3.16
	沖側	H26.10.28	H27.3.16

地区	施設の場所	漁場水深	幹綱水深	幹綱長	錨綱長	アンカー		土俵
						重量	個数	
後潟	後潟 陸側	20m	8m	180m	60m	120kg	両側片爪1丁	無
	後潟 沖側	36m	12m	200m	80m	130kg	両側片爪1丁	無
	六枚橋 陸側	26m	10m	200m	50m	100kg	両側片爪1丁	無
	六枚橋 沖側	36m	12m	200m	100m	120kg	両側片爪1丁	無
	左堰 陸側	30m	12m	200m	100m	100kg	両側片爪1丁	60kg、4ヶ所
	左堰 沖側	35m	12m	200m	100m	100kg	両側片爪1丁	60kg、4ヶ所
奥内	清水 陸側	30m	20m	150m	100m	70kg	両側片爪1丁	無
	清水 沖側	35m	20m	150m	100m	70kg	両側片爪1丁	無
	前田 陸側	28m	12m	150m	100m	70kg	両側片爪1丁	無
	前田 沖側	36m	12m	150m	100m	70kg	両側片爪1丁	無
	飛鳥 陸側	18m	9m	150m	100m	70kg	両側片爪1丁	無
	飛鳥 沖側	30m	12m	150m	100m	70kg	両側片爪1丁	無
油川	陸側	23m	10m	200m	75m	150kg	両側片爪1丁	70kg、20ヶ所
	沖側	28m	12m	200m	75m	150kg	両側片爪1丁	70kg、20ヶ所

表 5. 養殖施設の構造等

地区	施設の場所	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	
後潟	後潟 陸側	ABS製1尺2寸*2	1個	6ヶ所	ABS製1尺2寸	30個	3分	10段	500連	20個体/段	鉛100匁	ちょうちんの目合4分
	後潟 沖側	ABS製1尺2寸	1個	6ヶ所	ABS製1尺2寸	30個	3分	10段	500連	25個体/段	鉛50匁	選別機の目合5分
	六枚橋 陸側	ABS製1尺2寸	1個	6ヶ所	ABS製1尺2寸	30個	2分	10段	500連	25個体/段	鉛50匁	選別機の目合5分
	六枚橋 沖側	ABS製1尺2寸*2	1個	6ヶ所	ABS製1尺2寸	30個	3分	10段	500連	20個体/段	鉛100匁	ちょうちんの目合4分
	左堰 陸側	ABS製1尺*1	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	35個	3分	10段	500連	23個体/段	鉛100匁	選別機の目合6分
	左堰 沖側	ABS製1尺*1	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	35個	3分	10段	500連	23個体/段	鉛100匁	選別機の目合6分
奥内	清水 陸側	ABS製1尺	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	50個	3分	8段	400連	20個体/段	鉛100匁	選別機の目合5分5厘
	清水 沖側	ABS製1尺	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	50個	3分	8段	400連	20個体/段	鉛100匁	選別機の目合5分5厘
	前田 陸側	ABS製1尺	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	15個	3分	8段	350連	20個体/段	鉛50匁	選別機の目合5分
	前田 沖側	ABS製1尺	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	15個	3分	8段	350連	20個体/段	鉛50匁	選別機の目合5分
	飛鳥 陸側	ABS製1尺	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	23個	3分	10段	400連	20個体/段	鉛75匁	選別機の目合5分5厘
	飛鳥 沖側	ABS製1尺	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	23個	3分	10段	400連	20個体/段	鉛75匁	選別機の目合5分5厘
油川	陸側	ABS製1尺2寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	60個	3分	10段	1000連	20個体/段	鉛50匁	選別機の目合6分
	沖側	ABS製1尺2寸	1個	4ヶ所	ABS製1尺2寸	60個	3分	10段	1000連	20個体/段	鉛50匁	選別機の目合6分

*1 両端はABS製1尺2寸
*2 両端はABS製1尺3寸

(1) へい死率

稚貝分散時のへい死率は、六枚橋陸側で 24.7%と最も高く、次いで後潟沖側で 23.8%、油川沖側で 11.8%であり、その他の施設では 10%未満と低い値であった。

試験終了時における 15 枚入りのへい死率は、油川陸側で 21.1%、清水陸側で 20.1%と高く、前田沖側と飛鳥沖側でそれぞれ 5.9%、7.7%と低かった。その他の地区は 9.3%～14.3%と 10%前後であった。各地点の陸側と沖側のへい死率を比較すると、後潟と六枚橋では沖側が陸側よりも高く、それより南に位置する左堰から油川では陸側が高かった（付図 2-1-2）。各地点の収容密度別のへい死率を

比較すると、14 地点中 10 地点では 15 枚入れよりも 40 枚入れの方が高く、六枚橋沖側、左堰陸側、清水陸側、油川陸側では 15 枚入れの方が高かった（付図 2-1-3）。各地点の 15 枚入りの段別のへい死率を比較すると、後潟沖側や清水沖側、油川沖側のようにへい死率に大きな差がない地点もあれば、後潟陸側や六枚橋陸側及び沖側、前田陸側及び沖側、油川陸側のように、他の段と比べて 10%を超えるへい死率の差が見られる地点もあった（付図 2-1-4）。

表 6. 稚貝分散時のホタテガイの測定結果

地区	施設の場所	生貝(枚)	死貝(枚)	へい死率(%)	殻長(mm)
後潟	後潟 陸側	68	6	8.1	27.6 ± 2.2
	後潟 沖側	170	53	23.8	21.4 ± 2.2
	六枚橋 陸側	165	54	24.7	20.0 ± 2.3
	六枚橋 沖側	90	9	9.1	27.0 ± 3.1
	左堰 陸側	184	11	5.6	22.7 ± 2.2
	左堰 沖側	80	8	9.1	25.7 ± 2.5
奥内	清水 陸側	107	1	0.9	22.9 ± 2.0
	清水 沖側	116	4	3.3	22.9 ± 2.3
	前田 陸側	100	6	5.7	24.8 ± 2.4
	前田 沖側	109	1	0.9	24.6 ± 1.9
	飛鳥 陸側	123	13	9.6	22.5 ± 2.3
	飛鳥 沖側	99	9	8.3	23.3 ± 2.7
油川	陸側	162	17	9.5	23.4 ± 2.6
	沖側	172	23	11.8	21.8 ± 2.5

(2) 成長

稚貝分散時の平均殻長は、後潟陸側で 27.6 mm と最も大きく、次いで六枚橋沖側で 27.0 mm、左堰沖側で 25.7 mm であり、六枚橋陸側で 20.0 mm と最も小さく、次いで、後潟沖側で 21.4 mm、油川沖側で 21.8 mm であった。稚貝分散時は、パールネットに入れるホタテガイの枚数が少ない方が成長が良かった。

試験終了時の平均殻長は、前田陸側で 75.9 mm と最も大きく、次いで、六枚橋沖側で 72.8 mm、後潟陸側で 71.6 mm、清水陸側で 71.1 mm、六枚橋陸側及び前田沖側で 71.0 mm と成長が良く、同施設では全重量及び軟体部重量もほぼ同様に成長が良かった。また、油川は陸側、沖側で 61.6 mm、61.1 mm と小さく、同施設では全重量及び軟体部重量もほぼ同様に成長が悪かった（付図 2-3-2）。なお、すべての施設において 40 枚入れよりも 15 枚入れの方が成長が良かった。

(3) 殻長組成

稚貝分散時及び試験終了時の殻長組成を養殖施設毎に付図 3-1～3-14 に示す。ほとんどの施設において、稚貝分散時と同じ殻長～5 mm 程度成長した死貝と、試験終了時よりも 5 mm 程度小さい殻長～試験終了時と同じ殻長の死貝が多く見られたことから、へい死は稚貝分散直後と、試験終了付近に集中していたと考えられるが、左堰陸側や前田沖側の 40 枚入れのように期間の中頃にへい死が見られるような試験区もあった。なお、後潟陸側と六枚橋沖側の任意枚数入れには、12～20 mm の死貝が多く見られたが、今年度の稚貝分散時の生貝の殻長組成は 20～32 mm の間にあることから、昨年使用したパールネットに残っていた貝殻である可能性が高いと考えられた。

(4) 幹綱水深の変化

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の幹綱水深の変化を地区毎に付図 4-1～4-3 に示す。なお、3 月 6 日から 23 日までの清水陸側と、3 月 6 日から 17 日までの油川沖側は測器のバッテリー切れで欠測となっている。ほとんどの施設では、ホタテガイや付着生物の成長で施設が徐々に沈んでいるのが確認されたが、稚貝の分散時期、パールネットの連数・段数・収容枚数の違いにより、その変化は異なっていた。また、油川では幹綱水深がほとんど変化していないが、これは土俵を 20 ヶ所、底玉を多めに付けているためと考えられた。3 月 10 日から 13 日にかけて、後潟陸側と欠測の 2 施設を除くすべての施設において、短時間で 4～10 m 沈み込んで戻る変化が繰り返されていた。また、前田陸側のみ、2 月 13 日から 27 日にかけて、短時間で 10 m 前後沈み込んで戻る変化が繰り返されていた。

(5) 幹綱の加速度

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の幹綱の加速度を地区毎に付図 5-1～5-3 に、加速度の分散を付図 5-4 に示す。六枚橋陸側、清水陸側及び沖側で 0.1 m/s^2 を超える加速度が頻繁に観測されたが、それ以外の施設では $-0.1 \sim 0.1 \text{ m/s}^2$ の範囲におさまっていた。加速度の分散をみると、清水沖側で 0.000869 と最も大きく、次いで清水陸側の 0.000454、六枚橋陸側の 0.000204 となっていた。

(6) 流向・流速

稚貝分散時から試験終了時までの期間における養殖施設の流向流速の推移を地区毎に付図 6-1～6-3 に示す。後潟沖側において、12 月 31 日～翌 1 月 27 日の期間に流速 $0.1 \sim 0.25 \text{ m/s}$ の南向きの流れが観測されたが、それ以外の施設及び期間では 0.1 m/s 以下の流れがほとんどであった。なお、左堰陸側は、他の施設と逆向きの流れとなっているが、地理的な要因か、測器異常かを検証する必要がある。

表 7. 後潟地区における試験終了時のホタテガイの測定結果

地区	施設の 場所	入枚数 (枚/段)		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 指数
後潟	後潟 陸側	15枚	上	42	3	0	6.7	0.0	71.7 ± 3.7	36.2 ± 6.2	15.0 ± 3.1	41.3
			中	48	12	0	20.0	0.0	72.1 ± 4.4	36.1 ± 5.8	15.2 ± 3.0	42.2
			下	40	5	0	11.1	0.0	70.9 ± 4.1	33.2 ± 6.1	14.6 ± 4.3	44.1
			平均	-	-	-	13.3	0.0	71.6	35.2	14.9	42.5
		40枚	上	101	18	0	15.1	0.0	64.5 ± 3.9	27.0 ± 4.4	10.9 ± 1.8	40.4
			中	134	26	0	16.3	0.0	63.9 ± 3.5	24.8 ± 4.2	9.9 ± 2.1	40.0
			下	116	10	0	7.9	0.0	65.5 ± 4.1	26.2 ± 4.7	10.5 ± 2.0	40.3
			平均	-	-	-	13.3	0.0	64.7	26.0	10.5	40.2
		任意 (35)	上	67	47	0	41.2	0.0	65.1 ± 5.3	25.3 ± 5.6	10.5 ± 2.4	41.7
			中	99	49	0	33.1	0.0	64.9 ± 3.8	26.1 ± 4.7	10.9 ± 2.1	41.9
			下	61	26	0	29.9	0.0	65.3 ± 4.6	26.0 ± 4.9	11.1 ± 2.4	42.7
			平均	-	-	-	35.0	0.0	65.1	25.8	10.9	42.1
	後潟 沖側	15枚	上	37	7	0	15.9	0.0	66.9 ± 3.4	29.5 ± 4.0	12.5 ± 2.0	42.4
			中	52	8	1	13.3	3.3	66.8 ± 4.7	28.5 ± 5.6	12.3 ± 2.7	43.3
			下	37	6	0	14.0	0.0	66.2 ± 4.0	26.7 ± 5.0	11.7 ± 1.8	43.9
			平均	-	-	-	14.3	1.1	66.6	28.2	12.2	43.2
		40枚	上	97	19	0	16.4	0.0	58.2 ± 4.5	19.4 ± 4.2	8.0 ± 2.0	41.1
			中	133	24	1	15.3	3.3	62.5 ± 4.7	22.6 ± 4.9	9.6 ± 2.5	42.5
			下	75	21	0	21.9	0.0	62.6 ± 4.5	24.7 ± 4.9	10.8 ± 2.2	43.8
			平均	-	-	-	17.3	1.1	61.1	22.3	9.5	42.6
		任意 (30)	上	58	18	1	23.7	3.3	69.5 ± 5.1	32.3 ± 5.7	13.8 ± 2.5	42.8
			中	106	17	0	13.8	0.0	66.3 ± 3.1	28.0 ± 3.3	11.9 ± 1.8	42.4
			下	81	16	1	16.5	3.3	64.3 ± 4.4	27.5 ± 4.9	12.2 ± 2.5	44.2
			平均	-	-	-	17.2	2.2	66.7	29.3	12.6	43.1
六枚橋	陸側	15枚	上	39	6	0	13.3	0.0	70.6 ± 4.3	35.8 ± 6.3	15.9 ± 3.0	44.6
			中	54	1	0	1.8	0.0	72.0 ± 4.9	37.7 ± 7.4	17.4 ± 3.7	46.3
			下	37	8	1	17.8	3.3	70.3 ± 4.4	36.0 ± 6.1	15.6 ± 2.6	43.5
			平均	-	-	-	10.3	1.1	71.0	36.5	16.3	44.8
		40枚	上	111	5	0	4.3	0.0	63.9 ± 4.1	26.0 ± 4.7	11.2 ± 2.3	43.2
			中	125	26	0	17.2	0.0	67.1 ± 2.9	29.1 ± 3.8	12.8 ± 1.8	43.9
			下	104	11	0	9.6	0.0	65.3 ± 3.5	27.1 ± 3.6	11.8 ± 1.7	43.6
			平均	-	-	-	11.0	0.0	65.4	27.4	11.9	43.6
		任意 (27)	上	84	13	0	13.4	0.0	65.1 ± 3.7	25.4 ± 4.3	11.2 ± 2.1	44.2
			中	95	6	0	5.9	0.0	63.8 ± 4.3	23.5 ± 4.5	10.0 ± 2.3	42.6
			下	60	14	0	18.9	0.0	62.9 ± 4.9	23.6 ± 5.5	10.1 ± 2.5	43.0
			平均	-	-	-	12.1	0.0	63.9	24.1	10.5	43.3
	六枚橋 沖側	15枚	上	33	12	0	26.7	0.0	73.8 ± 4.5	40.0 ± 6.2	18.1 ± 3.0	45.3
			中	55	5	0	8.3	0.0	72.0 ± 4.1	36.3 ± 5.5	15.5 ± 2.3	42.8
			下	42	4	0	8.7	0.0	72.6 ± 3.5	35.8 ± 4.6	15.8 ± 2.5	44.2
			平均	-	-	-	13.9	0.0	72.8	37.4	16.5	44.1
		40枚	上	107	14	0	11.6	0.0	65.7 ± 3.1	28.6 ± 3.2	12.3 ± 1.4	43.2
			中	145	16	0	9.9	0.0	65.9 ± 3.7	27.0 ± 3.9	11.8 ± 2.0	43.7
			下	112	8	0	6.7	0.0	66.0 ± 2.8	28.5 ± 3.7	12.1 ± 1.7	42.4
			平均	-	-	-	9.5	0.0	65.9	28.0	12.1	43.0
		任意 (31)	上	76	17	1	18.3	3.3	68.7 ± 5.2	29.2 ± 4.7	12.4 ± 2.2	42.3
			中	106	21	1	16.5	3.3	67.0 ± 3.9	29.4 ± 4.3	12.2 ± 1.9	41.4
			下	69	21	0	23.3	0.0	67.9 ± 3.7	29.9 ± 4.2	12.9 ± 2.0	43.3
			平均	-	-	-	19.0	2.2	67.9	29.5	12.5	42.3
左堰	陸側	15枚	上	40	7	0	14.9	0.0	67.8 ± 3.2	32.1 ± 5.3	14.3 ± 2.3	44.5
			中	56	6	0	9.7	0.0	67.5 ± 4.6	29.8 ± 4.9	13.1 ± 2.1	43.8
			下	41	4	0	8.9	0.0	68.9 ± 4.8	30.7 ± 5.8	13.7 ± 3.0	44.6
			平均	-	-	-	11.0	0.0	68.1	30.9	13.7	44.3
		40枚	上	102	15	0	12.8	0.0	63.7 ± 3.7	25.4 ± 4.6	10.4 ± 2.0	40.9
			中	148	13	0	8.1	0.0	63.3 ± 5.0	25.1 ± 5.0	10.5 ± 2.4	41.6
			下	115	7	0	5.7	0.0	62.5 ± 5.4	24.7 ± 5.6	10.9 ± 2.6	44.1
			平均	-	-	-	8.8	0.0	63.2	25.1	10.6	42.2
		任意 (27)	上	69	8	0	10.4	0.0	68.3 ± 5.3	30.3 ± 5.8	13.0 ± 2.8	43.1
			中	102	6	0	5.6	0.0	64.9 ± 4.9	27.9 ± 5.6	12.4 ± 3.1	44.4
			下	68	17	0	20.0	0.0	65.7 ± 4.8	28.3 ± 6.5	11.9 ± 2.8	41.9
			平均	-	-	-	11.5	0.0	66.3	28.8	12.4	43.1
	左堰 沖側	15枚	上	43	3	0	6.5	0.0	66.8 ± 3.5	28.5 ± 4.4	13.1 ± 2.9	45.9
			中	53	6	0	10.2	0.0	65.0 ± 4.6	27.1 ± 4.7	12.3 ± 2.5	45.3
			下	40	5	0	11.1	0.0	66.3 ± 3.6	27.6 ± 4.2	12.5 ± 1.9	45.1
			平均	-	-	-	9.3	0.0	66.1	27.7	12.6	45.4
		40枚	上	112	9	0	7.4	0.0	61.4 ± 4.5	22.6 ± 4.7	9.5 ± 2.0	41.9
			中	140	20	0	12.5	0.0	65.0 ± 5.2	25.6 ± 5.4	11.7 ± 2.5	45.8
			下	102	16	0	13.6	0.0	63.5 ± 3.8	24.0 ± 4.2	10.7 ± 1.8	44.7
			平均	-	-	-	11.3	0.0	63.3	24.1	10.6	44.2
		任意 (21)	上	50	14	2	21.9	6.7	66.4 ± 4.1	29.9 ± 4.6	13.5 ± 2.2	45.0
			中	70	19	0	21.3	0.0	64.8 ± 4.2	26.9 ± 5.0	11.6 ± 2.4	43.1
			下	52	6	0	10.3	0.0	65.3 ± 4.1	27.9 ± 5.8	12.5 ± 2.8	44.8
			平均	-	-	-	18.5	2.2	65.5	28.3	12.5	44.3

表 8. 奥内地区における試験終了時のホタテガイの測定結果

地区	施設の 場所	入枚数 (枚/段)		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 指数
奥内	清水 陸側	15枚	上	34	10	1	22.7	3.3	70.7 ± 4.4	39.1 ± 6.3	17.6 ± 3.1	44.9
			中	46	9	2	16.4	6.7	71.4 ± 4.6	39.7 ± 6.9	17.6 ± 3.2	44.4
			下	31	9	0	22.5	0.0	71.3 ± 3.8	39.8 ± 5.7	17.1 ± 2.7	43.1
			平均	-	-	-	20.1	3.3	71.1	-	17.4	-
		40枚	上	87	23	1	20.9	3.3	66.0 ± 4.7	29.0 ± 7.4	12.4 ± 3.6	42.6
			中	132	26	0	16.5	0.0	66.3 ± 3.9	30.8 ± 5.0	13.3 ± 2.7	43.1
			下	98	22	0	18.3	0.0	66.0 ± 3.4	30.8 ± 3.9	13.1 ± 1.6	42.5
			平均	-	-	-	18.3	1.1	66.1	-	12.9	-
		任意 (19)	上	39	2	0	4.9	0.0	70.9 ± 3.6	37.3 ± 5.4	16.2 ± 2.8	43.5
			中	45	6	0	11.8	0.0	72.2 ± 3.5	40.3 ± 4.7	18.1 ± 2.3	44.9
			下	51	6	0	10.5	0.0	71.5 ± 3.0	39.5 ± 4.0	16.8 ± 2.2	42.6
			平均	-	-	-	9.4	0.0	71.6	-	17.1	-
	清水 沖側	15枚	上	41	4	1	8.9	3.3	67.7 ± 3.9	31.9 ± 5.3	14.0 ± 2.5	43.8
			中	54	5	1	8.5	3.3	69.7 ± 3.7	36.5 ± 4.8	15.9 ± 2.2	43.6
			下	39	5	0	11.4	0.0	71.0 ± 3.7	38.3 ± 6.2	16.2 ± 2.8	42.3
			平均	-	-	-	9.5	2.2	69.5	-	15.3	-
		40枚	上	100	20	0	16.7	0.0	58.9 ± 2.7	22.9 ± 2.2	9.3 ± 1.1	40.4
			中	128	31	0	19.5	0.0	60.8 ± 3.1	24.6 ± 4.1	10.4 ± 1.9	42.1
			下	104	14	0	11.9	0.0	62.6 ± 4.2	26.8 ± 5.0	11.4 ± 2.2	42.5
			平均	-	-	-	16.4	0.0	60.8	-	10.3	-
		任意 (19)	上	34	5	0	12.8	0.0	67.3 ± 4.0	31.3 ± 5.5	13.4 ± 2.6	42.7
			中	56	2	2	3.4	6.7	68.5 ± 4.8	32.6 ± 5.9	14.2 ± 3.0	43.7
			下	51	4	0	7.3	0.0	68.5 ± 3.4	33.0 ± 5.1	14.3 ± 2.4	43.2
			平均	-	-	-	7.2	2.2	68.1	-	14.0	-
前田 陸側	15枚	上	36	8	0	18.2	0.0	76.0 ± 3.0	43.0 ± 4.9	19.1 ± 2.9	44.3	
		中	59	4	0	6.3	0.0	76.0 ± 4.6	43.4 ± 6.5	19.2 ± 3.2	44.2	
		下	39	5	0	11.4	0.0	75.8 ± 4.3	43.9 ± 6.5	19.3 ± 3.0	43.9	
		平均	-	-	-	11.3	0.0	75.9	-	19.2	-	44.1
	40枚	上	111	18	0	14.0	0.0	63.8 ± 4.4	26.2 ± 5.1	10.7 ± 2.6	40.8	
		中	155	12	0	7.2	0.0	63.7 ± 3.9	26.7 ± 4.9	11.3 ± 2.3	42.2	
		下	101	18	1	15.1	3.3	63.4 ± 3.5	27.4 ± 4.6	11.6 ± 2.3	42.3	
		平均	-	-	-	11.6	1.1	63.6	-	11.2	-	41.8
	任意 (16)	上	23	3	1	11.5	3.3	67.5 ± 5.3	31.7 ± 6.7	13.3 ± 3.0	41.9	
		中	43	4	0	8.5	0.0	67.4 ± 3.7	31.0 ± 5.3	13.5 ± 2.3	43.5	
		下	44	10	0	18.5	0.0	67.4 ± 4.3	29.7 ± 5.3	13.0 ± 2.6	43.6	
		平均	-	-	-	13.4	1.1	67.4	-	13.2	-	43.0
前田 沖側	15枚	上	39	6	0	13.3	0.0	71.0 ± 3.0	39.0 ± 5.1	16.6 ± 1.8	42.5	
		中	58	2	0	3.3	0.0	71.7 ± 4.8	35.8 ± 7.3	15.6 ± 3.7	43.7	
		下	46	1	0	2.1	0.0	70.2 ± 3.2	34.1 ± 4.6	15.0 ± 2.6	44.0	
		平均	-	-	-	5.9	0.0	71.0	-	15.7	-	43.4
	40枚	上	111	8	0	6.7	0.0	63.6 ± 2.7	27.1 ± 3.3	11.2 ± 1.5	41.3	
		中	132	26	0	16.5	0.0	65.2 ± 2.9	29.0 ± 4.2	12.3 ± 2.2	42.4	
		下	96	22	1	18.6	3.3	64.8 ± 3.0	29.9 ± 3.7	12.6 ± 1.8	42.3	
		平均	-	-	-	14.2	1.1	64.5	-	12.0	-	42.0
	任意 (21)	上	37	5	0	11.9	0.0	61.9 ± 3.4	27.6 ± 4.5	11.8 ± 2.1	42.8	
		中	67	8	0	10.7	0.0	65.8 ± 5.1	31.9 ± 7.0	14.0 ± 3.2	44.0	
		下	47	2	0	4.1	0.0	64.7 ± 4.0	29.0 ± 4.4	13.0 ± 2.7	44.7	
		平均	-	-	-	9.0	0.0	64.1	-	12.9	-	43.9
飛鳥 陸側	15枚	上	41	5	0	10.9	0.0	64.4 ± 3.5	27.2 ± 4.5	11.5 ± 2.2	42.1	
		中	47	7	0	13.0	0.0	66.3 ± 3.3	29.0 ± 4.3	13.0 ± 2.2	44.7	
		下	35	7	0	16.7	0.0	66.3 ± 4.1	30.3 ± 5.1	13.1 ± 2.3	43.4	
		平均	-	-	-	13.4	0.0	65.6	-	12.5	-	43.4
	40枚	上	90	27	0	23.1	0.0	63.9 ± 3.9	24.8 ± 4.6	10.4 ± 2.3	41.9	
		中	118	43	0	26.7	0.0	63.8 ± 3.6	25.3 ± 4.3	10.8 ± 2.0	42.5	
		下	93	25	0	21.2	0.0	62.3 ± 3.5	23.3 ± 4.0	9.8 ± 2.0	42.3	
		平均	-	-	-	24.0	0.0	63.4	-	10.3	-	42.2
	任意 (20)	上	50	9	0	15.3	0.0	67.6 ± 4.4	30.7 ± 5.5	13.1 ± 2.9	42.8	
		中	77	5	0	6.1	0.0	66.8 ± 3.6	30.9 ± 4.0	13.6 ± 1.8	44.0	
		下	51	7	0	12.1	0.0	65.4 ± 4.4	28.5 ± 4.5	12.0 ± 2.1	42.3	
		平均	-	-	-	10.6	0.0	66.6	-	12.9	-	43.0
飛鳥 沖側	15枚	上	40	4	0	9.1	0.0	69.5 ± 4.9	34.0 ± 6.3	15.5 ± 3.2	45.7	
		中	51	6	0	10.5	0.0	70.2 ± 3.0	36.1 ± 4.8	16.3 ± 2.3	45.0	
		下	40	1	0	2.4	0.0	70.4 ± 4.0	34.5 ± 5.2	15.8 ± 2.6	45.6	
		平均	-	-	-	7.7	0.0	70.0	-	15.9	-	45.4
	40枚	上	100	16	0	13.8	0.0	63.0 ± 3.5	26.1 ± 4.2	10.8 ± 2.0	41.4	
		中	136	17	0	11.1	0.0	63.7 ± 3.8	28.8 ± 4.6	12.6 ± 2.2	43.6	
		下	104	16	0	13.3	0.0	63.6 ± 4.0	27.6 ± 4.6	11.5 ± 2.2	41.8	
		平均	-	-	-	12.6	0.0	63.5	-	11.6	-	42.3
	任意 (20)	上	53	6	0	10.2	0.0	70.3 ± 3.1	35.6 ± 4.6	15.2 ± 2.1	42.7	
		中	67	12	0	15.2	0.0	69.7 ± 3.6	35.7 ± 4.4	16.5 ± 2.1	46.0	
		下	58	3	1	4.9	3.3	68.2 ± 5.2	33.6 ± 6.5	14.5 ± 3.0	43.1	
		平均	-	-	-	10.6	1.1	69.4	-	15.4	-	44.0

表 9. 油川地区における試験終了時のホタテガイの測定結果

地区	施設の場所	入枚数 (枚/段)		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 指数
油川	陸側	15枚	上	40	4	0	9.1	0.0	62.6 ± 5.4	24.9 ± 5.9	11.1 ± 2.9	44.6
			中	45	15	1	25.0	3.3	61.6 ± 4.9	24.2 ± 4.9	10.8 ± 2.3	44.5
			下	31	12	2	27.9	6.7	60.6 ± 9.9	24.1 ± 8.8	10.5 ± 4.1	43.5
			平均	-	-	-	21.1	3.3	61.6 ± -	24.4 ± -	10.8 ± -	44.2
		40枚	上	108	21	0	16.3	0.0	57.7 ± 4.5	18.6 ± 4.3	8.0 ± 2.2	43.3
			中	134	34	1	20.2	3.3	56.9 ± 4.7	18.4 ± 4.1	8.1 ± 1.9	44.0
			下	94	28	0	23.0	0.0	56.6 ± 4.4	18.1 ± 3.8	8.0 ± 1.8	44.3
			平均	-	-	-	19.8	1.1	57.1 ± -	18.4 ± -	8.1 ± -	43.8
		任意 (18)	上	46	7	1	13.2	3.3	58.3 ± 4.4	20.5 ± 4.9	9.3 ± 2.4	45.5
			中	66	5	0	7.0	0.0	57.9 ± 5.4	20.1 ± 5.2	8.9 ± 2.6	44.2
			下	51	5	1	8.9	3.3	55.4 ± 4.8	18.0 ± 4.3	7.7 ± 2.1	43.1
			平均	-	-	-	9.4	2.2	57.2 ± -	19.5 ± -	8.7 ± -	44.3
	沖側	15枚	上	39	6	1	13.3	3.3	61.2 ± 3.7	25.8 ± 4.4	11.1 ± 1.9	43.0
			中	53	7	0	11.7	0.0	61.2 ± 2.4	24.4 ± 3.1	11.0 ± 2.6	45.1
			下	40	6	0	13.0	0.0	60.8 ± 3.7	23.5 ± 3.8	9.9 ± 1.7	42.2
			平均	-	-	-	12.6	1.1	61.1 ± -	24.6 ± -	10.7 ± -	43.4
		40枚	上	103	21	1	16.9	3.3	56.7 ± 3.8	18.2 ± 3.7	7.8 ± 1.8	43.1
			中	133	19	0	12.5	0.0	58.2 ± 3.9	20.8 ± 3.7	9.0 ± 1.8	43.2
			下	97	40	0	29.2	0.0	56.8 ± 4.2	18.9 ± 4.2	8.2 ± 2.5	43.3
			平均	-	-	-	19.4	1.1	57.2 ± -	19.3 ± -	8.3 ± -	43.2
		任意 (21)	上	58	14	1	19.4	3.3	60.7 ± 3.8	23.8 ± 4.6	10.6 ± 2.4	44.7
			中	68	16	0	19.0	0.0	59.1 ± 5.6	21.4 ± 5.6	9.5 ± 2.6	44.6
			下	34	23	0	40.4	0.0	59.6 ± 5.9	23.0 ± 5.9	9.9 ± 2.8	43.1
			平均	-	-	-	24.9	1.1	59.8 ± -	22.7 ± -	10.0 ± -	44.1

(7) 考察

へい死率が高かった清水陸側では、幹綱に取り付けた加速度計の結果（付図 5-2）から、他の調査地点よりも施設が大きく上下動していたが、漁業者に確認したところ、調整玉直下に試験区を設置したとのことであり、その影響によるものと考えられた。油川陸側でもへい死率が高かったが、深度計及び加速度計の結果（付図 4-3、5-3）から施設は非常に安定しており、強い流れも確認できなかった（付図 6-3）。死貝の 55%は 10 月分散直後にへい死したものであるが、観測機器は 11 月末に設置しているため、へい死要因の推定はできなかった。残りの死貝は試験終了付近に死んでいるが、3 月 10 日から 13 日にかけて幹綱水深が 3m 前後変化していることや、0.1m/s の南下流が見られることから、この影響によるものと考えられた。

ほとんどの施設において、試験終了付近にへい死が多かったのは、付図 4-1～4-3 に示すように、3 月 10 日から 13 日にかけて施設が頻繁に上下動していたこと、同時期の蟹田の風速（図 5）を見ると、平均風速が 11.7m/s と非常に強い西風が吹いていたことから、潮流よりも波浪の影響を強く受けたためと推察された。

今季は平成 25 年 2～3 月のような大量へい死はなく、観測データをみても海洋環境にはっきりとした地域差は確認できなかった。12 月～翌年 3 月の東湾ブイの風速を比較した結果、平成 26 年度は平成 24 年度よりも風速 10～20m の強風の日が 5 日少なかった（図 6）。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 1m 以上の観測頻度を平成 23～26 年度の 4 ケ年で比較した結果、平成 26 年度は平成 23～25 年度にみられた 1.5m を超える波浪が観測されることはなかった（表 10）。このことから、平成 26 年度は、平成 25 年度に続き冬季に時化が少なく、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。来季に再度ホタテガイの成育状況と波浪や流れなどの環境要因を

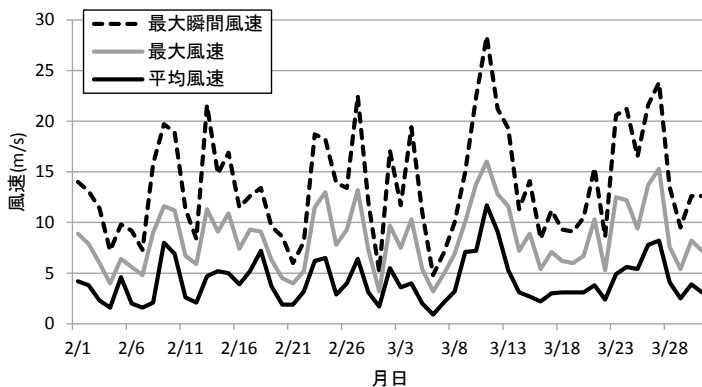


図 5. 平成 27 年 2 月から 3 月の蟹田における風速（気象庁データより）

同時かつ集中的にモニタリングするが、前述のとおり、幹綱水深の変化は稚貝の分散時期やパールネットの連数・段数・収容枚数によって異なっており、特に玉付けにより幹綱を浮上させる間隔に違いがあることが分かってきたことから、これらの点にも注目しながら冬季へい死要因の解明に取り組むこととしたい。

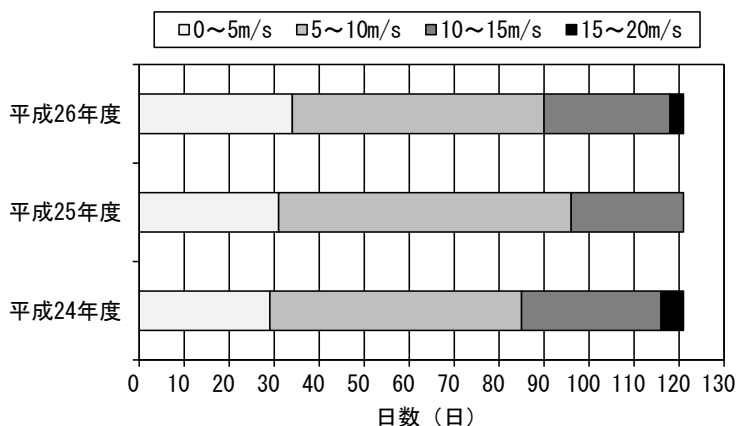


図 6. 12 月～翌年 3 月の東湾ブイにおける日平均風速の段階別日数

表 10. 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	100	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
12月	100	0	0
1月	100	0	0
2月	100	0	0
3月	100	0	0
H26計	100.0	0.0	0.0

2. 室内試験による生理的なへい死メカニズムの解明

(1) 水温

自記水温計による各試験区の水温の推移を図7に示した。

水温は、10℃の試験区は飼育期間を通じて一定の水温が保たれていたが、5℃は給餌区で5.1～5.4℃、無給餌区で5.3～5.9℃、2℃は給餌区で2.0～3.5℃、無給餌区で2.0～3.3℃と高めに推移していた。

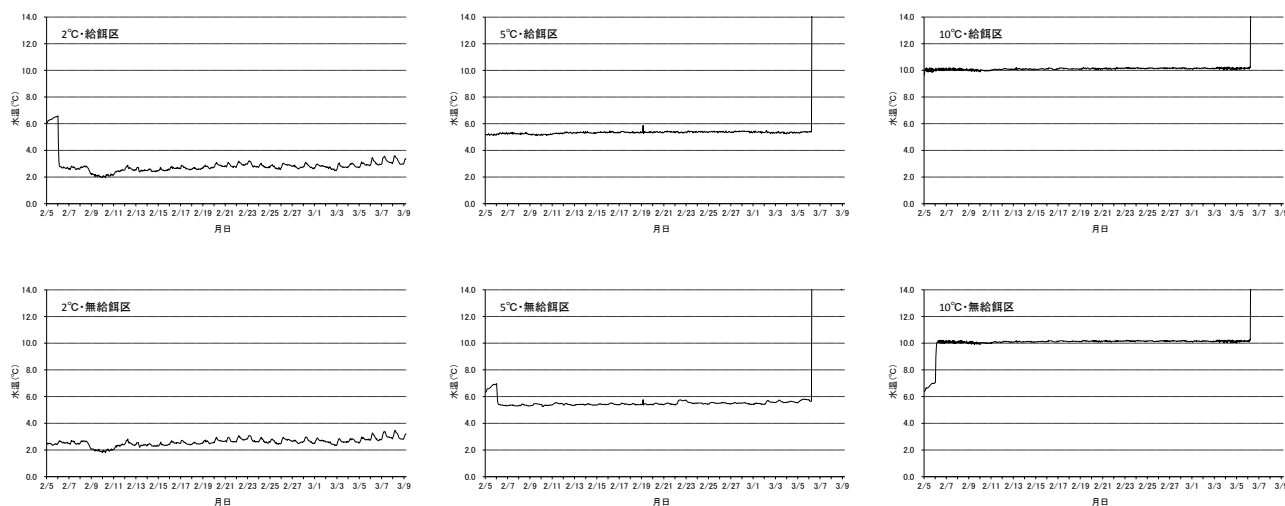


図7. 各試験区の水温の推移

(2) クロロフィルa濃度

各試験区のクロロフィルa濃度は、表11に示したとおり、全ての給餌区において、概ね給餌量が $2 \mu\text{g/l}$ 前後かそれ以上となっており、十分な量の給餌がされていたと考えられた。

(3) ホタテガイの測定

試験開始時と試験終了時の各試験区のへい死率、殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量の測定結果を図8-1及び8-2に示した。なお、試験開始時のへい死率は、100枚入れが15.6%、15枚入れが5.7%、5枚入れが7.2%で、生殖巣指数は、100枚入れが6.0、15枚入れが12.0、5枚入れが15.0であった。成熟済の稚貝は成熟度が適正だったが、未成熟と成熟中の稚貝は成熟が進みすぎていたと考えられる。

試験期間中のへい死は、2℃の給餌区で未成熟の稚貝が4個体（へい死率8%）、成熟中の稚貝が1個体（へい死率2%）、2℃の無給餌区で未成熟の稚貝が2個体（へい死率4%）、5℃の給餌区で未成熟の稚貝が2個体（へい死率4%）、成熟済の稚貝が1個体（へい死率2%）、10℃の給餌区で未成熟の稚貝が2個体（へい死率4%）、その他は0個体であった。へい死率は総じて低かったが、未成熟の稚貝は成熟中や成熟済の稚貝より高い傾向を示した。未成熟の稚貝の試験開始時のへい死率は15.6%、異常貝率は3.3%と成熟中及び成熟済の稚貝の値（へい死率5.7%と7.2%、異常貝率0%と0%）よりも高いことから、パールネットに100個体/段で収容して育成した影響があったものと考えられた。また、無給餌区よりも給餌区の方にへい死が多く確認されたが、原因は分からなかった。

成熟度合別に成長を試験開始時と比較すると、未成熟の稚貝は、2℃の無給餌区の殻長と、無給餌区の軟体部重量と生殖腺重量以外の試験区が有意に高く、10℃の無給餌区の生殖腺重量が有意に低かった。成熟中の稚貝は、2℃の給餌区の殻長、10℃の無給餌区以外の全重量、2℃の給餌区の軟体部重量と生殖腺重量が有意に高かった。また、10℃の無給餌区の軟体部重量と10℃の給餌区及び無給餌区の生殖腺重量が有意に低かったが、試験開始時の生殖腺指数が12.0と高かったため、試験開始時に温度刺激で産卵した可能性があるものと考えられた。成熟済の稚貝は、無給餌区の殻長と全ての試験区の全重量、2℃の給餌区及び無給餌区の軟体部重量が有意に高かったが、その他の試験区で有意な差は見られなかった。

表11. 各試験区のクロロフィルa濃度

採水月日	試験区	クロロフィルa 濃度(μg/L)	
		給水側	排水側
2月9日	0℃	4.61	3.07
	5℃	1.90	1.85
	10℃	2.66	1.79
2月16日	0℃	6.13	3.64
	5℃	3.63	3.41
	10℃	3.15	1.99
	(5℃無給餌)	0.02	0.01
2月23日	0℃	5.85	3.30
	5℃	4.88	2.73
	10℃	1.89	2.07

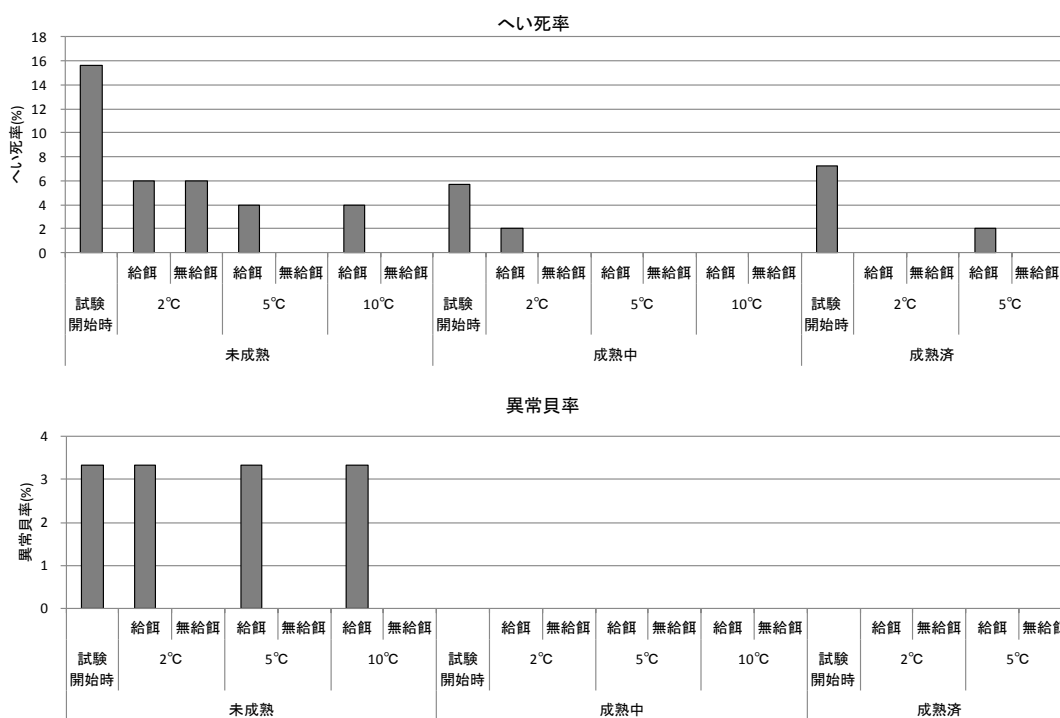


図8-1. ホタテガイの測定結果

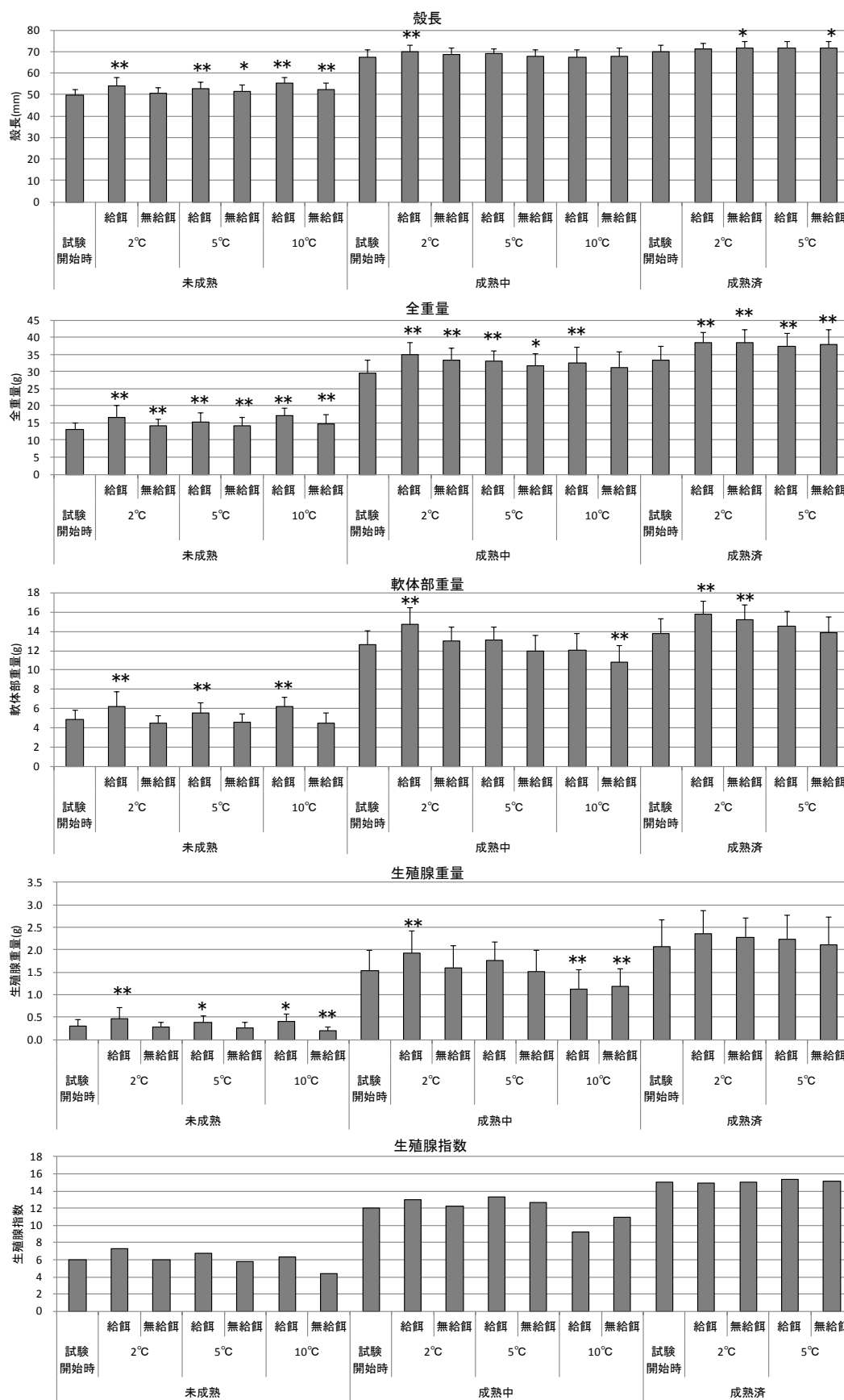


図8-2. ホタテガイの測定結果
(バーは標準偏差。稚貝の成熟度合別に試験開始時と比較した場合、**は有意水準1%、*は有意水準5%で有意差があることを示す。)

今回の室内試験により、2℃の低温状態で無給餌期間が1ヶ月間続いた場合でも、成熟度合の違うホタテガイのへい死率はいずれも低いことがわかった。へい死原因としては、波浪や潮流によるぶつかり合いの影響が考えられることから、次年度は、無給餌及び低温に加え、ぶつかり合いの負荷を与えた試験を実施する必要がある。また、今回、試験開始時において、未成熟と成熟中の稚貝の成熟度合がやや高かったことから稚貝分散時の収容枚数を増やす必要がある。さらに、未成熟の稚貝の成長量が低かったことから給餌方法を改良する必要がある。

3. へい死軽減技術実証試験

ホタテガイの測定結果を表12及び図9に示す。へい死率は、高密度収容区では下1段太枠区が3.4～12.8%(平均9.5%)、鉛100匁区が8.6～14.2%(平均11.8%)、コンクリート錘区が4.5～11.3%(平均7.1%)で、鉛100匁区、下1段太枠区、コンクリート錘区の順で高い値を示した。低密度収容区のへい死率は、錘なし区が0.0～4.5%(平均2.1%)、下1段太枠区が2.4～9.3%(平均5.1%)、鉛100匁区が2.0～12.5%(平均5.6%)、コンクリート錘区が2.2～5.7%(平均3.4%)で、鉛100匁区、下1段太枠区、コンクリート錘区、錘なし区の順で高い値を示した。低密度収容区は、高密度収容区よりもへい死率が低かった。

異常貝率は、高密度収容区の下1段太枠区の上段及び中段、鉛100匁区の中段、コンクリート錘区の上段、低密度収容区錘なし区の上段、コンクリート錘区の下段で3.3%、低密度収容区の鉛100匁区の下段で6.7%、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13～15)。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。高密度収容区内については、錘なし区の試験開始時にコンクリート錘を付けて垂下してしまったことから、残り3試験区内で比較すると、下1段太枠区が殻長、全重量、軟体部重量ともに鉛100匁区及びコンクリート錘区より有意に高い値を示した。低密度収容区内では、殻長、全重量、軟体部重量ともに錘の種類による有意差は見られなかった。

表12. ホタテガイの測定結果(高密度・錘なし区は参考値)

試験区		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 指数
高密度 (40枚/段) 収容	錘なし区*	上	107	7	0	6.1	73.2 ± 3.2	42.2 ± 4.6	17.4 ± 2.0	41.3
		中	195	11	0	5.3	70.0 ± 3.6	35.2 ± 5.2	14.9 ± 2.3	42.2
		下	141	25	0	15.1	70.8 ± 3.0	36.9 ± 3.7	16.4 ± 1.8	44.4
		平均	-	-	-	8.8	71.3	-	16.2	-
	下1段太枠区	上	112	4	1	3.4	73.4 ± 5.1	41.1 ± 7.1	17.6 ± 3.4	42.7
		中	102	15	1	12.8	78.1 ± 4.1	48.5 ± 7.1	21.8 ± 3.1	44.8
		下	93	13	0	12.3	76.7 ± 3.8	46.4 ± 5.4	19.7 ± 2.5	42.6
		平均	-	-	-	9.5	76.1	-	19.7	-
	鉛100匁区	上	115	19	0	14.2	72.9 ± 4.3	41.6 ± 5.3	17.6 ± 2.3	42.2
		中	125	18	1	12.6	76.1 ± 3.2	44.2 ± 4.8	19.5 ± 2.0	44.0
		下	106	10	0	8.6	74.3 ± 3.2	40.4 ± 4.5	17.3 ± 2.2	42.9
		平均	-	-	-	11.8	74.4	-	18.1	-
	コンクリート錘区	上	105	6	1	5.4	74.2 ± 3.5	41.9 ± 5.3	18.5 ± 2.7	44.3
		中	128	6	0	4.5	59.9 ± 14.6	45.0 ± 5.2	19.2 ± 2.7	42.7
		下	94	12	0	11.3	74.3 ± 3.9	40.8 ± 5.4	17.5 ± 3.0	43.0
		平均	-	-	-	7.1	69.5	-	18.4	-
低密度 (15枚/段) 収容	錘なし区	上	42	2	1	4.5	81.3 ± 5.6	58.5 ± 10.4	26.2 ± 5.0	44.7
		中	53	1	0	1.9	84.4 ± 3.2	63.6 ± 7.0	28.5 ± 3.3	44.8
		下	44	0	0	0.0	83.8 ± 3.8	58.1 ± 5.9	26.0 ± 2.7	44.8
		平均	-	-	-	2.1	83.2	-	26.9	-
	下1段太枠区	上	40	1	0	2.4	82.8 ± 4.5	55.7 ± 6.4	24.5 ± 2.8	43.9
		中	53	2	0	3.6	84.1 ± 4.2	58.2 ± 7.3	25.7 ± 3.1	44.2
		下	39	4	0	9.3	83.8 ± 4.1	62.6 ± 7.5	28.1 ± 3.7	45.0
		平均	-	-	-	5.1	83.5	-	26.1	-
	鉛100匁区	上	28	4	0	12.5	83.1 ± 3.7	56.7 ± 6.3	25.5 ± 3.0	45.0
		中	48	1	0	2.0	83.7 ± 4.1	59.0 ± 8.2	27.2 ± 3.8	46.1
		下	42	1	2	2.3	81.8 ± 4.5	59.6 ± 8.0	26.2 ± 4.0	44.0
		平均	-	-	-	5.6	82.8	-	26.3	-
	コンクリート錘区	上	41	1	0	2.4	83.5 ± 4.1	61.6 ± 6.7	28.2 ± 3.3	45.9
		中	66	4	0	5.7	81.6 ± 4.7	54.9 ± 9.1	24.9 ± 4.3	45.3
		下	44	1	1	2.2	82.0 ± 5.0	58.3 ± 9.7	26.7 ± 5.1	45.8
		平均	-	-	-	3.4	82.3	-	26.6	-

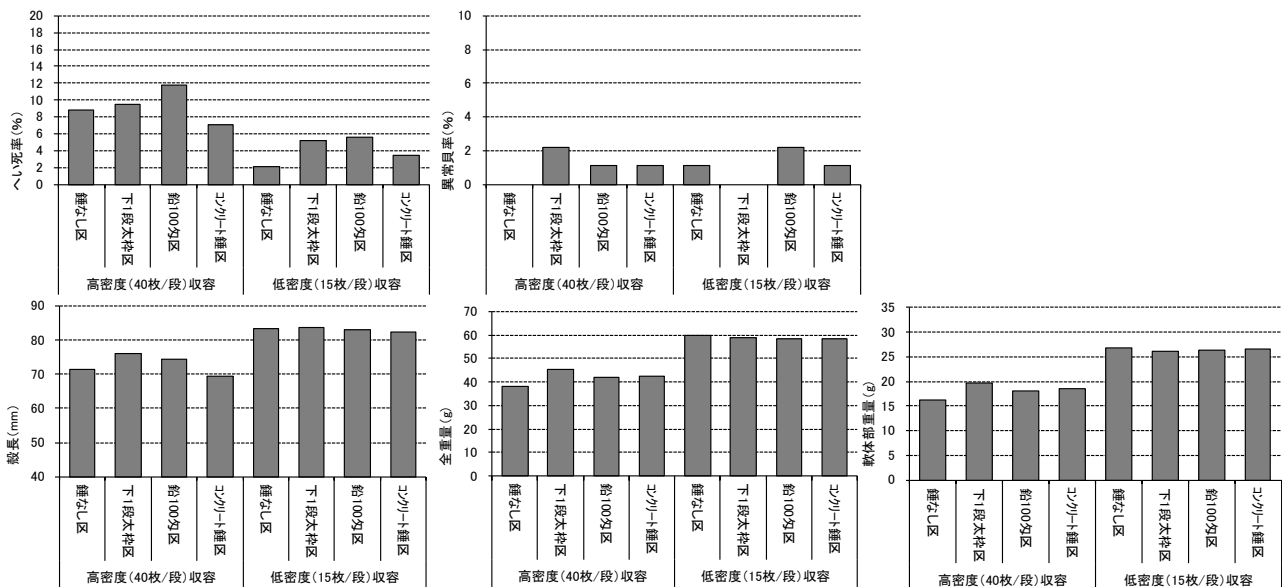


図9. ホタテガイの測定結果（高密度・錘なし区は参考値）

表 13. 殻長の平均値の差の検定結果（**は有意水準 1%、*は有意水準 5%で有意差があることを示す。）

		高密度(40枚/段)収容				低密度(15枚/段)収容			
		錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区	コンクリート錘区	錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区	コンクリート錘区
高密度	錘なし区		**	**		**	**	**	**
	下1段太枠区	**		**	**	**		**	**
	鉛100匁区	**	**		**	**	**		**
	コンクリート錘区		**	**		**	**	**	
低密度	錘なし区	**	**	**	**				
	下1段太枠区	**	**	**	**				
	鉛100匁区	**	**	**	**				
	コンクリート錘区	**	**	**	**				

表 14. 全重量の平均値の差の検定結果（**は有意水準 1%、*は有意水準 5%で有意差があることを示す。）

		高密度(40枚/段)収容				低密度(15枚/段)収容			
		錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区	コンクリート錘区	錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区	コンクリート錘区
高密度	錘なし区		**	**	**	**	**	**	**
	下1段太枠区	**		**	**	**		**	**
	鉛100匁区	**	**		**	**	**		**
	コンクリート錘区	**	**	**		**	**	**	
低密度	錘なし区	**	**	**	**				
	下1段太枠区	**	**	**	**				
	鉛100匁区	**	**	**	**				
	コンクリート錘区	**	**	**	**				

表 15. 軟体部重量の平均値の差の検定結果（**は有意水準 1%、*は有意水準 5%で有意差があることを示す。）

		高密度(40枚/段)収容				低密度(15枚/段)収容			
		錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区	コンクリート錘区	錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区	コンクリート錘区
高密度	錘なし区		**	**	**	**	**	**	**
	下1段太枠区	**		**	**	**		**	**
	鉛100匁区	**	**		**	**	**		**
	コンクリート錘区	**	**	**		**	**	**	
低密度	錘なし区	**	**	**	**				
	下1段太枠区	**	**	**	**				
	鉛100匁区	**	**	**	**				
	コンクリート錘区	**	**	**	**				

養殖施設の幹綱、高密度及び低密度収容区の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 10 に示す。11 月 23 日に低密度収容区の錘なし区と下一段太枠区でパールネットが大きく上下動しているのは、久栗坂実験漁場における平成 26 年 11 月の流向流速の推移（図 11）より、流速が 0.1m/s を超える南向きの強い流れが影響していると考えられた。また、各試験区の加速度を比較するために分散を求めたところ、低密度収容区の錘なし区が 0.00033 m/s²と平成 25 年度¹⁾の 0.00042 m/s²と同様、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が、高密度収容区では大きな差は見られなかった。これは、パールネット 1 連 4 試験区の平均の総重量は高密度収容区で約 16.8kg と、低密度収容区の 8.8kg と比べて 2 倍程度重くなっているため、錘の違いによる影響を受けなかったものと考えられる。

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、錘の種類別でのへい死率と成長に大きな差は見られなかった。前述のとおり、平成 26 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かったと推察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。冬季へい死時の対策を確立するためにも、来季に同様の試験を行い、検証を続ける必要がある。

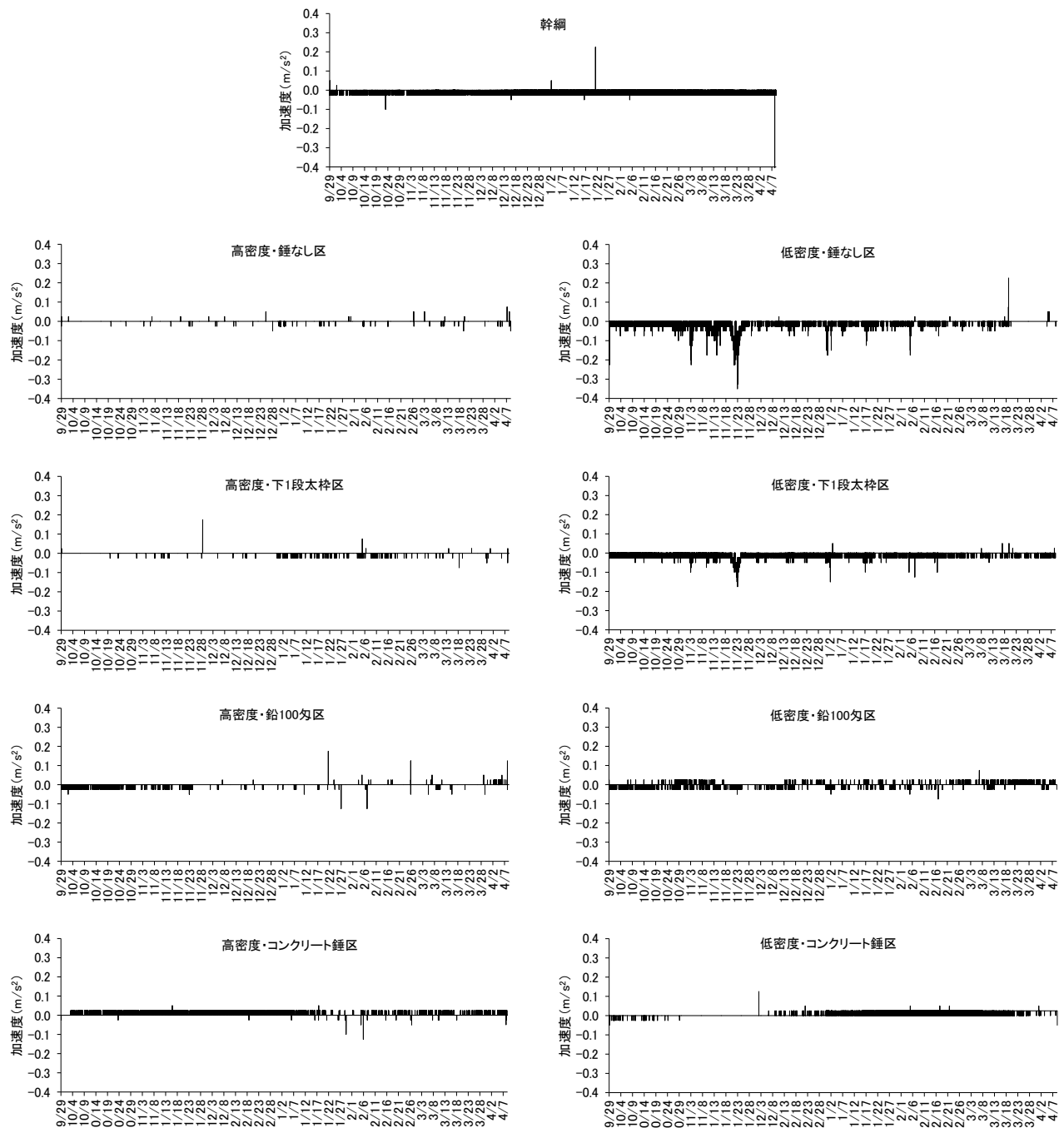


図 10. 養殖施設の幹綱及び低密度収容区におけるパールネット下段の垂直方向における加速度の推移
(高密度・錘なし区は参考値)

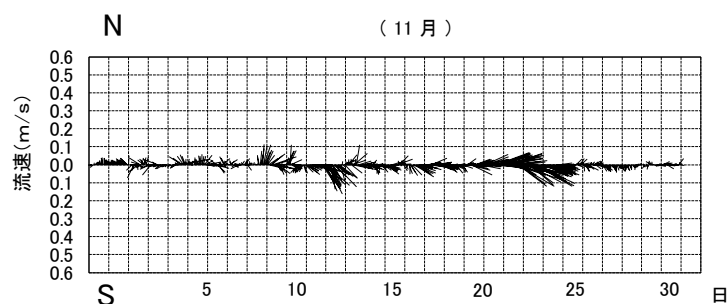


図 11. 久栗坂実験漁場における流向流速の推移（平成 26 年 11 月）

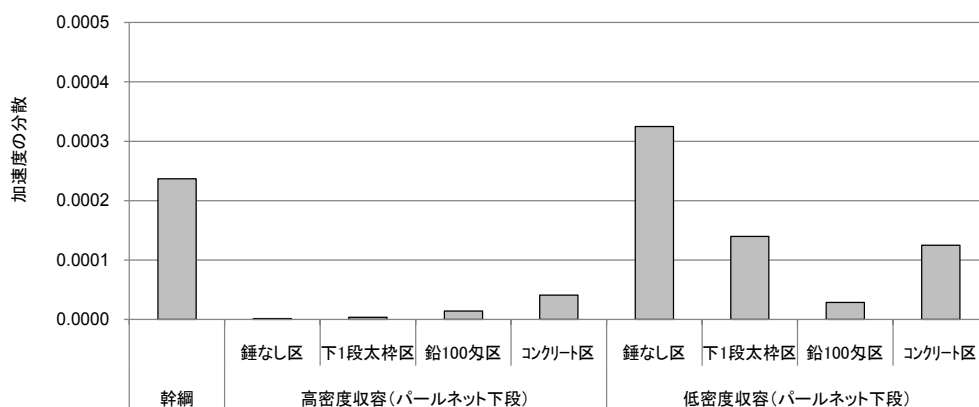


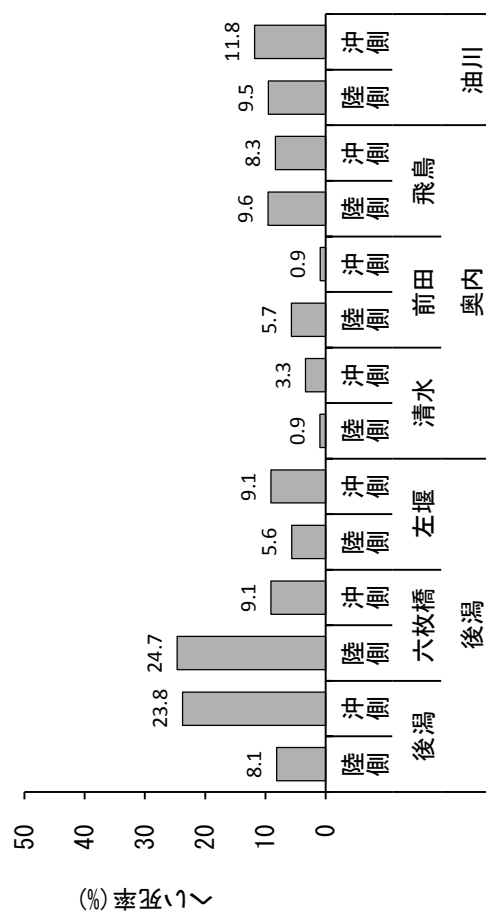
図 12. 加速度の分散（高密度・錘なし区は参考値）

謝 辞

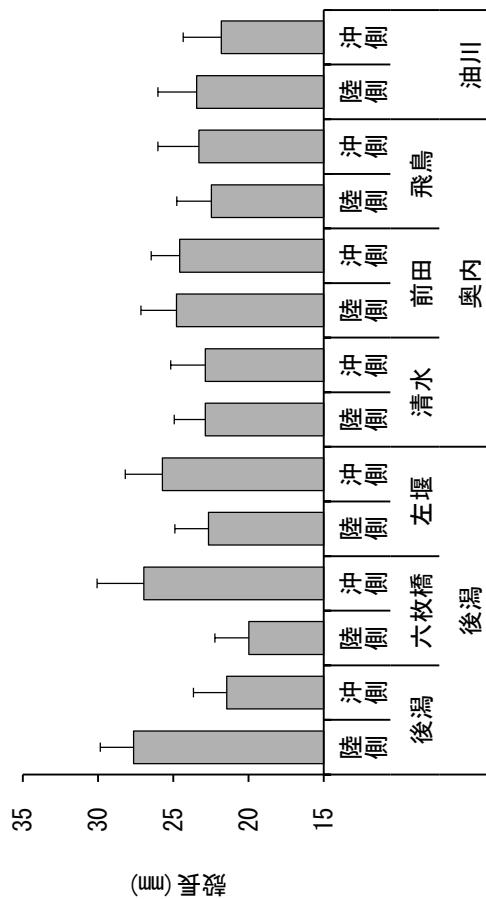
漁場環境及び養殖施設内のホタテガイ育成状況の集中的モニタリングにつきまして、調査にご協力いただいた青森市後潟地区、奥内地区、油川地区の各漁業者並びに漁業協同組合の職員の皆様にお礼申し上げます。

文 献

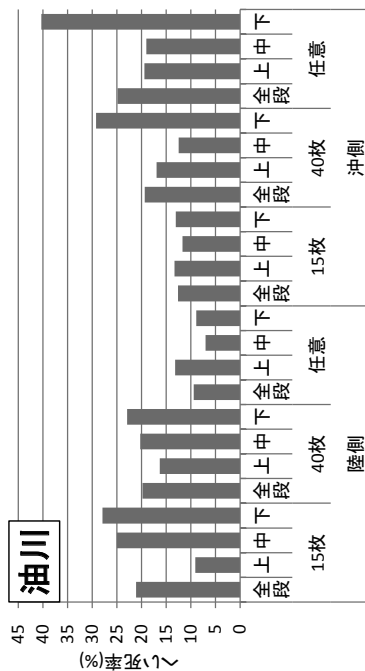
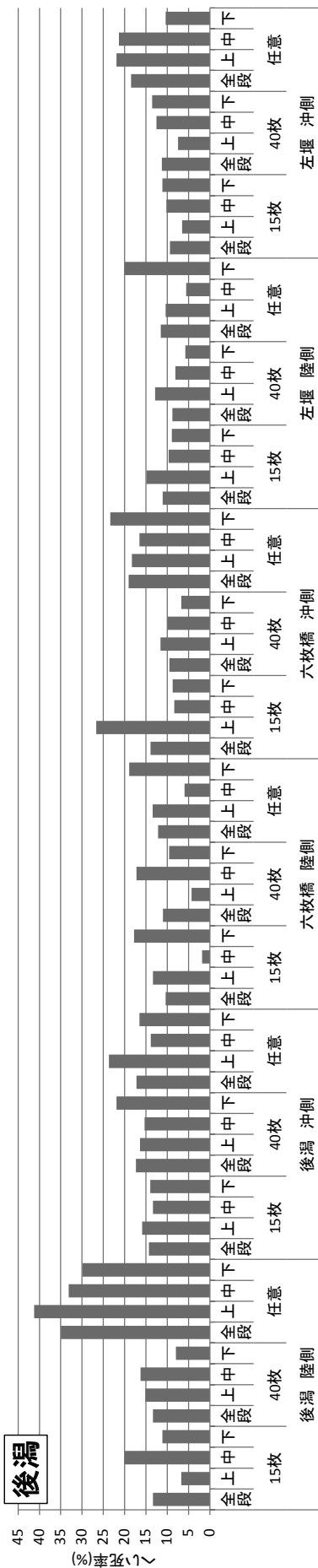
- 1) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要(2015) ホタテガイ稚貝の冬季へい死原因について. 平成 25 年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 383-391.



付図1-1. 稚貝分散時のへい死率



付図1-2. 稚貝分散時の殻長

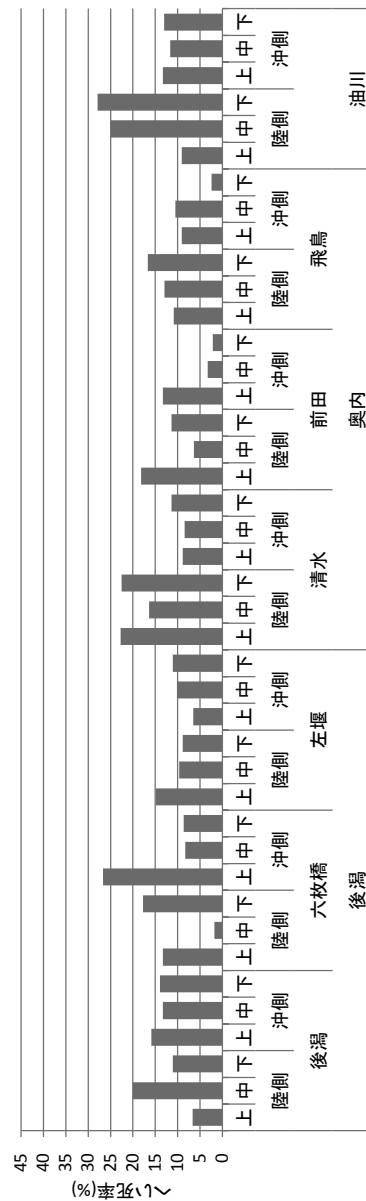


付図2-1-1. 試験終了時の地点別、収容密度別、段別のへい死率

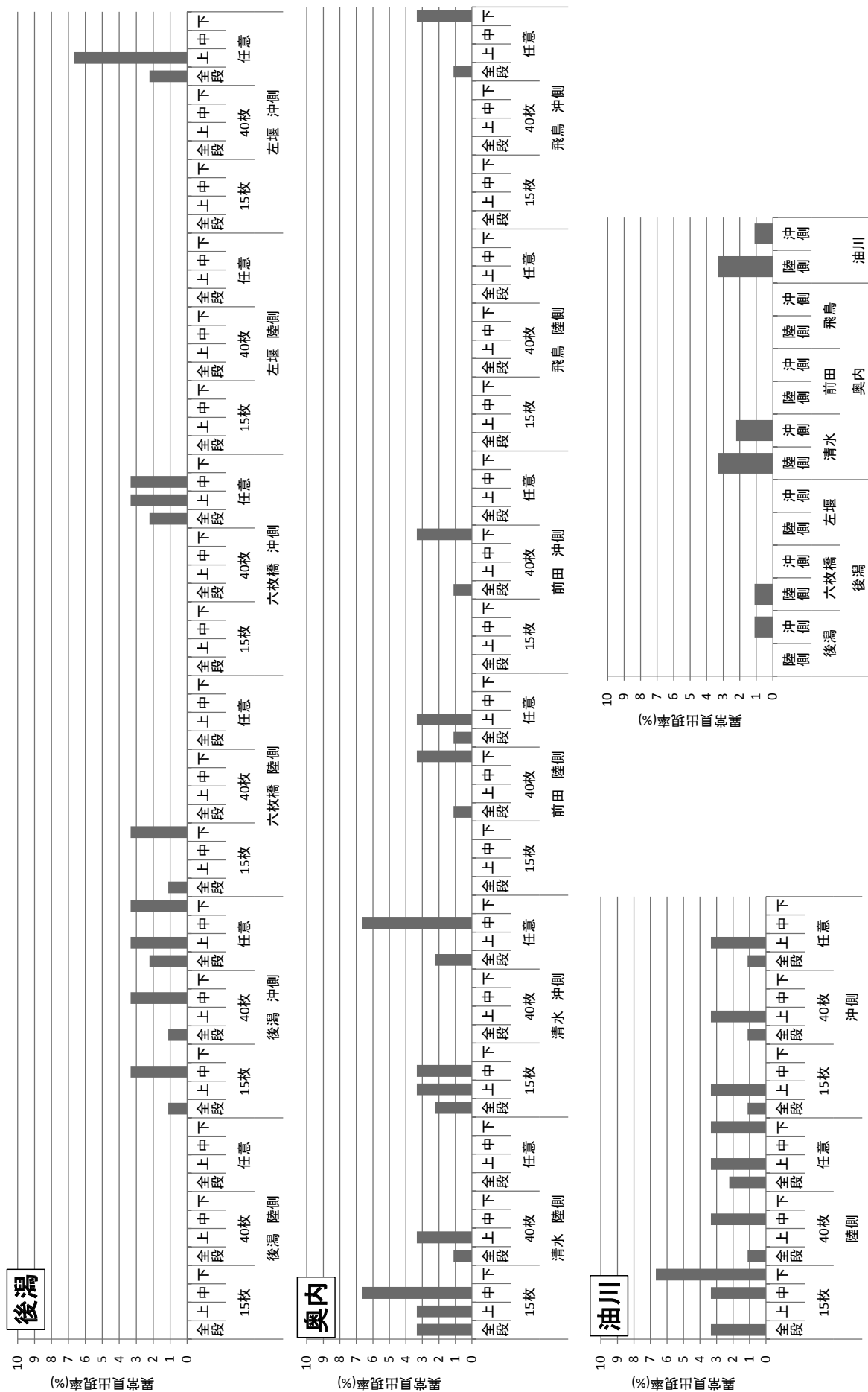
付図2-1-2. 試験終了時の地点別のへい死率 (15枚入れ、全段と比較)



付図2-1-3. 試験終了時の収容密度別のへい死率 (全段で比較)

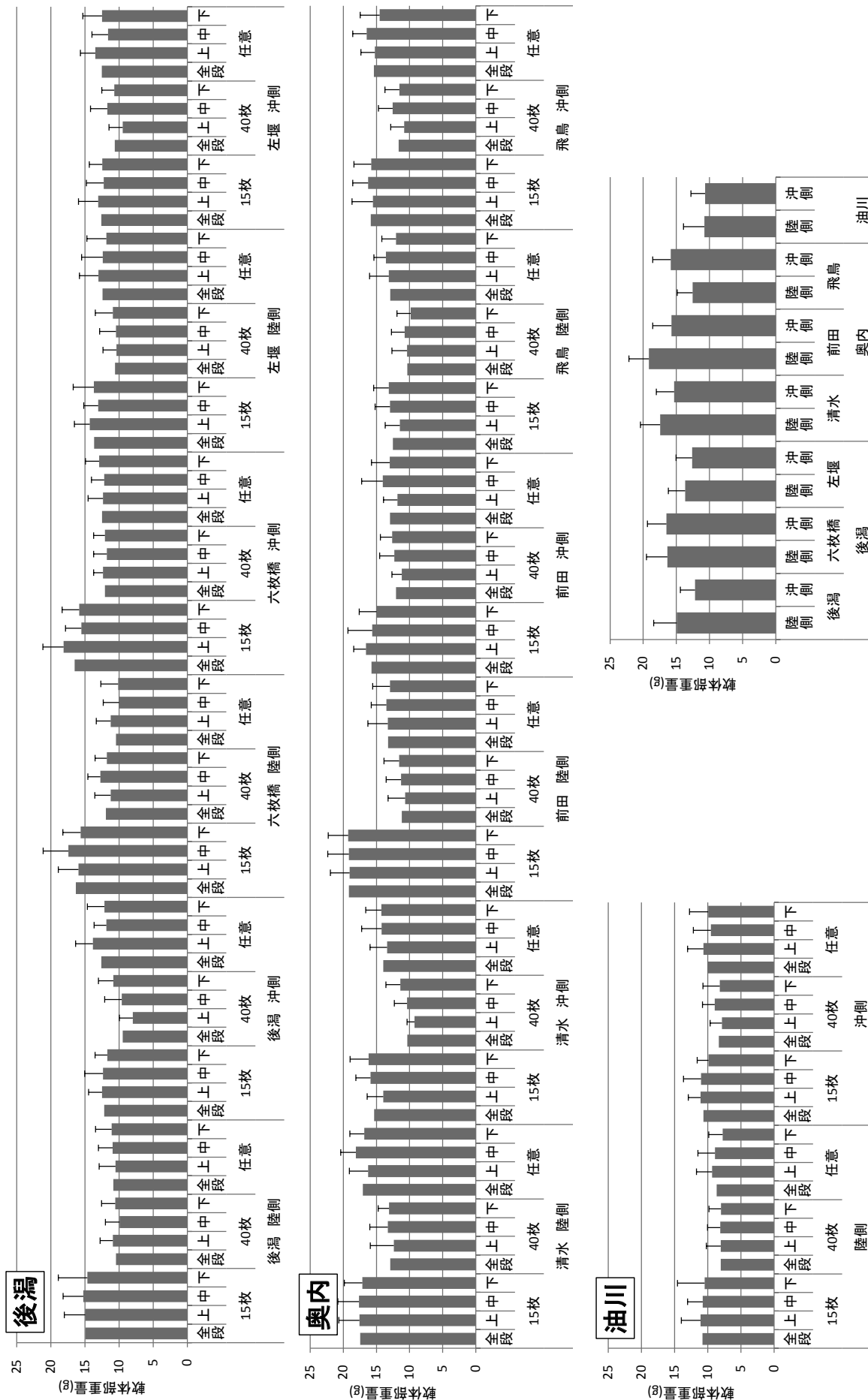


付図2-1-4. 試験終了時の段別のへい死率 (15枚入れで比較)



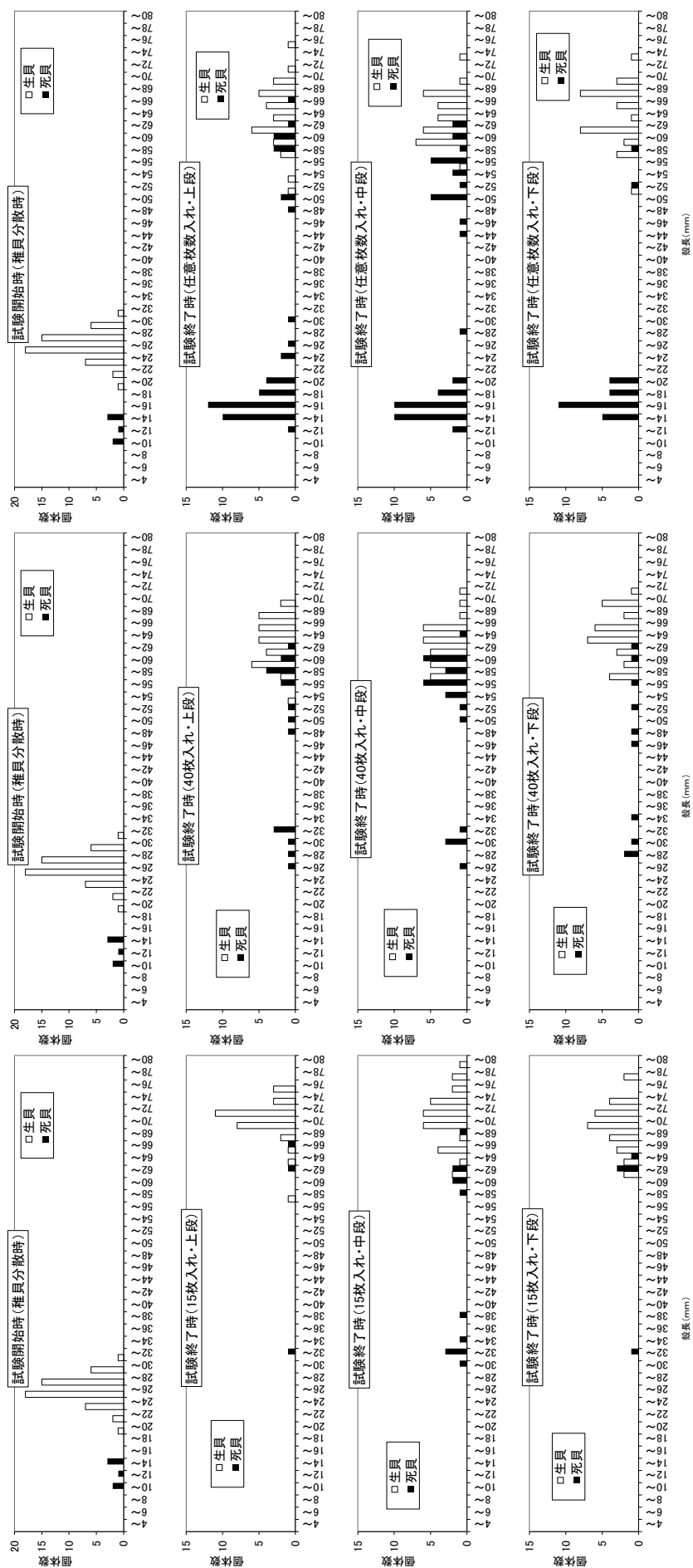
付図2-2-1. 試験終了時の地点別、収容密度別、段別の異常員出現率

付図2-2-2. 試験終了時の地点別の異常員出現率 (15枚入れ、全段と比較)

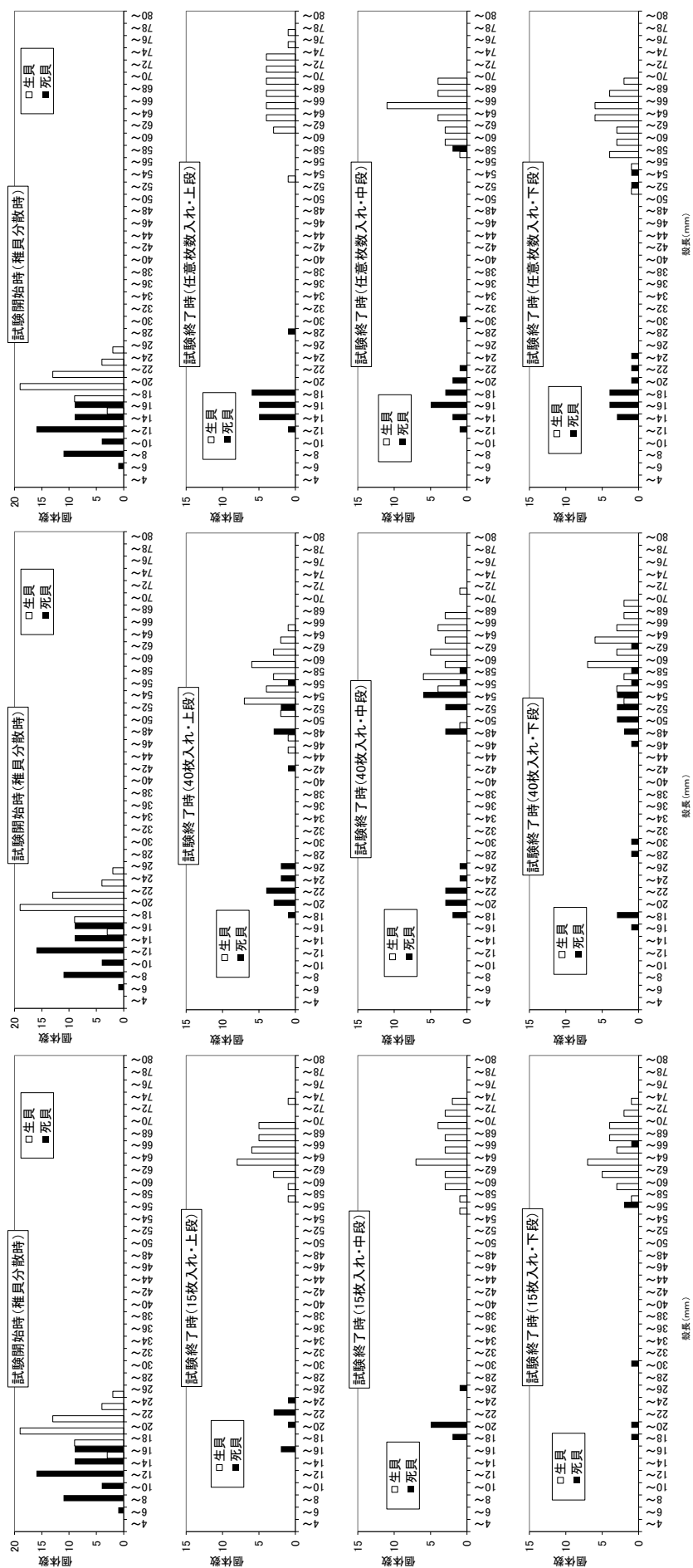


付図2-5-2. 試験終了時の地点別の軟体部重量 (15枚入れ、全段で比較)

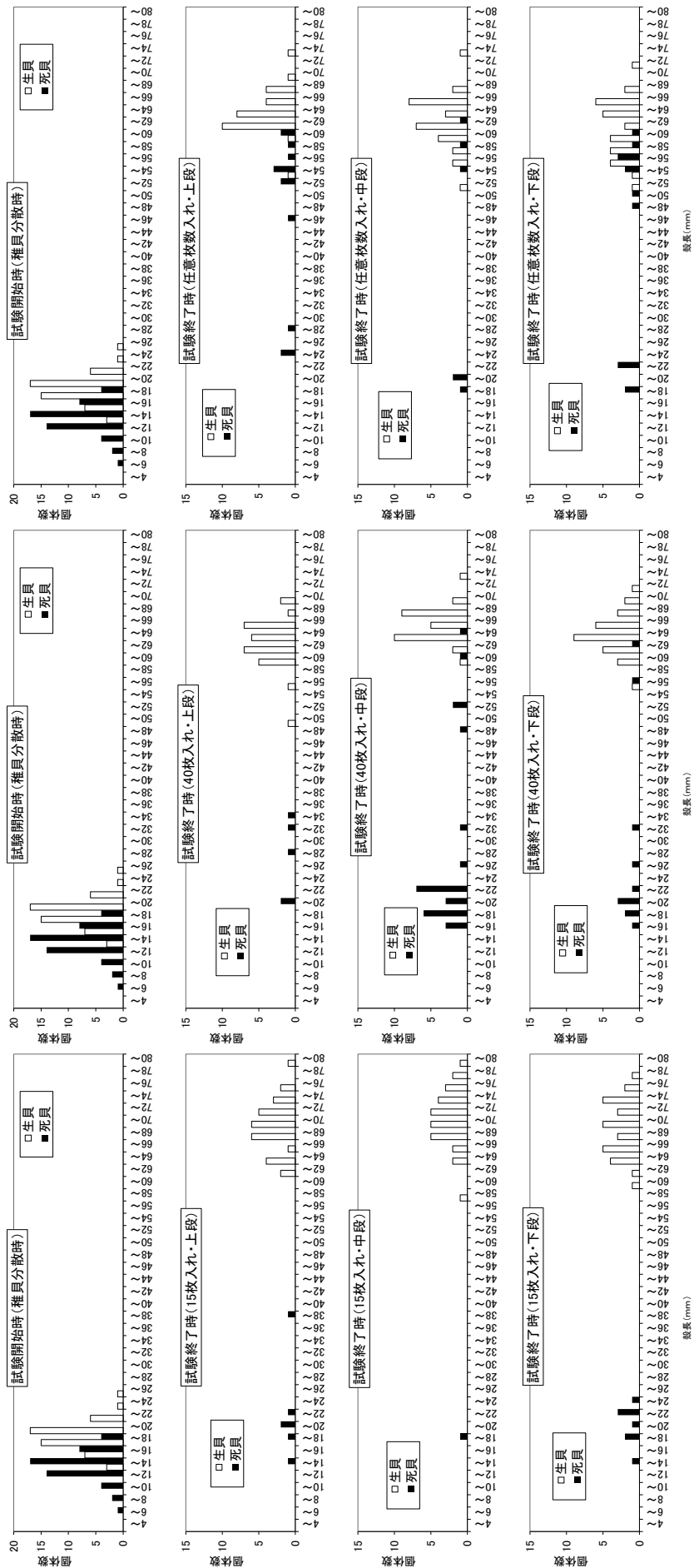
付図2-5-1. 試験終了時の地点別、収容密度別、段別の軟体部重量



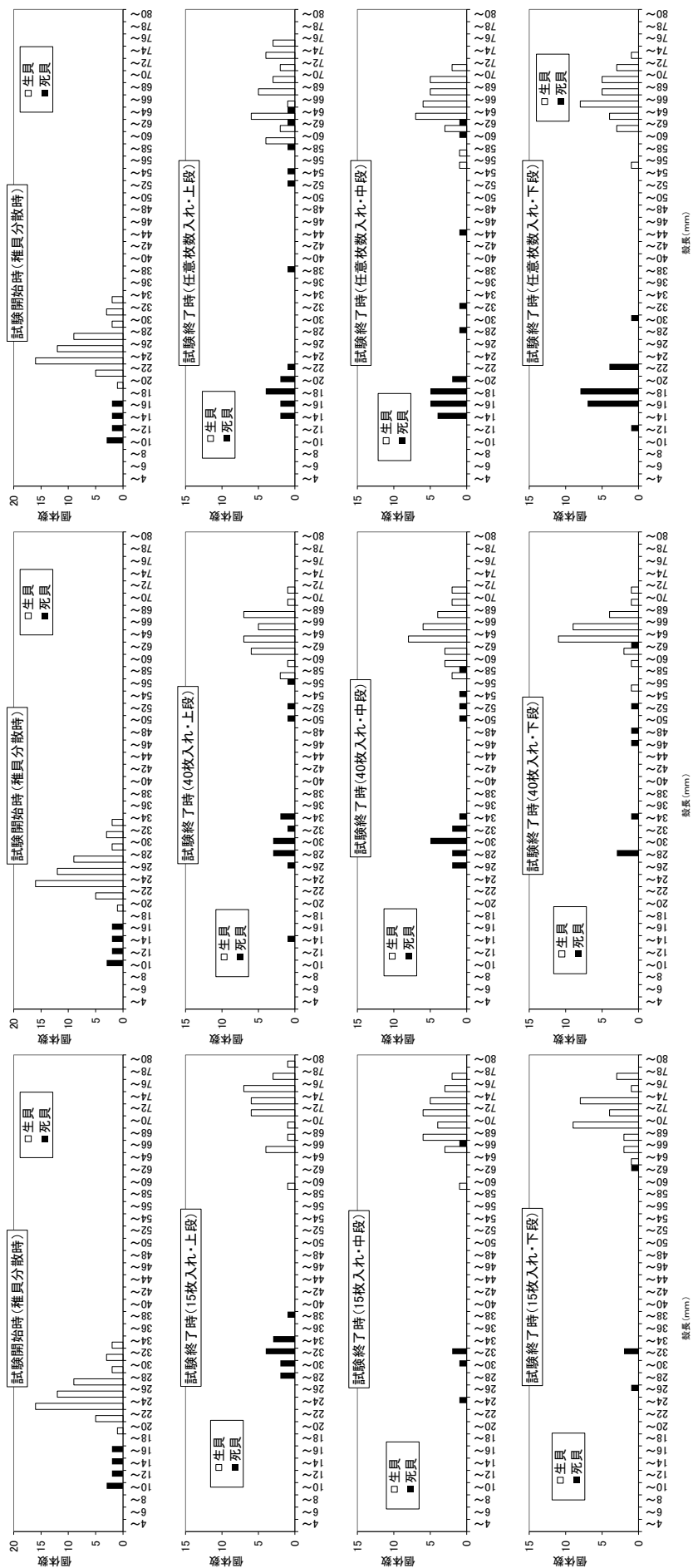
付図3-1. 後渦陸側の成長組成



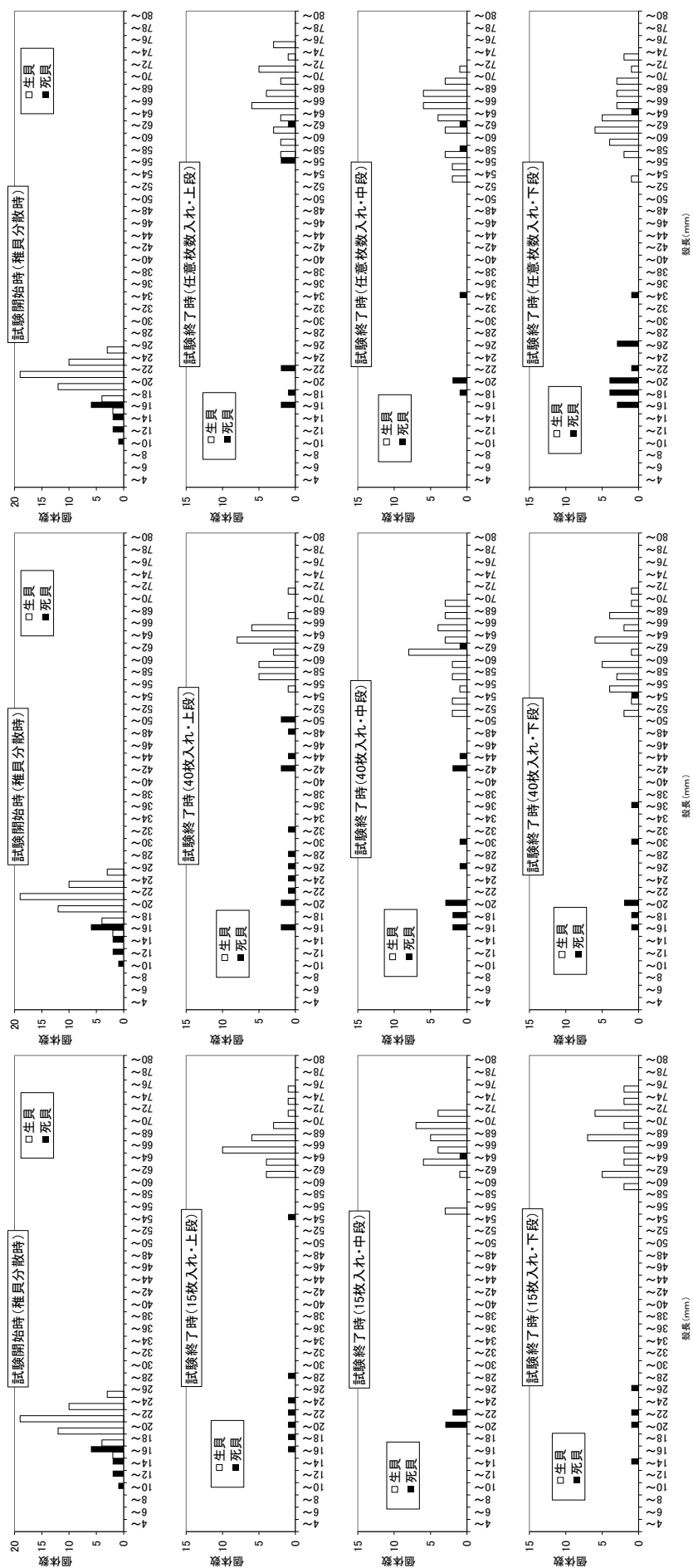
付図3-2. 後潟沖側の殻長組成



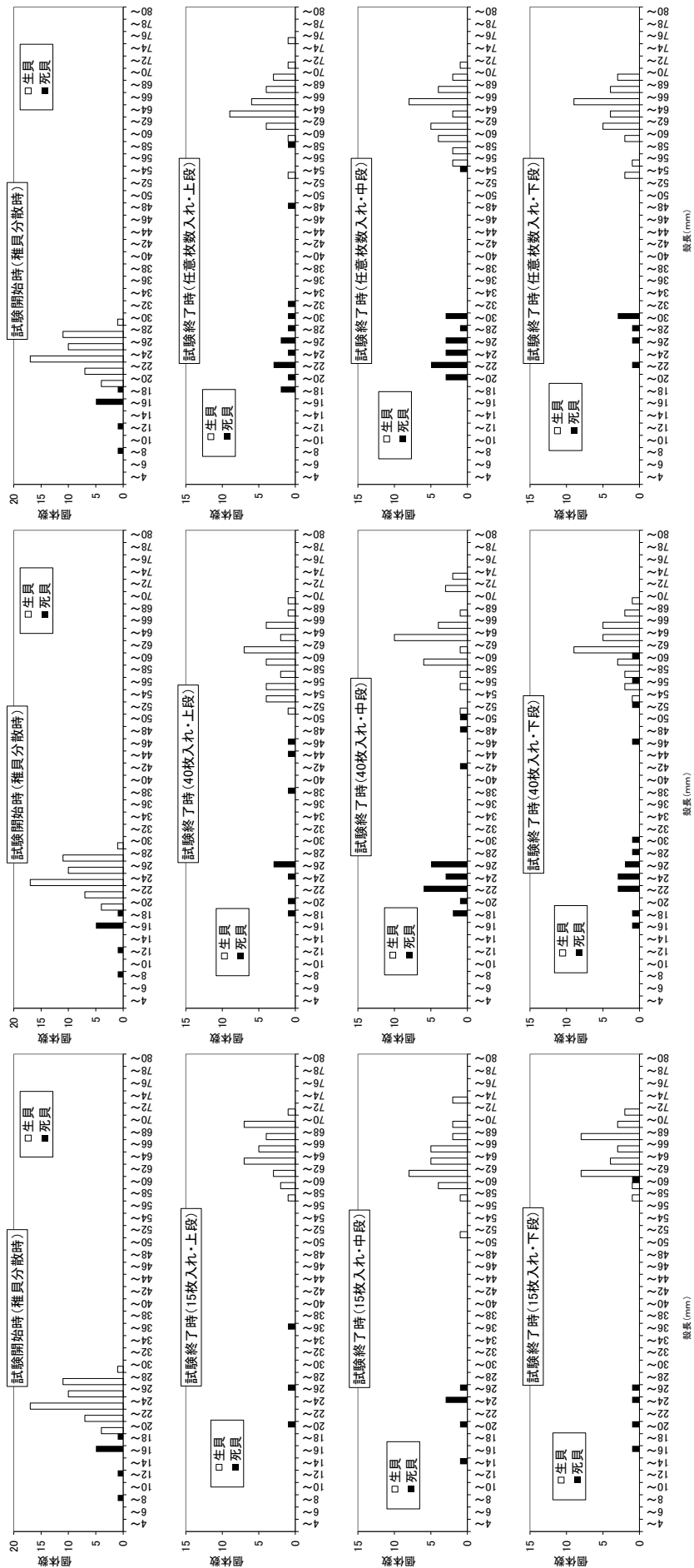
付図3-3. 六枚橋陸側の殻長組成



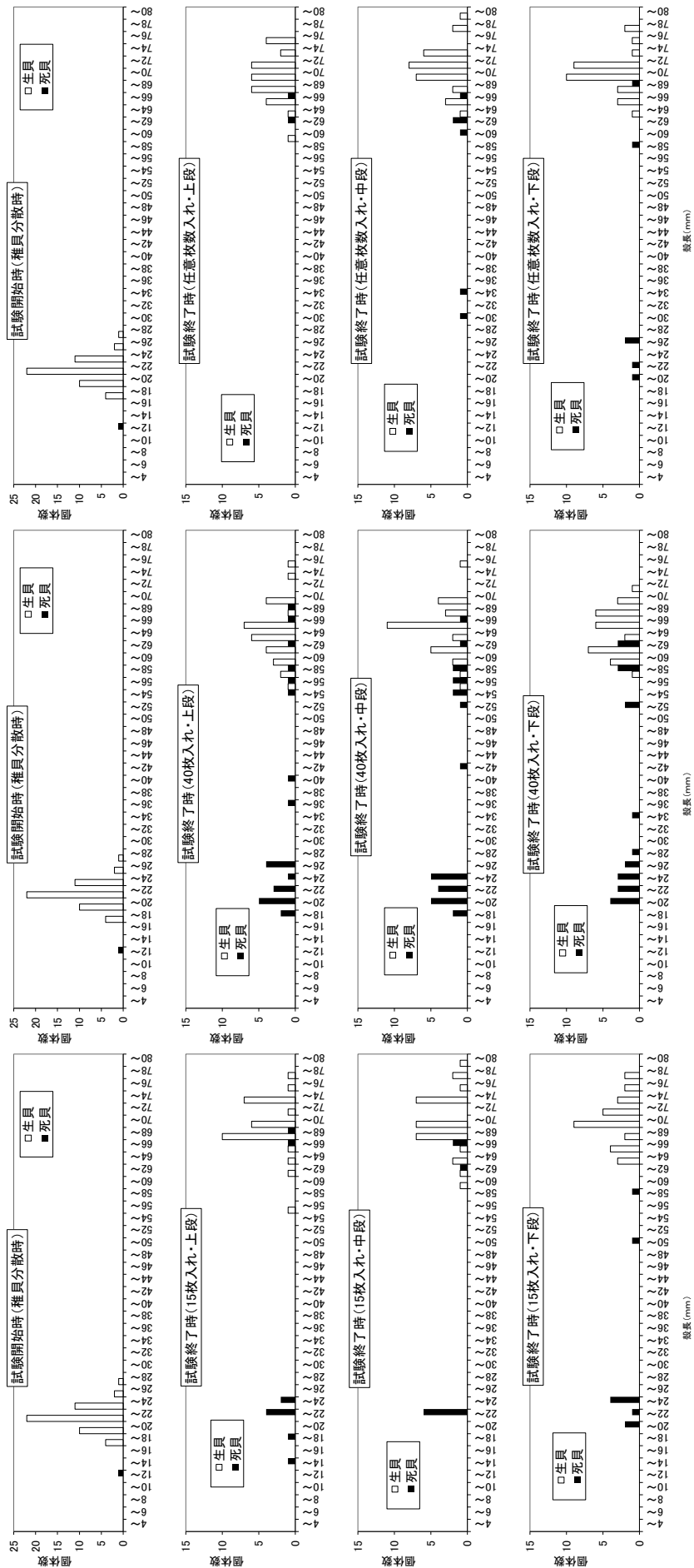
付図3-4. 六枚楯沖刺の殻長組成



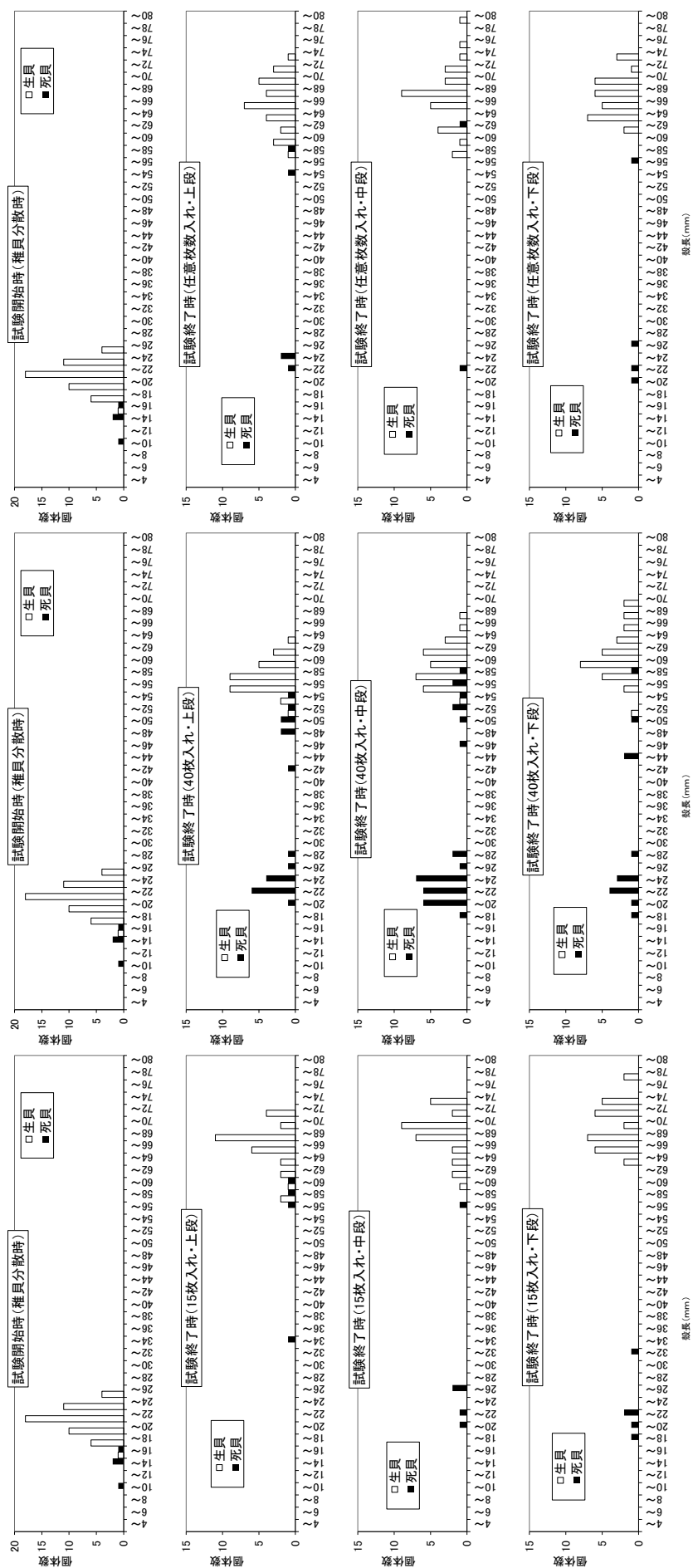
付図3-5. 左堰陸側の殻長組成



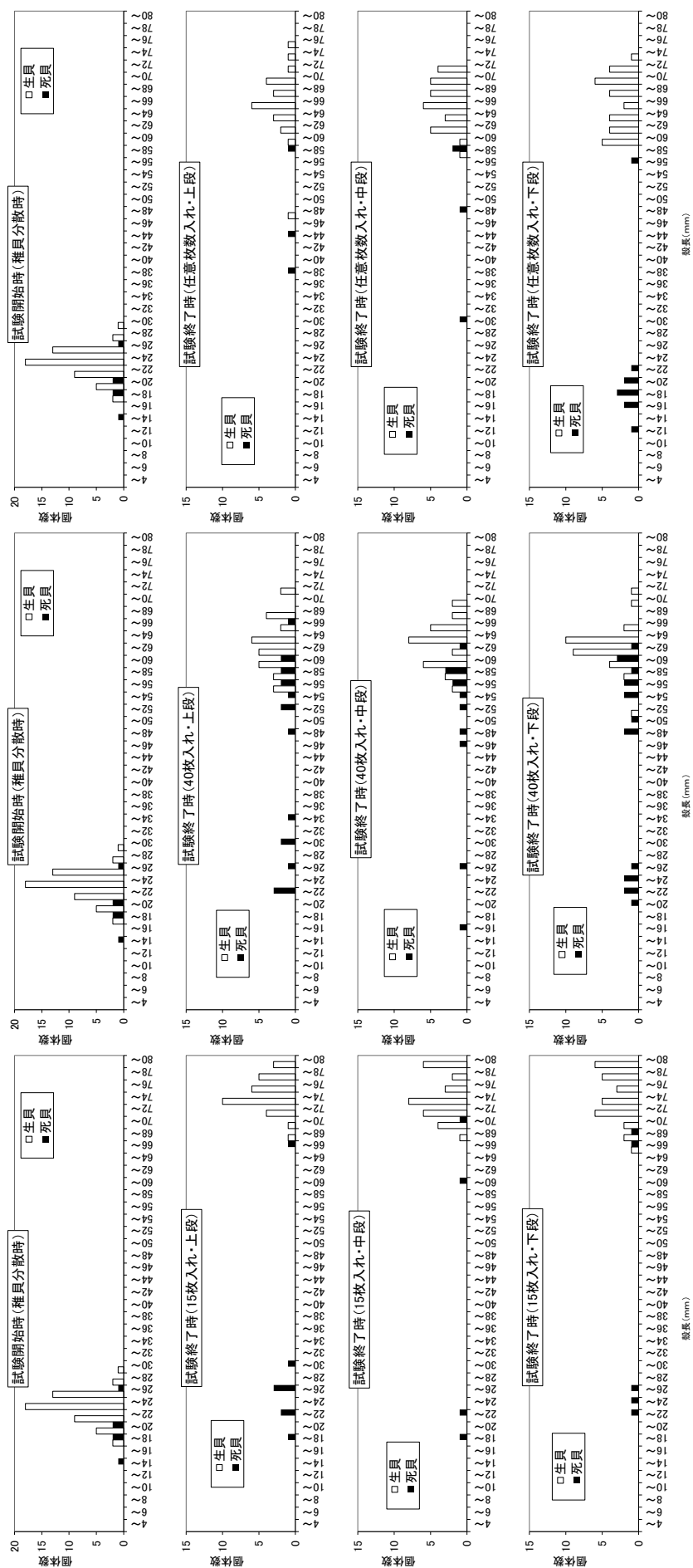
付図3-6. 左堰沖側の殻長組成



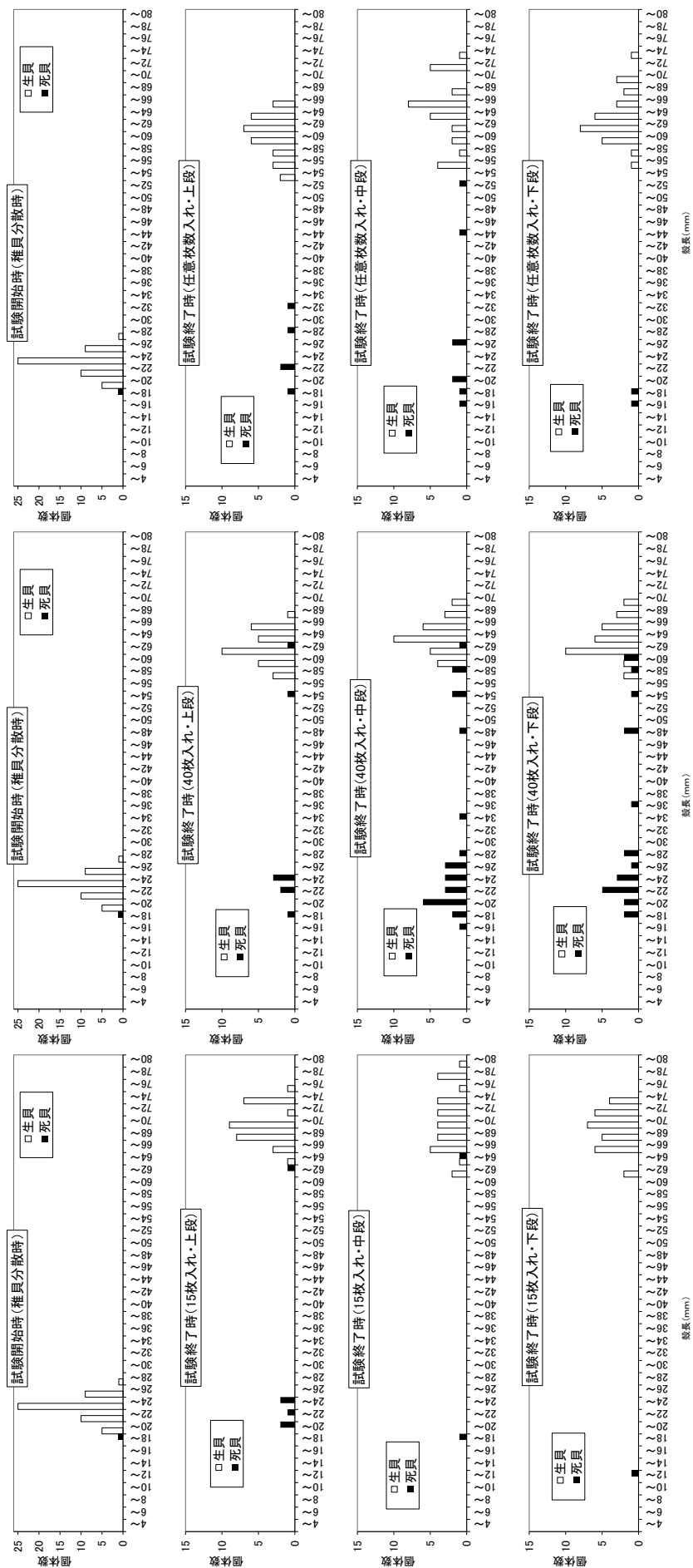
付図3-7. 清水陸側の殻長組成



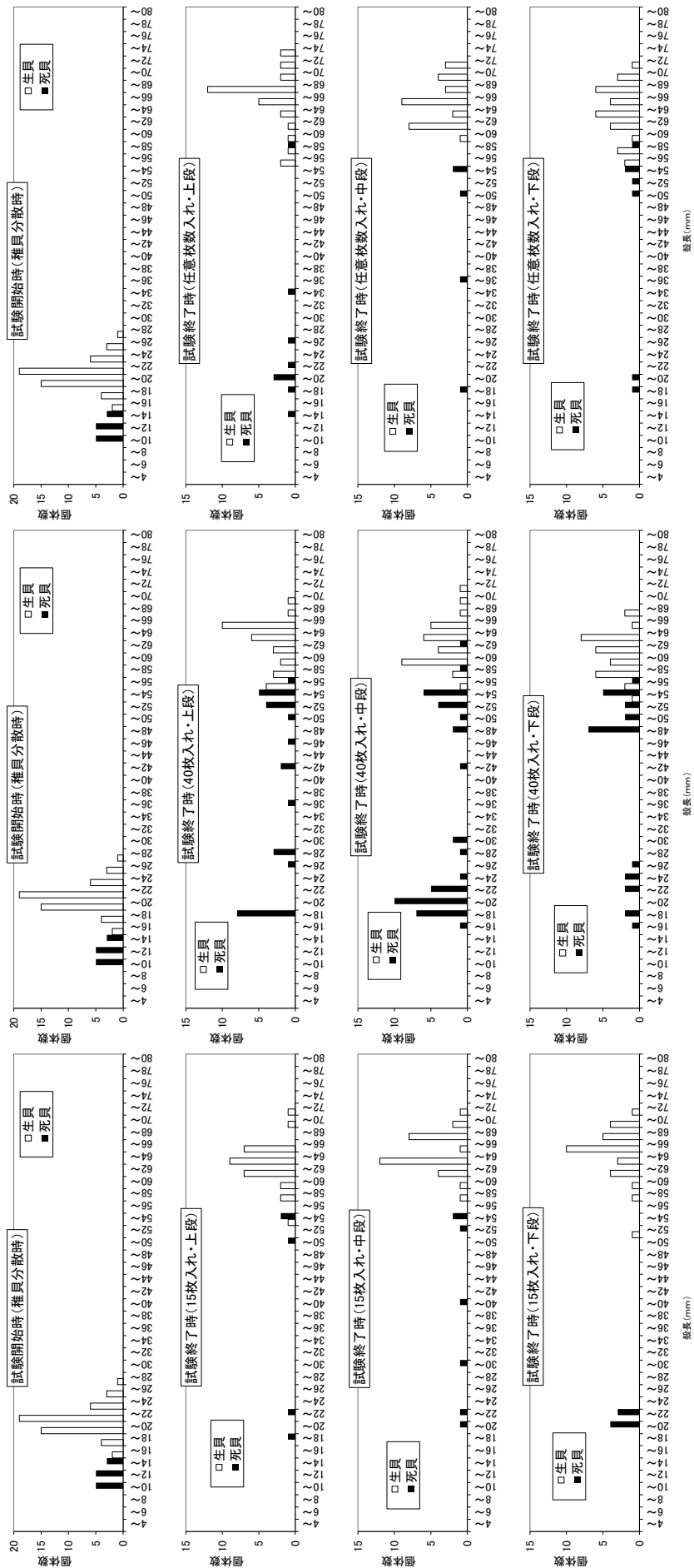
付図3-8. 清水沖側の殻長組成



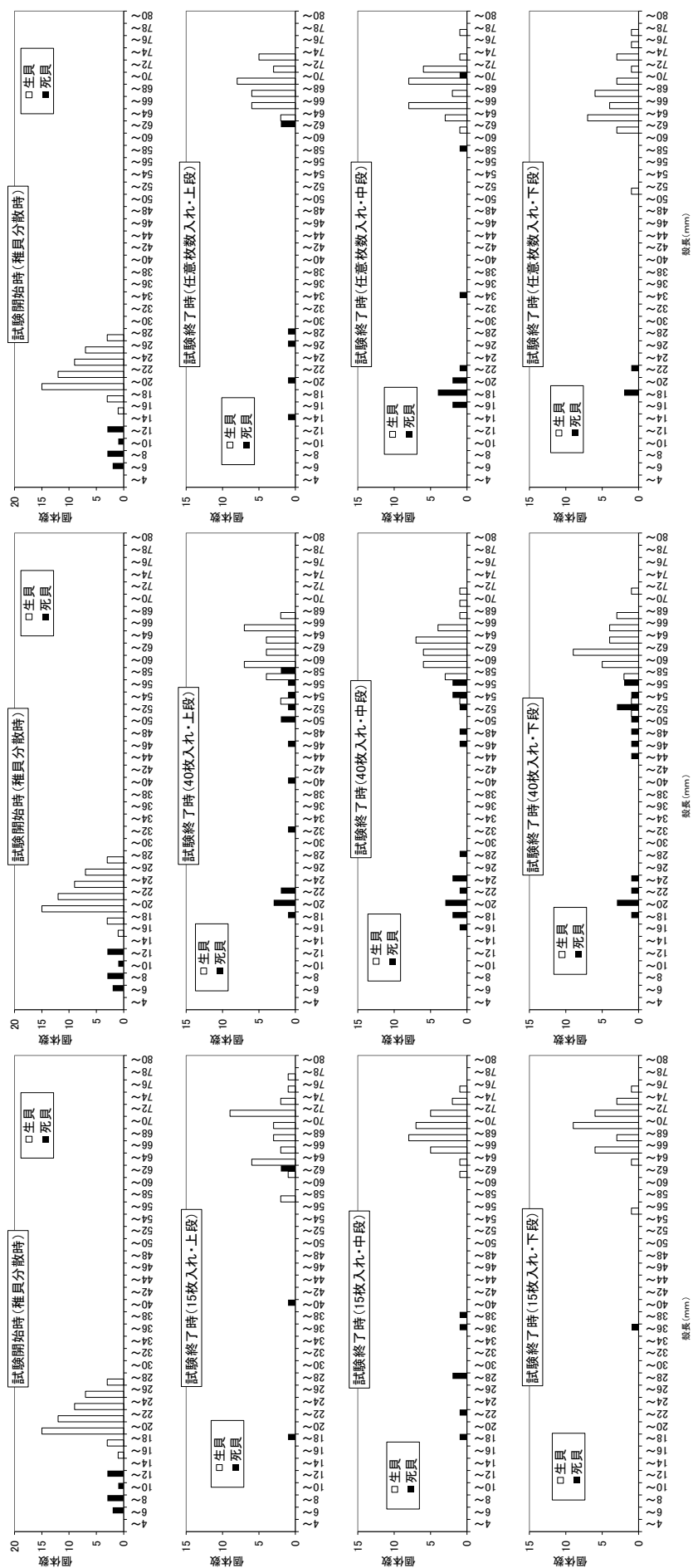
付図3-9. 前田陸側の殻長組成



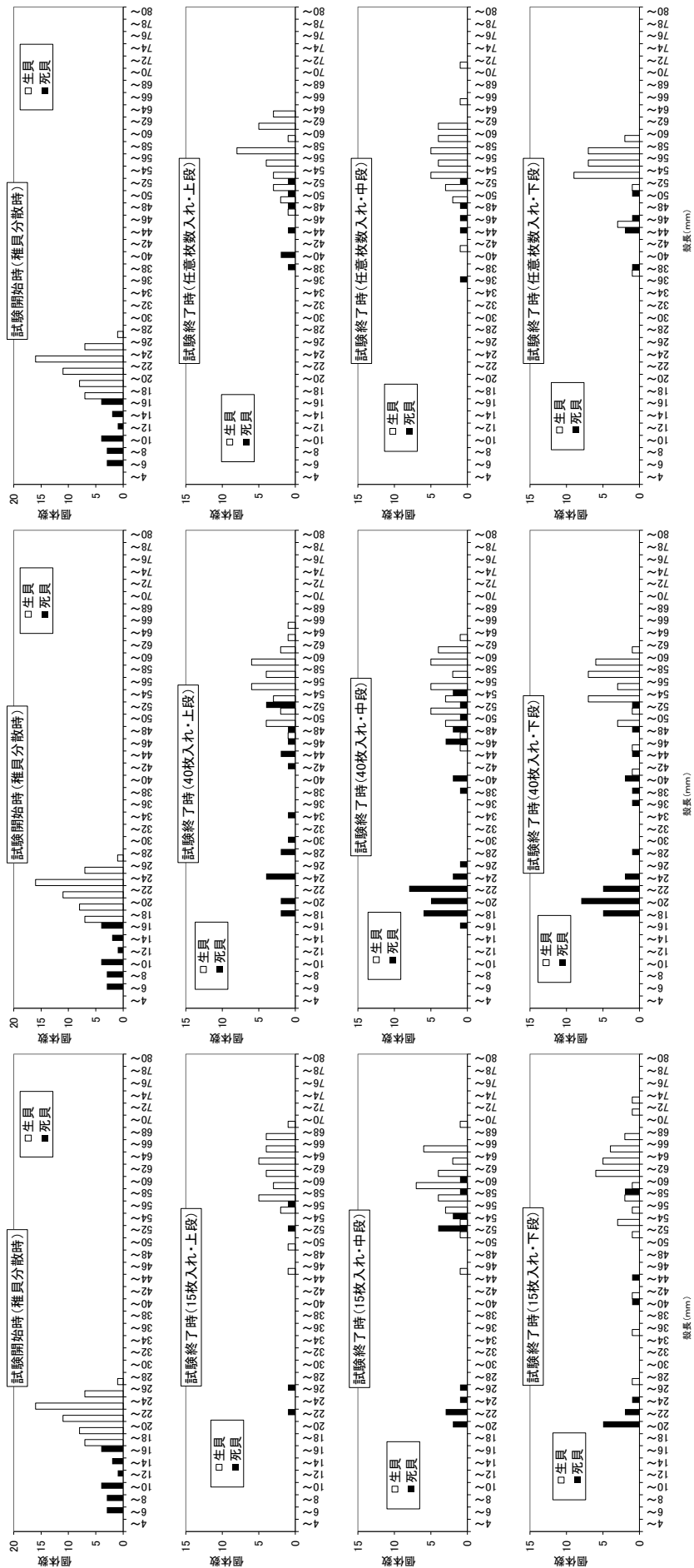
付図3-10. 前田沖削の殻長組成



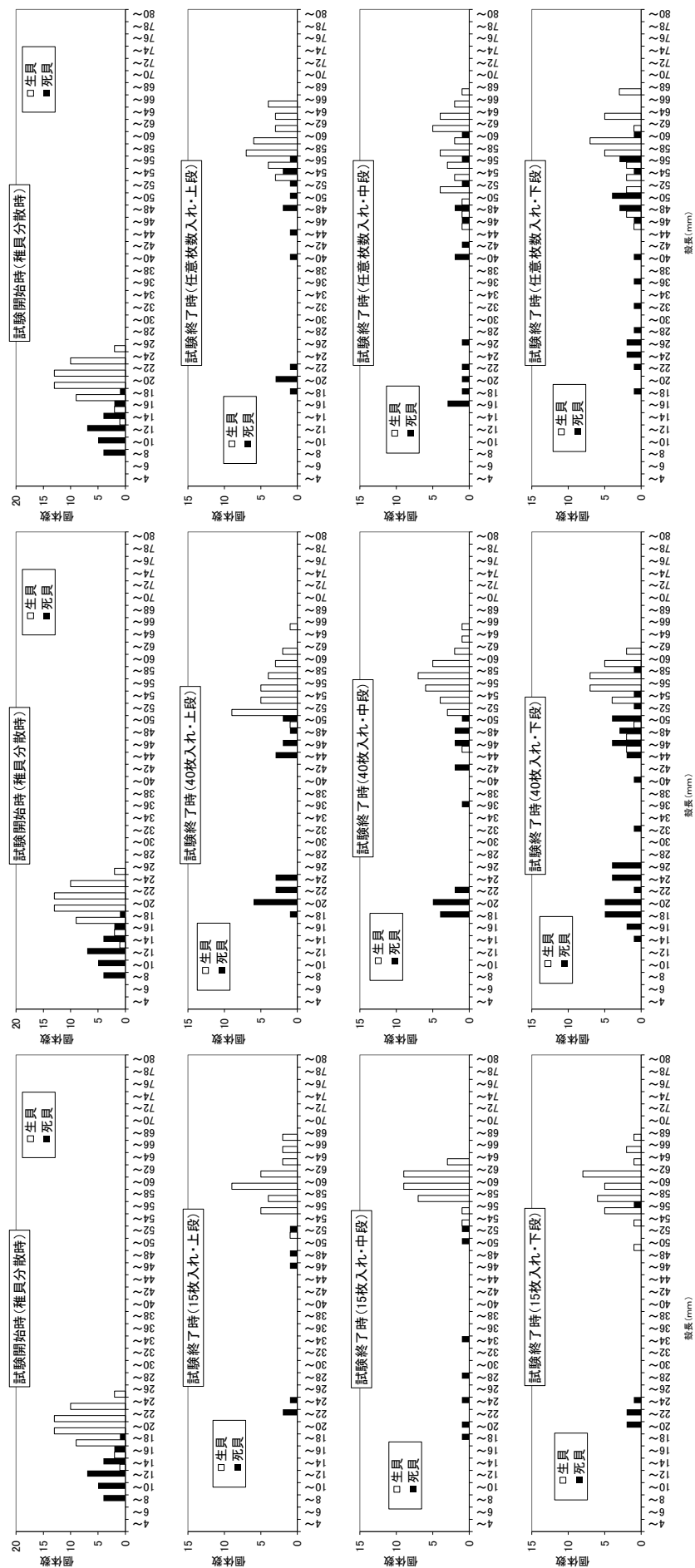
付図3-11. 飛鳥陸側の殻長組成



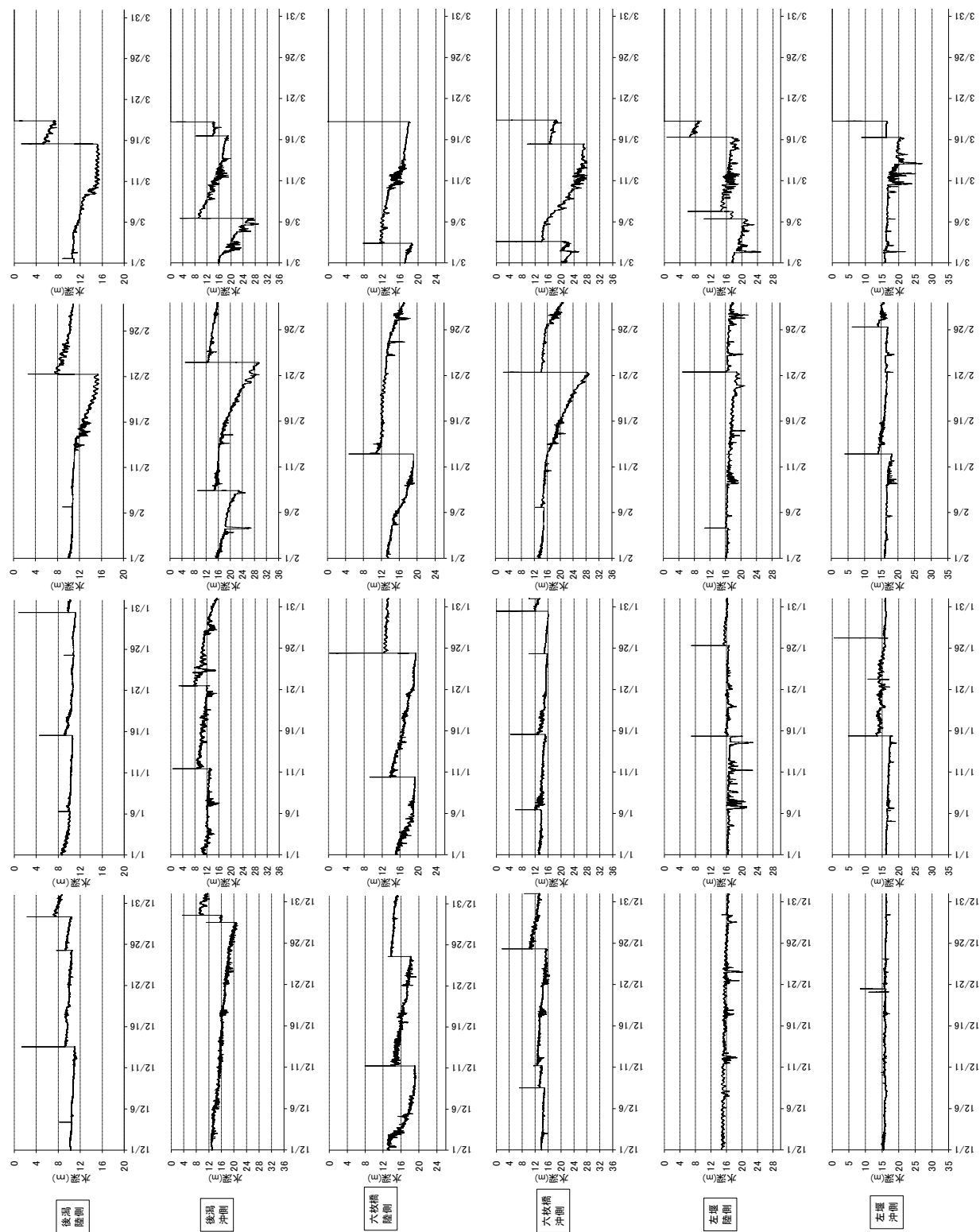
付図3-12. 飛鳥沖側の殻長組成



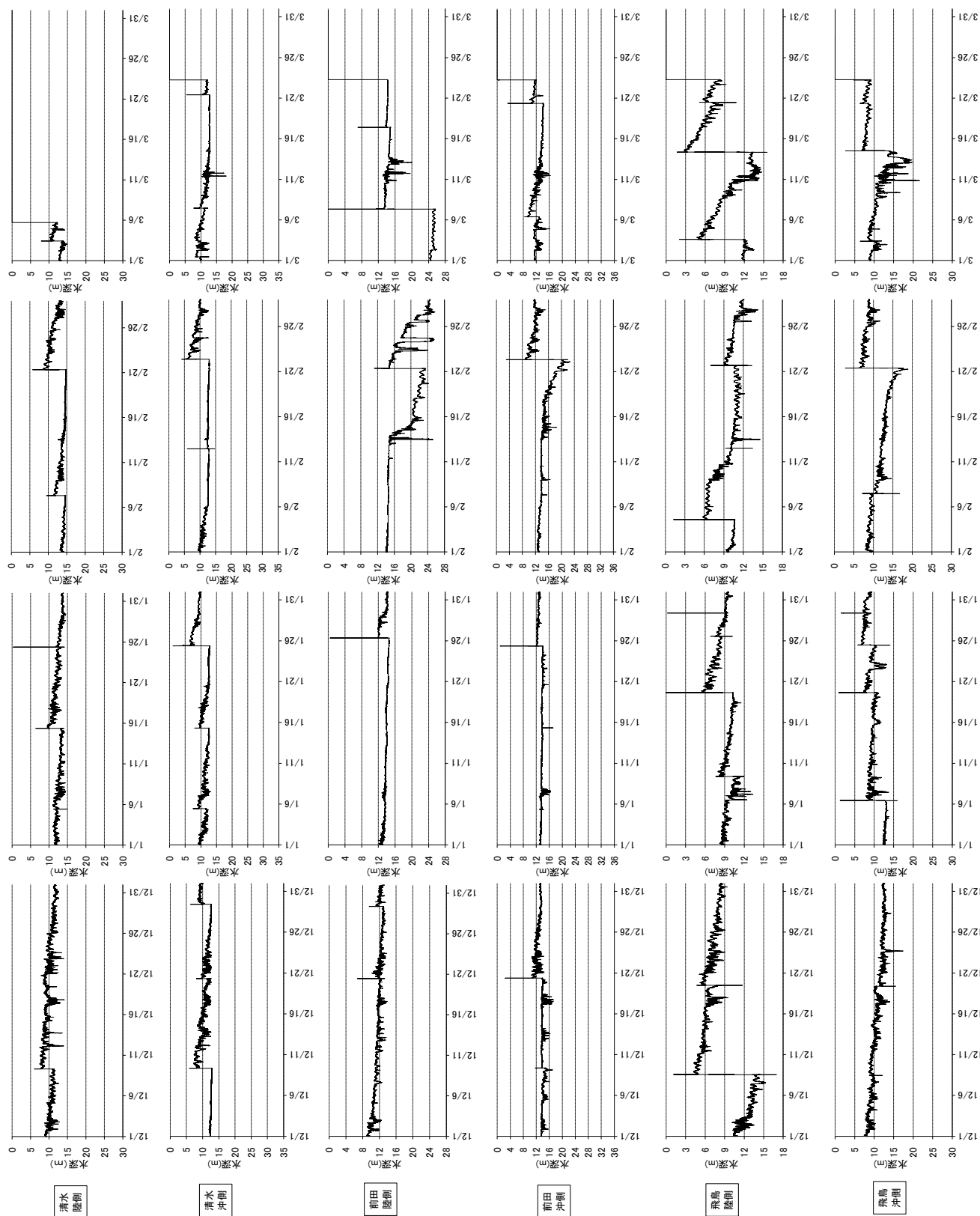
付図3-13. 油川陸側の殻長組成



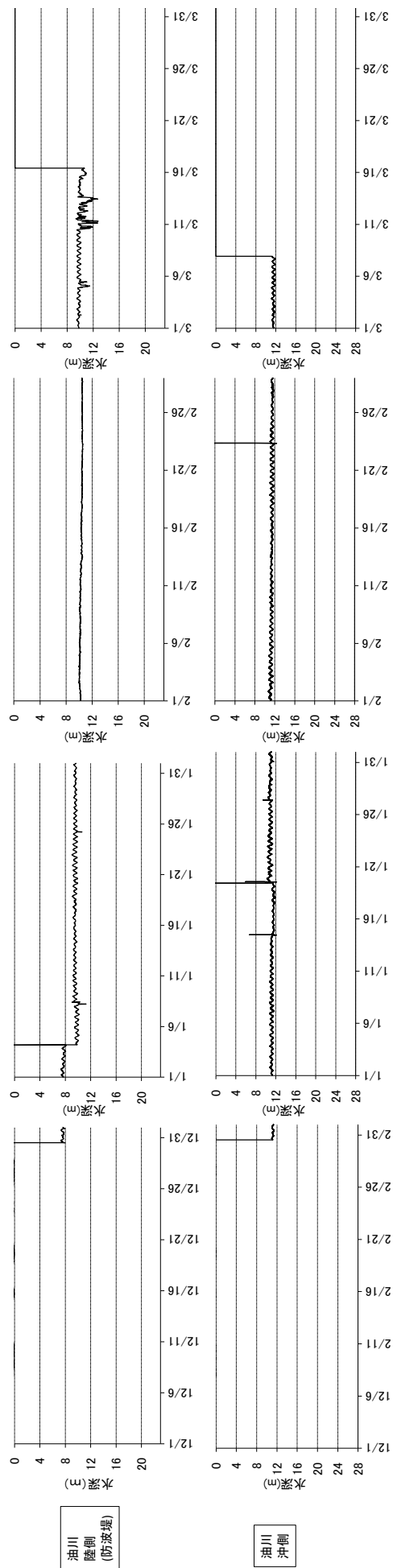
付図3-14. 油川沖側の殻長組成



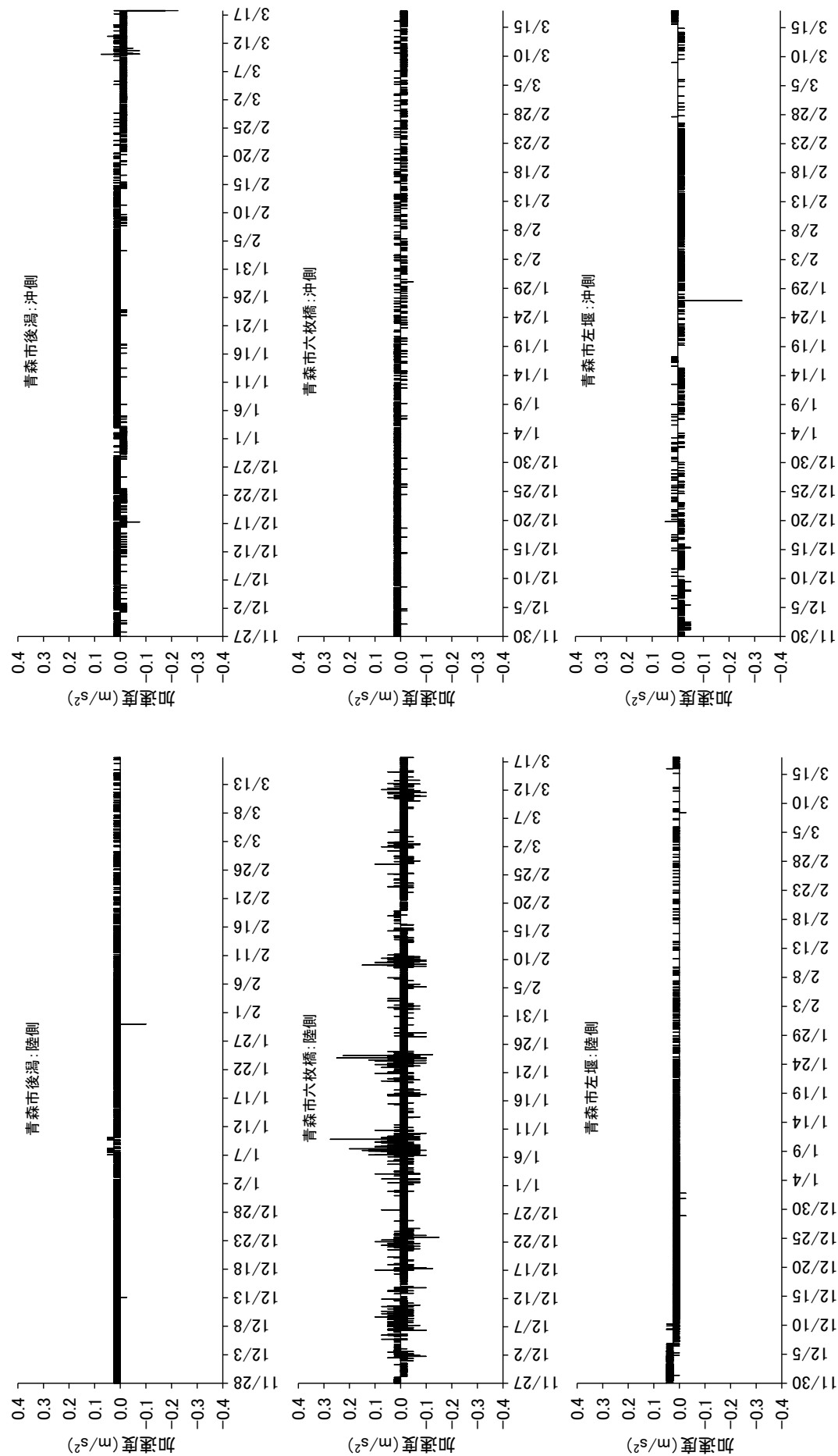
付図4-1. 平成26年12月～平成27年3月における青森市後潟地先の幹綱水深の推移



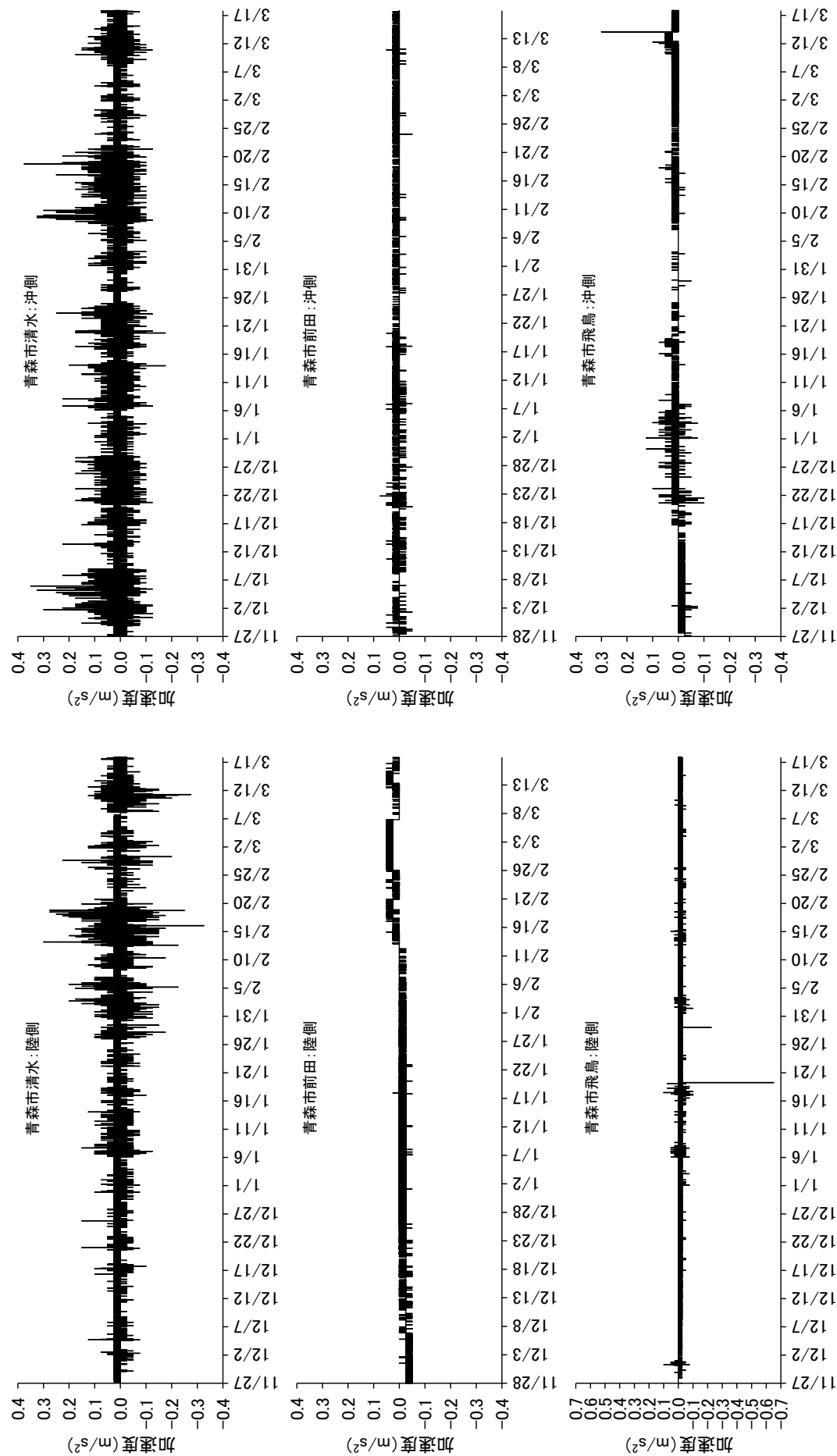
付図4-2. 平成26年12月～平成27年3月における青森市奥内地先の幹細水深の推移（清水陸側の3月6～23日は欠測）



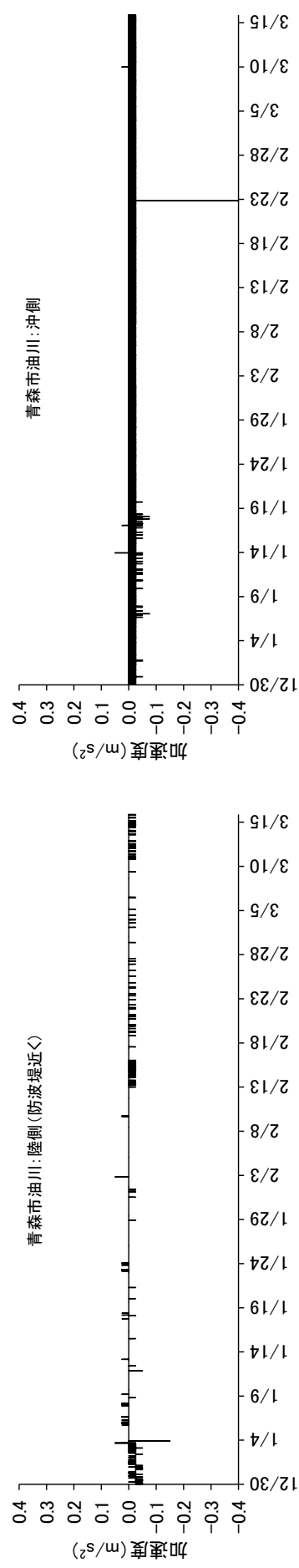
付図4-3. 平成26年12月～平成27年3月における青森市油川地先の幹綱水深の推移（油川沖側の3月6～17日は欠測）



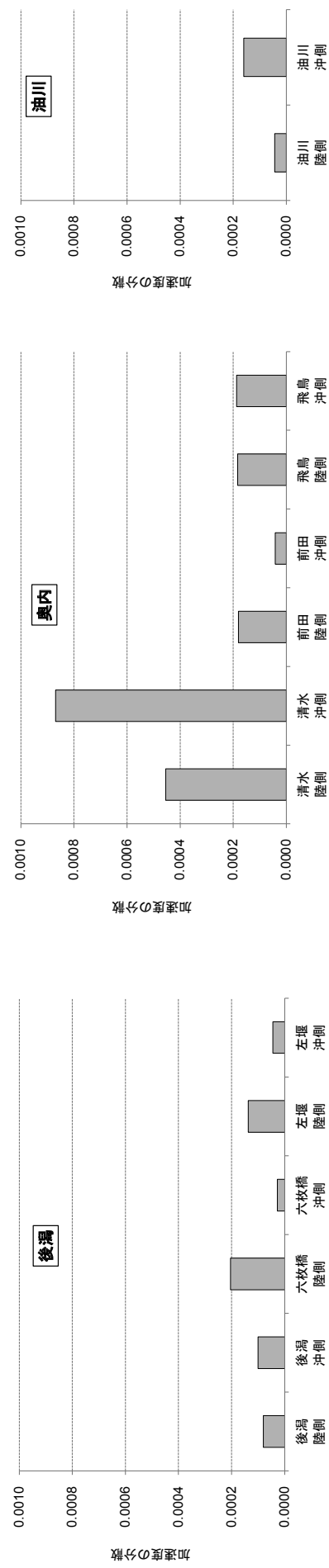
付図5-1. 青森市後潟地区の養殖施設の幹網の加速度の推移



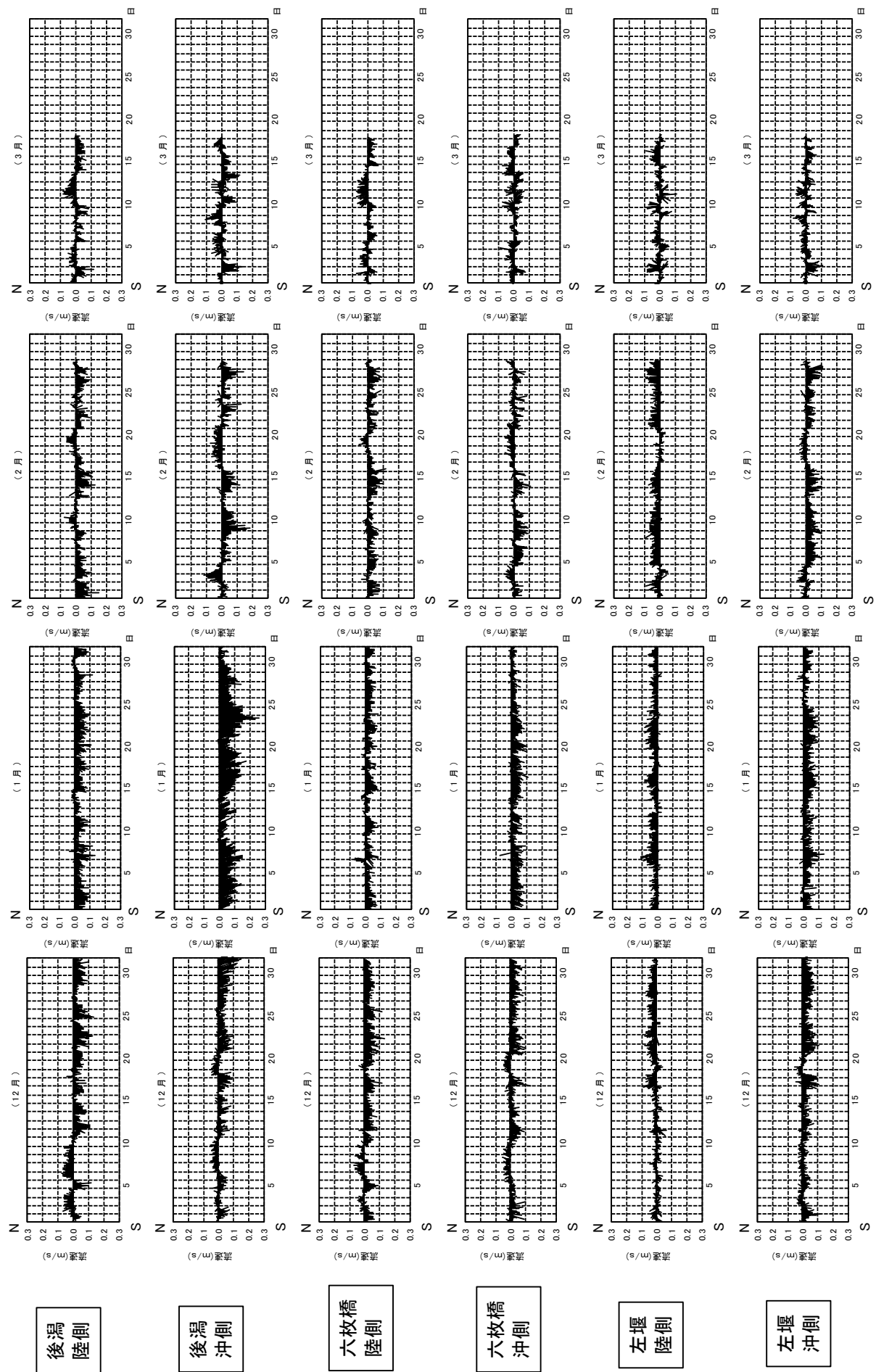
付図5-2. 青森市奥内地区の養殖施設の幹網の加速度の推移



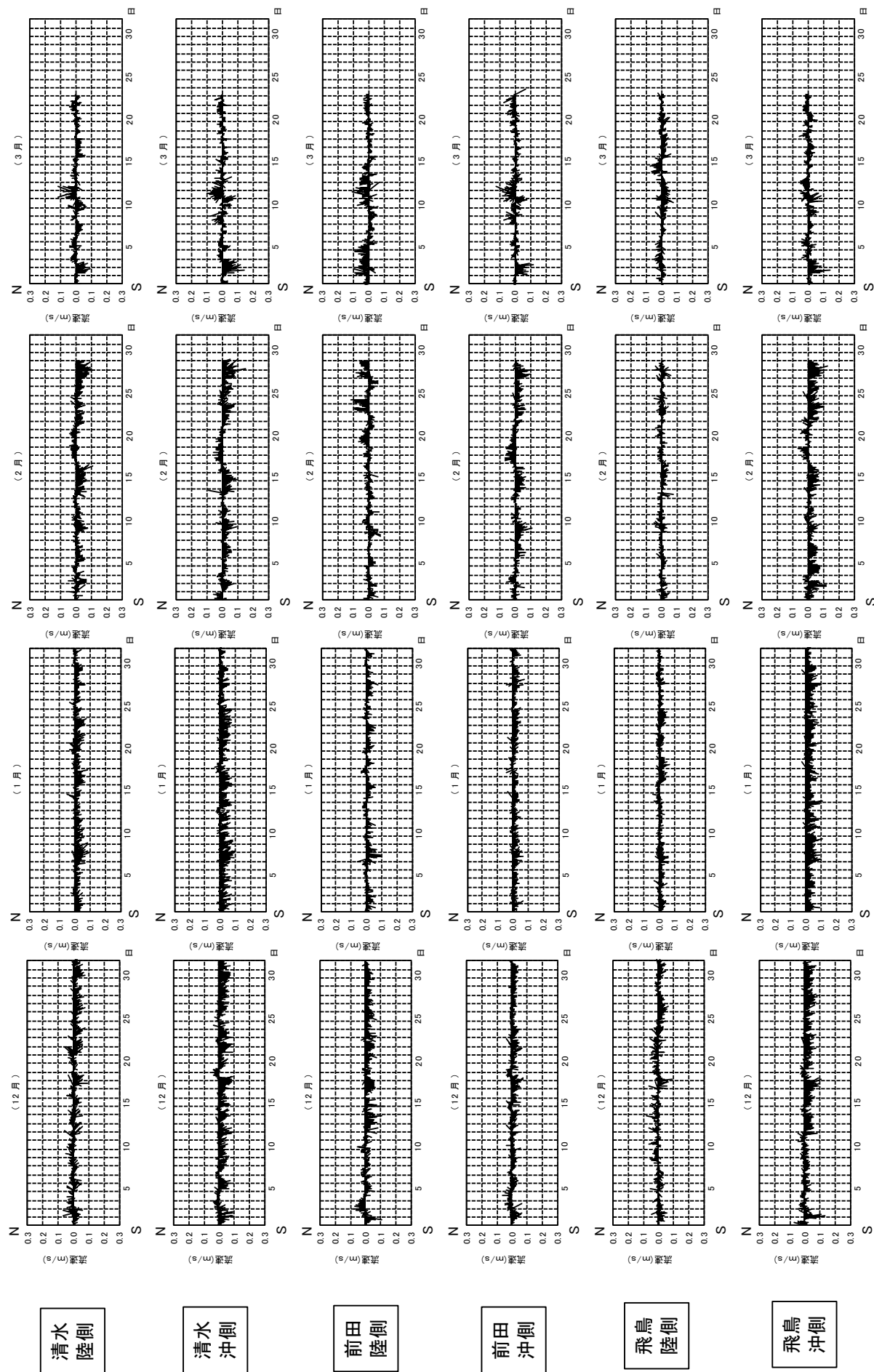
付図5-3. 青森市油川地区の養殖施設の幹網の加速度の推移



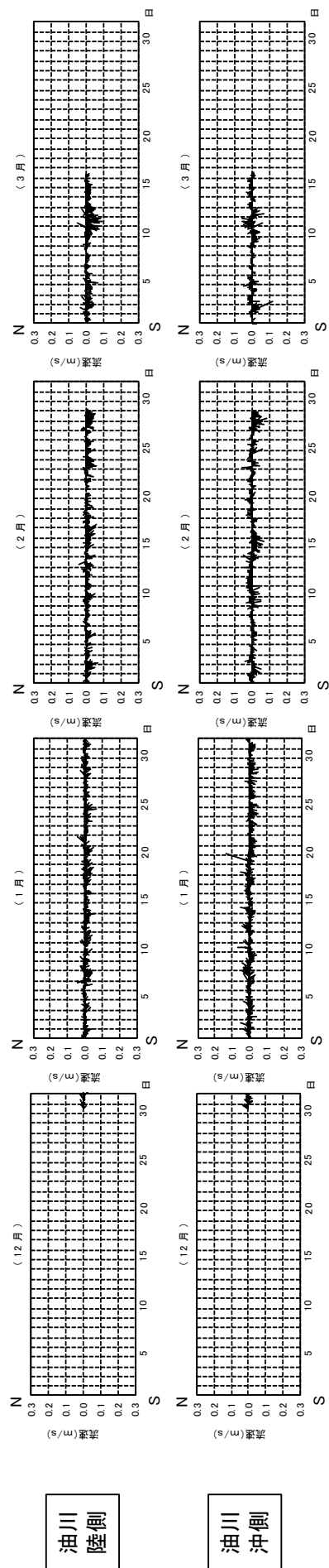
付図5-4. 養殖施設の幹網の加速度の分散



付図6-1. 平成26年12月～平成27年3月における青森市後潟地先の流向流速の推移



付図6-2. 平成26年12月～平成27年3月における青森市奥内地先の流向流速の推移



付図6-3. 平成26年12月～平成27年3月における青森市油川地区の流向流速の推移