ほたてがい冬季へい死モニタリング調査

森恭子・吉田達・山内弘子・小谷健二

目　的

平成 25 年 2～3 月にかけて陸奥湾西湾においてホタテガイ半成貝が大量にへい死した。これまで、冬季へい死多発地区の養殖施設内で、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冬季へい死を軽減する養殖方法の開発に取り組んだ。

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平内町土屋、茂浦、浦田の 3 地区（図 1）において、土屋地区では陸側､沖側､茂浦地区では茂浦の陸側、中間及び双子島の中間、沖側、浦田地区では浦田の陸側、中間、沖側及び稲生の陸側、中間、沖側にある平成 28 年産稚貝の養殖施設各 1 か統（表 1）を対象に実施した。

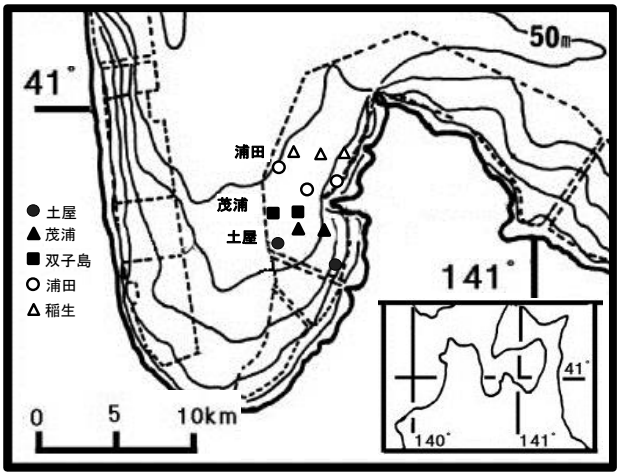


図 1. モニタリング地点図

各養殖施設には､平成 28 年 9～10 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 20 枚収容した試験区（以下､「20 枚/段」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。

稚貝分散時に、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。平成 29 年 3 月の試験終了時に､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、各段の生貝数と死貝数を計数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、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。更に、死貝の殻長を測定してへい死時期を推定した。

また、平成 28 年 12 月から試験終了時まで、前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 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 DEFI2-D10) 及びメモリー式加速度計(Onset Computer 社製 HOBO 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。

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
土屋	土屋　陸側	40m	15m
	土屋　沖側	50m	15m
茂浦	茂浦　陸側	45m	15m
	茂浦　中間	44m	28m
	双子島　中間	49m	21m
	双子島　沖側	45m	13m
浦田	浦田　陸側	48m	16m
	浦田　中間	48m	15m
	浦田　沖側	52m	15m
	稲生　陸側	42m	15m
	稲生　中間	50m	15m
	稲生　沖側	52m	15m

2. へい死を軽減するための養殖方法の開発

前述の集中モニタリング地点のうち、平成 28 年 9 月 27 日に土屋の陸側、9 月 28 日に浦田の沖側において､パールネット 1 段当り 20 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 3 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（鉛100匁区）、太枠、錘を付さないもの（錘なし区）を作成して、養殖施設の2つの調整玉と調整玉の中間部の幹綱に垂下した（図2）。また、パールネットを垂下した付近の幹綱にメモリー式深度計（JFE アドバンテック社製 DEFI2-D10）、パールネットを垂下した付近の幹綱及びパールネットの9段目と10段目の間にメモリー式加速度計（Onset Computer 社、HOBO ペンダント G Logger）を設置し、1分間隔の幹綱水深、5分間隔の鉛直方向の加速度を測定した（図2）。

平成29年3月13日に土屋の陸側、3月27日に浦田の沖側の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、各段の生貝数と死貝数を計数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、異常貝数を計数して異常貝率を求めた。

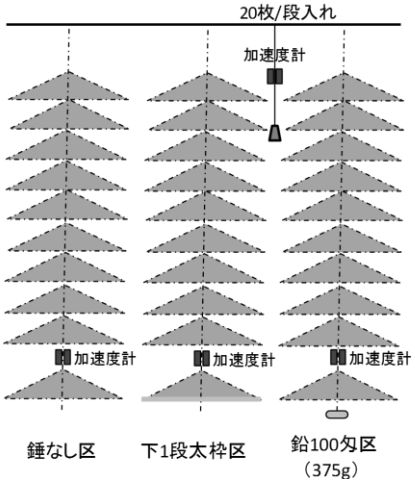


図2. 試験区の設置イメージ

結果と考察

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

養殖作業及びホタテガイの測定時期を表2に、養殖施設の基本構造を表3に、養殖施設の構造等を表4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5～8に、稚貝分散時のへい死率及び異常貝率、平均殻長を付図1-1～1-3に、稚貝分散時の収容枚数と殻長の散布図を付図1-4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2. 養殖作業及びホタテガイの測定時期

地区	施設の場所	稚貝分散	試験終了
土屋	土屋 陸側	H28.9.27	H29.3.13
	土屋 沖側	H28.9.23	H29.3.13
茂浦	茂浦 陸側	H28.10.11	H29.3.21
	茂浦 中間	H28.10.8	H29.3.21
	双子島 中間	H28.10.5	H29.3.21
	双子島 沖側	H28.10.12	H29.3.21
浦田	浦田 陸側	H28.9.27	H29.3.28
	浦田 中間	H28.10.5	H29.3.27
	浦田 沖側	H28.9.28	H29.3.27
	稲生 陸側	H28.10.22	H29.3.27
	稲生 中間	H28.9.30	H29.3.27
	稲生 沖側	H28.9.30	H29.3.27

(1) へい死率

稚貝分散時のへい死率は、稲生沖側で20.0%と最も高く、次いで浦田沖側が17.9%、茂浦中間が15.9%、双子島沖側が14.4%、土屋沖側が11.1%で、どの地区においても沖側の施設のへい死率が高かった（表5、付図1-1）。

試験終了時のへい死率は、分散直後の死貝を除いた場合、最もへい死率が高い地区でも茂浦中間の6.2%、12地点のへい死率の平均は2.5%と低かった（表6～8）。各地点の施設の場所別で全段のへい死率を比較すると、茂浦は中間が、双子島は沖側が、土屋、浦田、稲生は陸側が高く、場所で異なっていた。（付図2-1-1）。各地点の段別のへい死率を比較すると、土屋陸側と茂浦中間、浦田陸側、稲生沖側で下段のへい死率が他の段と比べて高かった（付図2-1-2）。

表3. 養殖施設の基本構造

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 重量	アンカー 個数	土俵
土屋	土屋 陸側	40m	15m	200m	100m	60kg	両側片爪3丁	無
	土屋 沖側	50m	15m	200m	100m	60kg	両側片爪2丁	無
茂浦	茂浦 陸側	45m	15m	200m	100m	90kg	両側片爪3丁	無
	茂浦 中間	44m	28m	200m	200m	90kg	両側片爪2丁	無
	双子島 中間	49m	21m	200m	120m	90kg	両側片爪2丁	無
	双子島 沖側	45m	13m	200m	100m	100kg	両側片爪3丁	無
浦田	浦田 陸側	48m	16m	200m	130m	90kg	両側片爪3丁	無
	浦田 中間	48m	15m	200m	150m	80kg	両側片爪3丁	無
	浦田 沖側	52m	15m	200m	200m	90kg	両側片爪3丁	無
	稲生 陸側	42m	15m	200m	100m	100kg	両側片爪3丁	無
	稲生 中間	50m	15m	200m	200m	100kg	両側片爪3丁	無
	稲生 沖側	52m	15m	200m	150m	100kg	両側片爪3丁	無

表 4. 養殖施設の構造等

地区	施設の場所	調整玉 種類	個数	箇所数	底玉 種類	個数	パールネット 目合	段数	連数	収容数	錘	備考
土屋	土屋 陸側	ABS製1尺2寸[*1]	2個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	36個	3分	10段	1100連	20個体/段	鉛50匁	選別機の目合6分5厘
	土屋 沖側	ABS製1尺2寸[*1]	2個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	44個	3分	10段	1100連	20個体/段	鉛50匁	選別機の目合5分5厘
茂浦	茂浦 陸側	ABS製1尺2寸	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	30個	3分	10段	1200連	20個体/段	無	選別機の目合6分
	茂浦 中間	ABS製1尺3寸[*2]	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	33個	3分	9段	1320連	20個体/段	最下段に太枠ネット	選別機の目合5分5厘
	双子島 中間	ABS製1尺3寸[*3]	1個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	33個	3分	9段	1200連	20個体/段	無	選別機の目合5分5厘
	双子島 沖側	ABS製1尺2寸[*4]	1個	5ヶ所	ABS製1尺2寸	43個	3分	10段	1000連	23個体/段	最下段に太枠ネット	選別機の目合6分5厘
浦田	浦田 陸側	ABS製1尺3寸	2個	7ヶ所	ABS製1尺3寸	60個	2分	9段	1500連	15個体/段	最下段に太枠ネット	選別機の目合4分
	浦田 中間	ABS製1尺3寸	1個	6ヶ所	ABS製1尺3寸	50個	2分	9段	1800連	15個体/段	最下段に太枠ネット	選別機の目合6分5厘
	浦田 沖側	ABS製1尺3寸[*5] ABS製1尺2寸	2個	5ヶ所	ABS製1尺3寸	64個	3分	9段	1600連	20個体/段	無	選別機の目合4分
	稲生 陸側	ABS製1尺3寸[*5,6]	2個	7ヶ所	ABS製1尺3寸	66個	3分	10段	2000連	15個体/段	鉛100匁	選別機の目合6分5厘
	稲生 中間	ABS製1尺3寸[*7]	2個	7ヶ所	ABS製1尺3寸	45個	3分	8段	1800連	20個体/段	最下段に太枠ネット	選別機の目合6分
	稲生 沖側	ABS製1尺3寸	2個	2ヶ所	ABS製1尺2寸	1個	3分	10段	1連[*8]	20個体/段	鉛100匁	選別機の目合6分5厘

*1 両端はABS製1尺2寸1個と1尺3寸2個の連結
*2 両端はABS製1尺2寸1個と1尺3寸1個の連結
*3 両端及び中心を除く2ヶ所はABS製1尺2寸1個と1尺3寸1個の連結
*4 両端はABS製1尺3寸1個と8寸1個の連結
*5 両端はABS製UFO型1個
*6 中心は1尺3寸3個
*7 片端はABS製UFO型1個、片端は1尺3寸3個
*8 空の施設にホタテガイサンプルと測器のみ垂下

表 5. 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）	異常貝（枚）	へい死率(%)	異常貝率(%)	殻長(mm) 平均値±SD
土屋	土屋 陸側	235	13	0	5.2	0.0	22.4 ± 2.2
	土屋 沖側	225	28	1	11.1	2.0	20.1 ± 2.9
茂浦	茂浦 陸側	174	18	6	9.4	12.0	21.1 ± 2.4
	茂浦 中間	196	37	4	15.9	8.0	21.1 ± 2.8
	双子島 中間	153	10	1	6.1	2.0	19.2 ± 3.0
	双子島 沖側	185	31	5	14.4	10.0	22.9 ± 2.8
浦田	浦田 陸側	226	27	1	10.7	2.0	20.7 ± 3.0
	浦田 中間	155	14	2	8.3	4.0	23.8 ± 2.9
	浦田 沖側	147	32	5	17.9	10.0	22.5 ± 2.6
	稲生 陸側	—	—	—	—	—	— —
	稲生 中間*	18	0	1	0.0	2.0	32.5 ± 3.1
	稲生 沖側	232	58	5	20.0	10.0	19.1 ± 3.3

* 稚貝分散から39日経過後のサンプルのため参考値

表 6. 土屋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		生貝（枚）	死貝（枚）	※死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率(%)	※へい死率(%)	異常貝率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部指数
土屋	土屋 陸側	上	53	7	1	0	11.7	1.9	0.0	68.6 ± 3.8	29.8 ± 4.8	11.7 ± 1.9	39.1
		中	66	10	1	0	13.2	1.5	0.0	69.6 ± 4.0	31.0 ± 4.5	12.9 ± 1.9	41.5
		下	44	11	3	0	20.0	6.4	0.0	70.6 ± 4.3	31.7 ± 5.1	12.9 ± 2.1	40.9
		全段	163	28	5	0	14.7	3.0	0.0	69.6 ± 3.8	30.8 ± 5.4	12.5 ± 2.7	40.6
	土屋 沖側	上	51	4	0	0	7.3	0.0	0.0	72.8 ± 4.5	35.1 ± 5.7	13.6 ± 2.5	38.8
		中	45	24	2	0	34.8	4.3	0.0	72.5 ± 4.8	35.5 ± 6.0	14.2 ± 2.6	40.0
		下	41	13	0	0	24.1	0.0	0.0	72.9 ± 3.0	36.5 ± 4.8	13.7 ± 1.8	37.5
		全段	137	41	2	0	23.0	1.4	0.0	72.7 ± 3.8	35.7 ± 5.1	13.8 ± 2.5	38.7

※死貝及び※へい死率は分散直後の死貝を除いた値

表 7. 茂浦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		生貝（枚）	死貝（枚）	※死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率(%)	※へい死率(%)	異常貝率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部指数
茂浦	茂浦 陸側	上	55	5	0	0	8.3	0.0	0.0	73.7 ± 2.9	36.4 ± 3.9	15.2 ± 2.0	41.7
		中	72	7	2	1	8.9	2.7	3.3	73.0 ± 3.7	37.8 ± 4.7	15.8 ± 2.2	41.8
		下	53	4	0	0	7.0	0.0	0.0	73.3 ± 3.3	35.9 ± 3.9	15.4 ± 1.9	42.9
		全段	180	16	2	1	8.2	1.1	1.1	73.3 ± 4.0	36.7 ± 6.2	15.5 ± 3.1	42.1
	茂浦 中間	上	41	17	3	2	29.3	6.8	6.7	59.5 ± 5.1	19.3 ± 4.4	7.5 ± 1.9	39.0
		中	54	24	2	0	30.8	3.6	0.0	65.8 ± 3.9	25.4 ± 3.7	10.4 ± 1.5	41.1
		下	41	14	4	1	25.5	8.9	3.3	65.1 ± 3.6	24.6 ± 3.4	10.1 ± 1.4	41.1
		全段	136	55	9	3	28.8	6.2	3.3	63.5 ± 4.4	23.1 ± 6.7	9.3 ± 3.2	40.5
	双子島 中間	上	51	8	1	1	13.6	1.9	3.3	63.2 ± 3.6	27.4 ± 4.6	11.8 ± 2.0	43.0
		中	66	13	0	1	16.5	0.0	3.3	64.3 ± 3.2	27.4 ± 4.0	11.7 ± 1.8	42.7
		下	54	11	0	2	16.9	0.0	6.7	66.5 ± 4.2	27.9 ± 4.7	12.3 ± 2.0	44.2
		全段	171	32	1	4	15.8	0.6	4.4	64.7 ± 4.2	27.6 ± 5.7	11.9 ± 2.8	43.3
	双子島 沖側	上	54	7	4	0	11.5	6.9	0.0	72.3 ± 4.1	34.2 ± 5.3	15.1 ± 2.5	44.1
		中	72	7	2	0	8.9	2.7	0.0	72.5 ± 3.7	34.3 ± 4.7	14.5 ± 2.0	42.3
		下	45	7	0	0	13.5	0.0	0.0	72.4 ± 3.2	33.0 ± 3.7	13.8 ± 1.4	41.9
		全段	171	21	6	0	10.9	3.4	0.0	72.4 ± 3.9	33.9 ± 6.5	14.5 ± 3.0	42.7

※死貝及び※へい死率は分散直後の死貝を除いた値

表 8. 浦田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		生貝（枚）	死貝（枚）	*1死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率(%)	*1へい死率(%)	異常貝率(%)	殻長(mm) 平均値±SD	全重量(g) 平均値±SD	軟体部重量(g) 平均値±SD	軟体部指数
浦田	浦田 陸側	上	47	11	1	0	19.0	2.1	0.0	71.0 ± 4.1	37.0 ± 5.2	15.8 ± 2.3	42.7
		中	62	14	2	0	18.4	3.1	0.0	72.0 ± 3.0	36.9 ± 4.0	15.6 ± 1.7	42.4
		下	47	18	6	0	27.7	11.3	0.0	70.2 ± 4.4	34.9 ± 4.5	15.3 ± 2.1	43.8
		全段	156	43	9	0	21.6	5.5	0.0	71.0 ± 3.7	36.2 ± 6.2	15.6 ± 2.4	42.9
	浦田 中間	上	51	8	0	0	13.6	0.0	0.0	72.9 ± 4.7	36.3 ± 5.7	15.5 ± 2.7	42.7
		中	63	14	4	0	18.2	6.0	0.0	72.6 ± 5.1	37.0 ± 6.7	15.8 ± 2.7	42.8
		下	55	3	0	1	5.2	0.0	3.3	73.6 ± 4.9	38.0 ± 5.9	16.2 ± 2.5	42.6
		全段	169	25	4	1	12.9	2.3	1.1	73.0 ± 3.8	37.1 ± 6.2	15.8 ± 3.3	42.7
	浦田 沖側	上	63	3	0	0	4.5	0.0	0.0	69.6 ± 5.7	33.1 ± 7.1	13.8 ± 2.8	41.7
		中	68	6	1	0	8.1	1.4	0.0	74.3 ± 4.6	38.7 ± 6.5	16.6 ± 2.6	42.8
		下	49	11	1	1	18.3	2.0	3.3	72.3 ± 4.5	36.2 ± 6.7	16.0 ± 3.1	44.2
		全段	180	20	2	1	10.0	1.1	1.1	72.1 ± 4.0	36.0 ± 5.8	15.5 ± 2.6	42.9
	稲生 陸側	上	56	5	1	1	8.2	1.8	3.3	63.6 ± 4.8	26.6 ± 5.3	10.6 ± 2.4	39.6
		中	72	7	4	1	8.9	5.3	3.3	65.5 ± 3.3	27.1 ± 3.8	11.0 ± 1.7	40.5
		下	67	4	2	0	5.6	2.9	0.0	64.1 ± 5.5	25.4 ± 5.5	10.7 ± 2.8	42.2
		全段	195	16	7	2	7.6	3.5	2.2	64.4 ± 4.2	26.4 ± 6.5	10.7 ± 3.3	40.7
	稲生 中間	上	60	12	1	0	16.7	1.6	0.0	60.1 ± 6.3	25.3 ± 6.6	11.3 ± 3.1	44.7
		中	76	6	0	0	7.3	0.0	0.0	62.6 ± 6.0	27.6 ± 6.7	12.1 ± 2.9	44.0
		下	49	9	0	0	15.5	0.0	0.0	64.3 ± 6.8	29.0 ± 8.4	12.5 ± 3.8	43.0
		全段	185	27	1	0	12.7	0.5	0.0	62.3 ± 4.7	27.3 ± 6.9	12.0 ± 3.4	43.9
	稲生 沖側	上	69	6	0	1	8.0	0.0	3.3	58.3 ± 5.0	22.4 ± 5.0	8.6 ± 2.1	38.6
		中	74	8	0	0	9.8	0.0	0.0	65.6 ± 4.1	29.1 ± 4.6	11.5 ± 1.8	39.6
		下	54	11	3	0	16.9	5.3	0.0	64.4 ± 4.9	27.3 ± 5.7	11.1 ± 2.4	40.6
		全段	197	25	3	1	11.3	1.5	1.1	62.8 ± 3.7	26.2 ± 5.7	10.4 ± 3.7	39.7

*1死貝及び*1へい死率は分散直後の死貝を除いた値

(2) 異常貝率

稚貝分散時の異常貝率は、茂浦陸側で 12.0%と最も高く、次いで双子島沖側、浦田沖側、稲生沖側が 10.0%、茂浦中間が 8.0%、浦田中間が 4.0%、土屋沖側、双子島中間、浦田陸側が 2.0%、土屋陸側は 0.0%で、茂浦では陸側が、それ以外の地区では沖側の異常貝率が高かった（表 5、付図 1-2)。

試験終了時の異常貝率は、最も異常貝率が高い地区でも双子島中間の 4.4%、12 地点のへい死率の平均は 1.2%と低かった（表 6～8、付図 2-2-1)。

(3) 成長

稚貝分散時の平均殻長は、浦田中間が 23.8 ㎜と最も大きく、次いで双子島沖側が 22.9mm、浦田沖側が 22.5mm で、稲生沖側が 19.1mm と最も小さく、次いで、双子島中間が 19.2mm、土屋沖側が 20.1mm であった（表 6)。平成 26 及び 27 年の青森地区における集中モニタリング[1～2)]では、稚貝分散時にパールネットに入れるホタテガイの枚数が少ないほど成長が良い傾向が見られたが、今回は有意差がなかった(付図 1-3)。平内地区は青森地区と異なり、各地区の分散時期、垂下水深、選別機の目合いの違いが大きかったものと推察される。

試験終了時の全段の平均殻長は、茂浦陸側が 73.3mm と最も大きく、次いで、浦田中間が 73.0mm、土屋沖側が 72.7mm 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（表 6～8、付図 2-3-1、2-4-1、2-5-1)。茂浦中間及び双子島中間、稲生の陸側、中間、沖側は他の施設と比較して成長が悪く、いずれも上段の殻長が他の段よりも小さかった（表 6～8、付図 2-3-2)。

(4) 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 3-1～3-12 に示す。ほとんどの施設において、稚貝分散時とほぼ変わらない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に集中していたと考えられる。

(5) 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、土屋地区は付図 4-1 に、茂浦地区は 4-2-1～4-2-2 に、浦田地区は 4-3-1～4-3-3 に示す。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。玉付け回数を計数したところ、5～14回と差が見られたほか、玉付け後に施設が沈むまでの日数も1～10日と差が見られた。

茂浦中間及び稲生中間と沖側では幹綱水深がほとんど変化していないが、茂浦中間では底玉が多い施設の端の調整玉直下に深度計を設置したため浮力が大きかったこと、稲生沖側では空の施設にサンプルを設置したためホタテガイや付着生物の成長による変化がなかったことが要因として考えられた。しかし、稲生中間では調整玉と調整玉の間に深度計を設置し、施設には1800連ものパールネットを垂下していることから、通常はホタテガイの成長と共に施設が沈み水深に変化が見られるはずだが、そうならなかった要因はわからなかった。

なお、茂浦陸側及び双子島中間は2月に、浦田陸側は3月に施設を頻繁に水面まで揚げているが、これは耳吊り作業によるものである。

(6) 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。茂浦中間で稚貝分散時から平成29年1月21日まで、浦田陸側で平成29年3月17日から試験終了時まで、稲生中間で平成29年2月15日から試験終了時まで±0.1g～0.3gを超える加速度が頻繁に観測された。それ以外の施設では概ね±0.1ｇの範囲におさまっていたが、土屋陸側で稚貝分散時から10月末まで、双子島中間と稲生沖側で全期間を通じて揺れているのが確認できた。それらの要因として、茂浦中間では施設の端の調整玉直下に測器とサンプリング用のホタテガイを垂下したこと、浦田陸側では耳吊り作業の際に施設を10m以浅に浮かせ過ぎていたこと、稲生中間は半成貝出荷用の施設のため2月15日に過剰な玉付け作業をしたこと、土屋陸側は稚貝分散後に過剰な玉付け作業をしたこと、双子島中間は10m以浅に施設を浮かせ過ぎたこと、稲生沖側は空の施設に垂下したことが考えられた。加速度の分散をみると、茂浦中間が0.000949と最も大きく、次いで双子島中間の0.000485、浦田陸側の0.000358となっていた。

(7) 流向・流速

平成28年12月1日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。双子島中間において平成28年12月22日～24日と平成29年2月19～20日、浦田中間において平成29年2月7日～8日の期間に流速0.1～0.2m/sを超える北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0.1m/s以下の流れがほとんどであった。

(8) 水温

平成28年12月1日から試験終了時までの期間における養殖施設の水温の推移を地区毎に付図7-1～7-3に示す。全ての施設において、12月は12℃台だった水温が平成29年2月2日にかけて6℃前後まで低下した。その後　、ほとんどの施設では2月3日から10日にかけて2℃前後の水温の上昇が見られたが、漁場水深が50m以深の浦田沖側及び稲生中間、沖側では2月10日に2℃以上の水温低下が見られた。

(9) 考察

今季も平成26、27年に続き平成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が、幹綱水深や加速度の変化は施設毎に大きく異なっているのが特徴的であった。以下に、各施設の成育状況と養殖作業との関係を考察した。

・土屋で沖側よりも陸側の成長が悪かったのは、稚貝分散直後から11月上旬までの稚貝が小さい期間に、過剰な玉付けを行ったため施設が安定しなかったことが影響したものと考えられる。また、沖側では稚貝分散時のへい死率が11.1%、異常貝率が2.0%と陸側（それぞれ5.2%、0%）より高かったため、分散直後のへい死が多かったことで収容枚数が減り、さらに全期間を通じて適切な浮力による施設管理が行われていたことから成長が促進されたものと考えられる。

・茂浦陸側は、試験終了時のへい死率が8.2%、分散直後の死貝を除くと1.1%と低く、成長も良かった。分

散時殻長が大きかったことに加え、期間を通じて玉付け回数15回と他地区と比較して最も多く、12月～2月までは10～20mの水深帯になるよう適切な浮力による施設管理が行われていたためと考えられる。

・茂浦中間は、調整玉直下にホタテガイサンプルを設置したことにより波浪の影響を強く受けたため、へい死率が高く、成長も他の地区より悪かった。

・双子島中間の成長が悪かったのは、分散時殻長が小さかったことに加え、10m以浅に施設を浮かせすぎたことにより波浪の影響を強く受け、常時施設が不安定だったことによるものと考えられる。

・双子島沖側は、茂浦陸側と同様、稚貝分散時の殻長が大きかったことに加え、全期間を通じて適切な浮力による施設管理が行われていたことから、成長が良かったと考えられる。

・浦田陸側は試験終了時のへい死率が5.5%と他の耳吊り作業を行った茂浦陸側1.1%、双子島中間0.6%と比較して高かった。死貝の殻長は約4～5cmで施設の上下動が大きかった耳吊り作業時よりも以前にへい死していること、死貝は下段に多いことから波浪よりも流れによる影響を受けた可能性がある。成長が良かったのは、耳吊り作業を始めるまでは施設が安定するよう適切な浮力による施設管理が行われていたためと考えられる。

・浦田中間、沖側はいずれもへい死率が低く、成長も良かった。茂浦陸側と同様、分散時殻長が大きかったことに加え、全期間を通じて適切な浮力による施設管理が行われていたためと考えられる。

・稲生陸側で成長が悪かったのは、稚貝分散時のデータが欠測のため、種苗の質については不明だが、全期間を通して適切な浮力による施設管理が行われていることから、稚貝分散の時期が10月22日と他の地区よりも遅かったことが影響したものと考えられる。

・稲生中間も陸側と同様、成長が悪かった。稚貝分散時のデータが欠測のため、種苗の質については不明だが、2月15日の過剰な玉付けで施設が頻繁に上下動していることが影響したものと考えられる。

・稲生沖側で成長が悪かったのは、稚貝分散時のへい死率が20%、異常貝率が10%と高く、殻長も20mmと小さかったことから、種苗の質が悪かったことに加え、空の施設に垂下したことにより全期間を通じて施設が常時上下動し、不安定だったことによるものと考えられる。

以上の結果をまとめると、へい死を軽減し、成長の良いホタテガイを生産するためには、稚貝分散を早めに行い、へい死率や異常貝率が低く、サイズの大きい良質な稚貝を用い、分散後は調整玉を流さないように小まめかつ適度な玉付けを行い、養殖施設の幹綱水深を10m以深に安定させることが有効と考えられた。

なお、今季は各地先において、分散時期が11月以降に遅れたホタテガイのへい死が多く見られたという漁業者情報があったが、本試験の分散時期は9月下旬～10月下旬と早い時期の分散であったため、全体的にへい死率が低かったと考えられる。来季も同様に平内町土屋、茂浦、浦田地区において、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同時かつ集中的にモニタリングするが、分散時期の違いによる影響に特に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。

2. へい死率を低減するための養殖方法の開発

(1) 土屋地区（土屋陸側）

ホタテガイの測定結果を表9及び図3に示す。稚貝分散直後の死貝を除いたへい死率は、錘なし区＞鉛100匁区＞下1段太枠区の順に高かったが、すべての試験区で5%以下と低いため今回の試験では錘による差はないと考えられた。

異常貝率は、すべての試験区で0%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%で行ったところ、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ことから、へい死率と同様に、成長についても錘による差はないと考えられた。

養殖施設の幹綱及び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 4-1 及び 4-2 に示す。錘なし区は加速度計の漏水により欠測となった。試験開始時から 11 月 2 日頃まで、幹綱もパールネット下段も他の期間より大きく上下動しているのは、前述のとおり、稚貝分散後の過剰な玉付けによるものと考えられる。

表 9. ホタテガイの測定結果

		生貝（枚）	死貝（枚）	※死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率(%)	※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
錘なし区	上	51	8	4	0	13.6	7.3	0.0	69.7 ± 4.0	30.8 ± 5.4	12.3 ± 1.9	39.9
	中	68	9	0	0	11.7	0.0	0.0	70.7 ± 3.6	30.8 ± 4.5	11.7 ± 1.8	38.0
	下	47	11	2	0	19.0	4.1	0.0	70.4 ± 3.7	31.1 ± 4.7	12.2 ± 1.8	39.1
	全段	166	28	6	0	14.4	3.5	0.0	70.2 ± 3.7	30.9 ± 6.2	12.0 ± 2.4	39.0
下1段太枠区	上	52	5	0	0	8.8	0.0	0.0	68.9 ± 4.3	30.6 ± 4.8	11.1 ± 1.8	36.3
	中	70	8	1	0	10.3	1.4	0.0	70.4 ± 4.1	32.8 ± 5.3	12.9 ± 1.8	39.3
	下	46	17	4	0	27.0	8.0	0.0	69.0 ± 3.0	29.7 ± 3.7	12.2 ± 1.5	41.2
	全段	168	30	5	0	15.2	2.9	0.0	69.5 ± 3.7	31.0 ± 6.2	12.1 ± 2.4	38.9
鉛100匁区	上	53	7	1	0	11.7	1.9	0.0	68.6 ± 3.8	29.8 ± 4.8	11.7 ± 1.9	39.1
	中	66	10	1	0	13.2	1.5	0.0	69.6 ± 4.0	31.0 ± 4.5	12.9 ± 1.9	41.5
	下	44	11	3	0	20.0	6.4	0.0	70.6 ± 4.3	31.7 ± 5.1	12.9 ± 2.1	40.9
	全段	163	28	5	0	14.7	3.0	0.0	69.6 ± 3.7	30.8 ± 6.2	12.5 ± 2.4	40.6

※死貝及び※へい死率は分散直後の死貝を除いた値

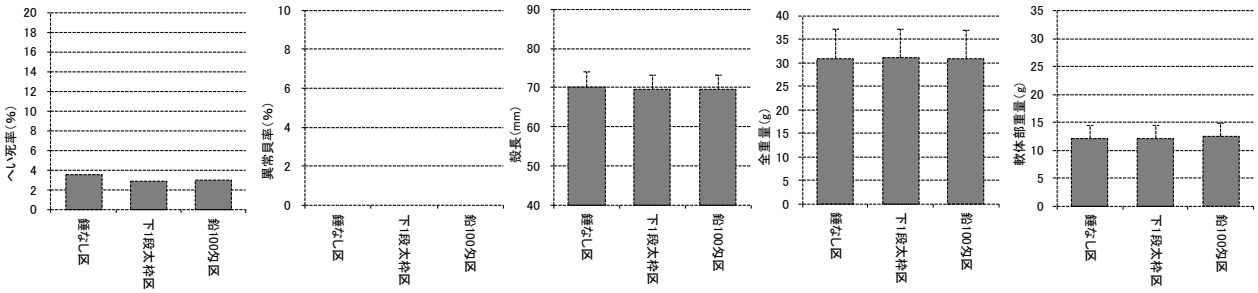


図3. ホタテガイの測定結果（へい死率は分散直後の死貝を除く）

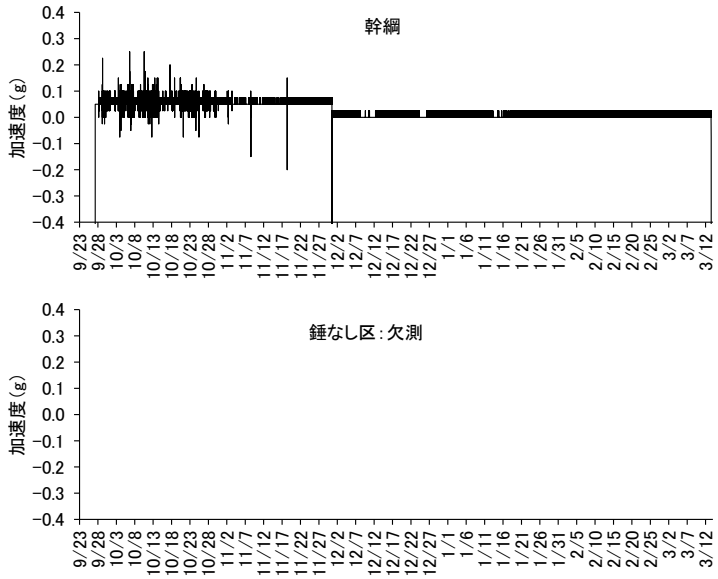


図 4-1. 養殖施設の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度の推移

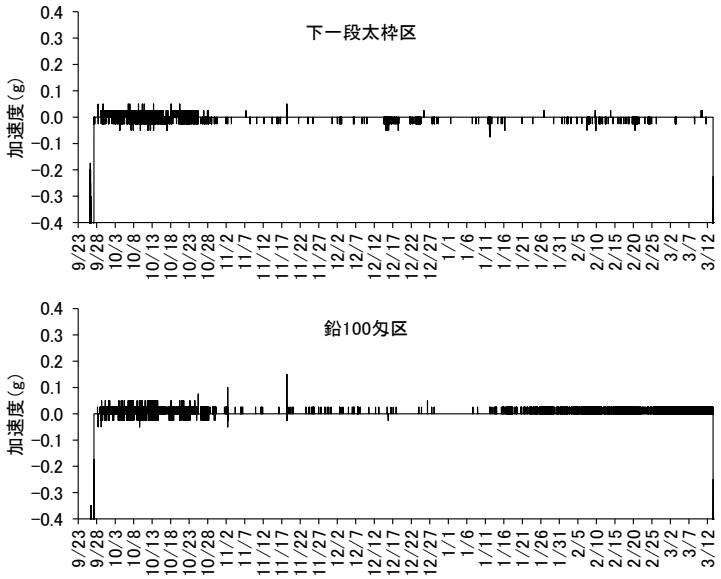


図 4-2. 養殖施設の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度の推移

(2) 浦田地区（浦田沖側）

ホタテガイの測定結果を表 10 及び図 5 に示す。稚貝分散直後の死貝を除いたへい死率は、すべての試験区で 1.1～2.2%と低いため今回の試験では錘による差はないと考えられた。

異常貝率は、すべての試験区で 0～3.3%と低かった。

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 11）ところ、殻長、全重量、軟体部重量ともに鉛 100 匁区が下 1 段太枠区と比較して有意に低い結果であったが、測定結果から鉛 100 匁区上段の値が特に低く、ばらつきが大きいことから、サンプル誤差によるものと推察され、へい死率と同様に、成長についても錘による差はないと考えられた。

養殖施設の幹綱及び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 6 に示す。錘なし区は加速度計の漏水により欠測となった。いずれも±0.1g 以下と低く、錘の種類による差は確認できなかった。

表 11. 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。）

殻長

	錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区
錘なし区			
下1段太枠区			*
鉛100匁区		*	

全重量

	錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区
錘なし区			*
下1段太枠区			**
鉛100匁区	*	**	

軟体部重量

	錘なし区	下1段太枠区	鉛100匁区
錘なし区			
下1段太枠区			**
鉛100匁区		**	

表 10. ホタテガイの測定結果

		生貝（枚）	死貝（枚）	※死貝（枚）	異常貝（枚）	へい死率(%)	※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
錘なし区	上	52	6	1	1	10.3	1.9	3.3	72.5 ± 4.2	37.1 ± 6.0	15.6 ± 2.6	41.9
	中	67	12	1	0	15.2	1.5	0.0	73.4 ± 4.8	38.0 ± 5.7	15.9 ± 2.6	41.9
	下	55	1	0	0	1.8	0.0	0.0	73.7 ± 5.0	39.4 ± 6.7	17.0 ± 2.9	43.0
	全段	174	19	2	1	9.8	1.1	1.1	73.2 ± 3.7	38.2 ± 6.2	16.2 ± 2.4	42.3
下1段太枠区	上	54	6	1	0	10.0	1.8	0.0	73.8 ± 4.3	39.4 ± 5.6	16.6 ± 2.6	42.2
	中	75	6	1	0	7.4	1.3	0.0	74.9 ± 3.0	38.9 ± 3.9	17.0 ± 1.6	43.8
	下	53	6	2	0	10.2	3.6	0.0	72.1 ± 4.3	37.1 ± 5.5	16.3 ± 2.7	43.9
	全段	182	18	4	0	9.0	2.2	0.0	73.6 ± 3.7	38.5 ± 6.2	16.7 ± 2.4	43.3
鉛100匁区	上	63	3	0	0	4.5	0.0	0.0	69.6 ± 5.7	33.1 ± 7.1	13.8 ± 2.8	41.7
	中	68	6	1	0	8.1	1.4	0.0	74.3 ± 4.6	38.7 ± 6.5	16.6 ± 2.6	42.8
	下	49	11	1	1	18.3	2.0	3.3	72.3 ± 4.5	36.2 ± 6.7	16.0 ± 3.1	44.2
	全段	180	20	2	1	10.0	1.1	1.1	72.1 ± 3.7	36.0 ± 6.2	15.5 ± 2.4	42.9

※死貝及び※へい死率は分散直後の死貝を除いた値

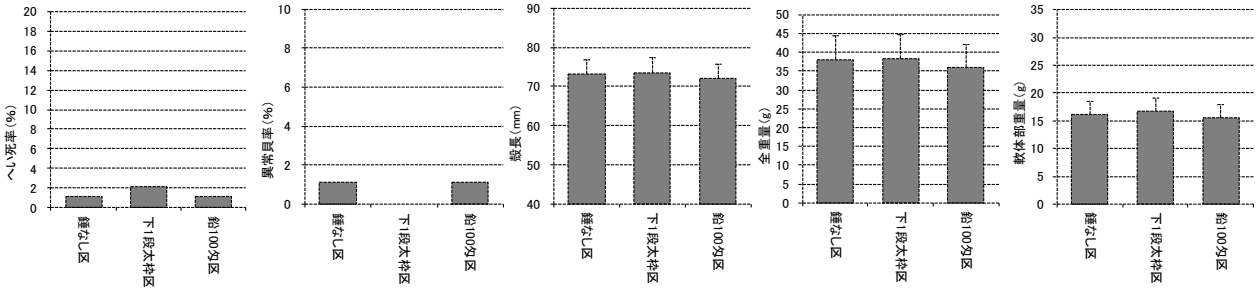


図5. ホタテガイの測定結果（へい死率は分散直後の死貝を除く）

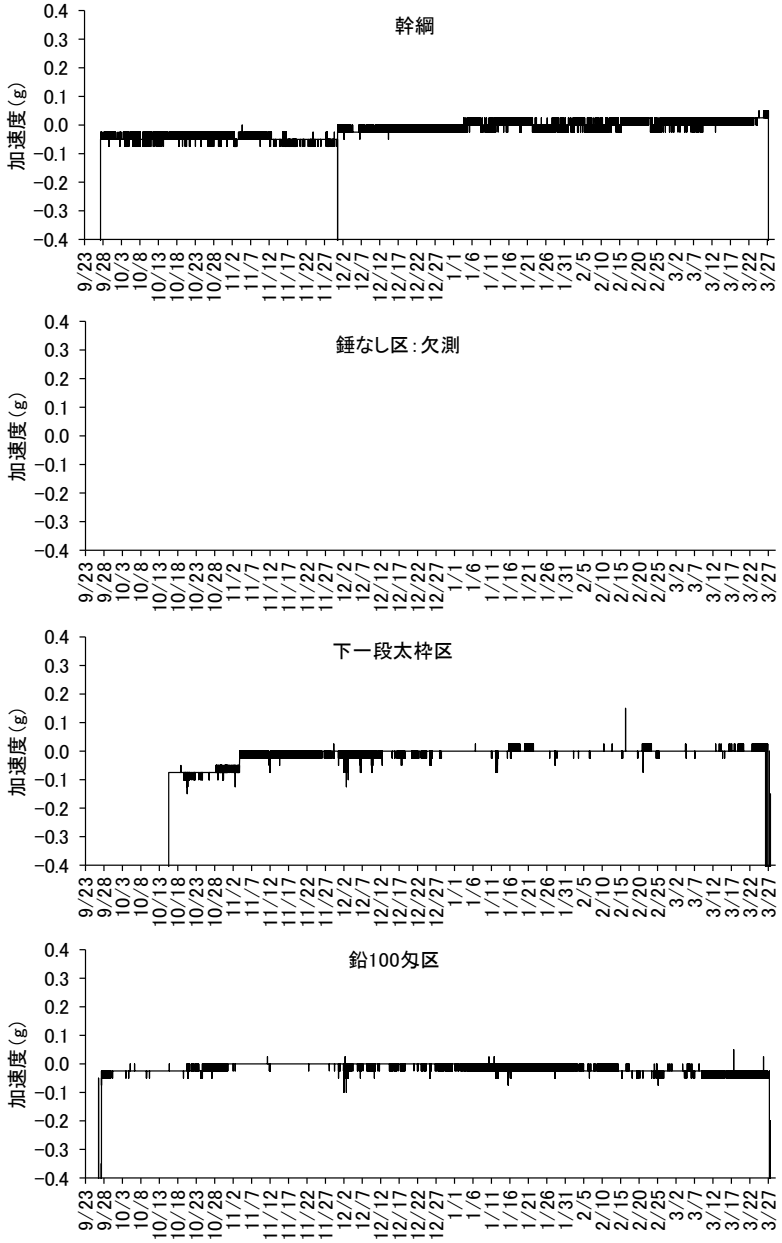


図 6. 養殖施設の幹綱及びパールネット下段の垂直方向における加速度の推移

(3) 考察

錘の種類の稚貝によるへい死率の抑制や成長促進効果は今回の調査でも明らかにできなかった。集中モ

ニタリングと同様に分散時期が早く、いずれも健康なホタテガイを成育することが出来たため、試験区による差が出なかったものと考えられることから、来季は分散時期が違う試験区を比較して、再検証することとしたい。

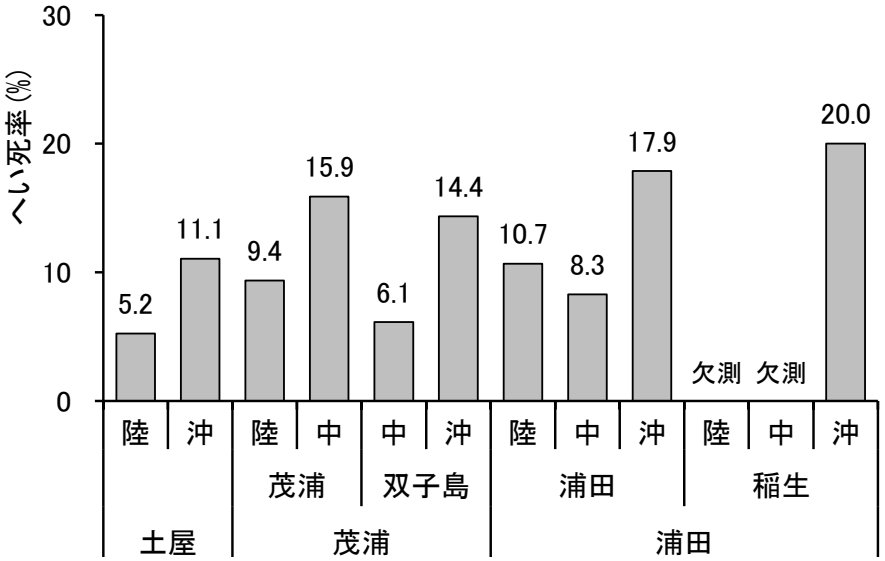
謝　辞

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つきまして、調査にご協力いただいた平内町土屋地区、茂浦地区、浦田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。

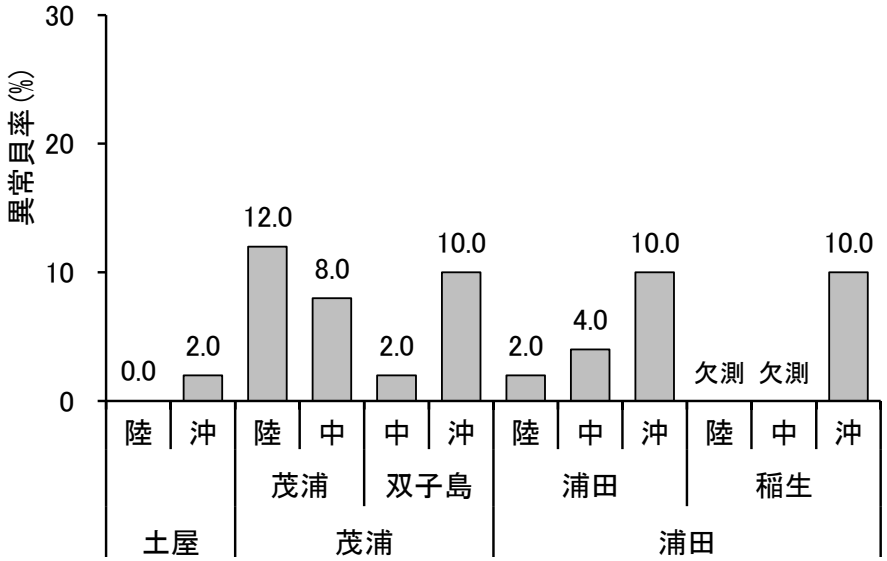
文　献

1) 森恭子・吉田達・伊藤欣吾・伊藤良博・小谷健二・川村要(2016) ほたてがい冬季へい死対策事業. 平成26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, 368-412

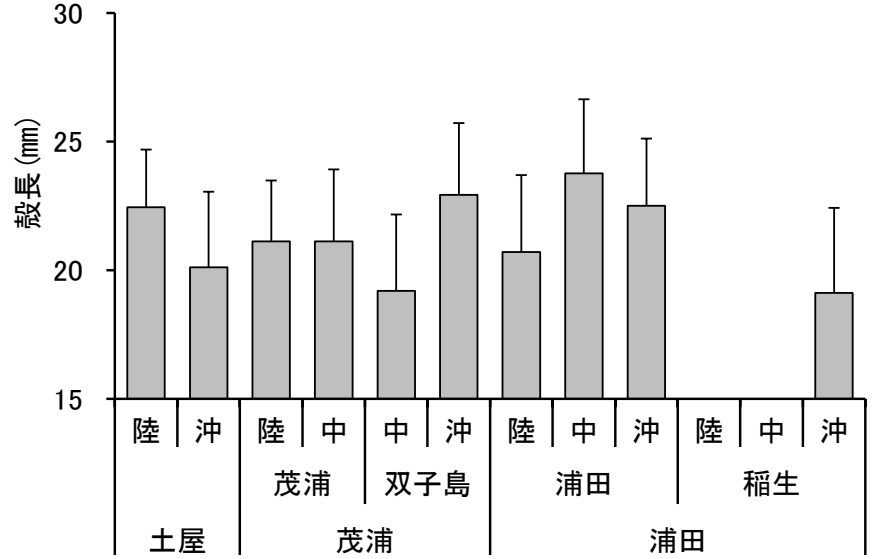
2) 森恭子・吉田達・伊藤良博・小谷健二・川村要(2017) ほたてがい冬季へい死対策事業. 平成27年度地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 373-426



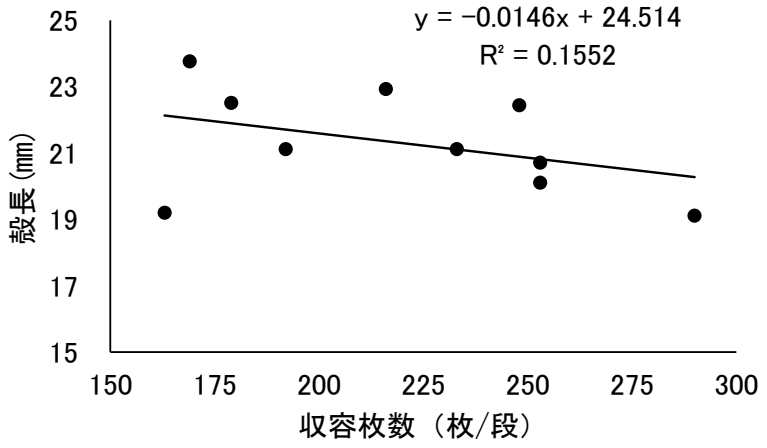
付図1-1.　稚貝分散時のへい死率



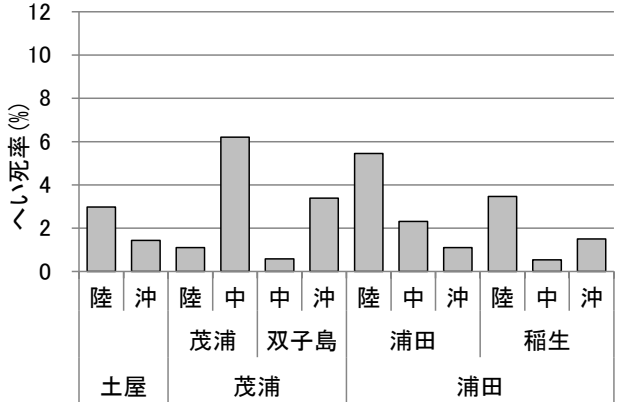
付図1-2.　稚貝分散時の異常貝率



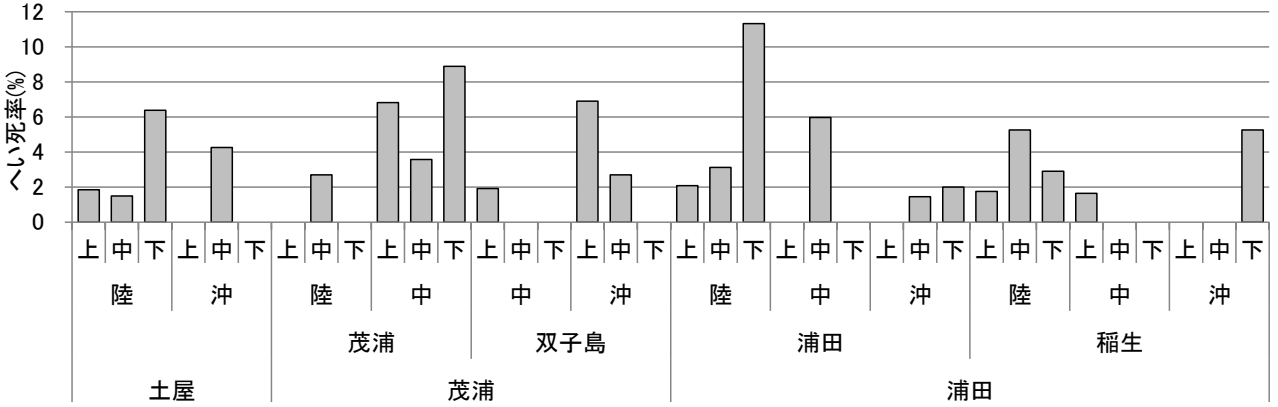
付図1-3.　稚貝分散時の殻長



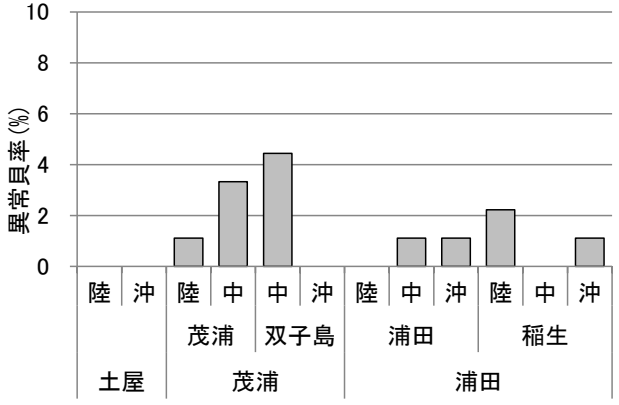
付図1-4.　稚貝分散時の収容枚数と殻長



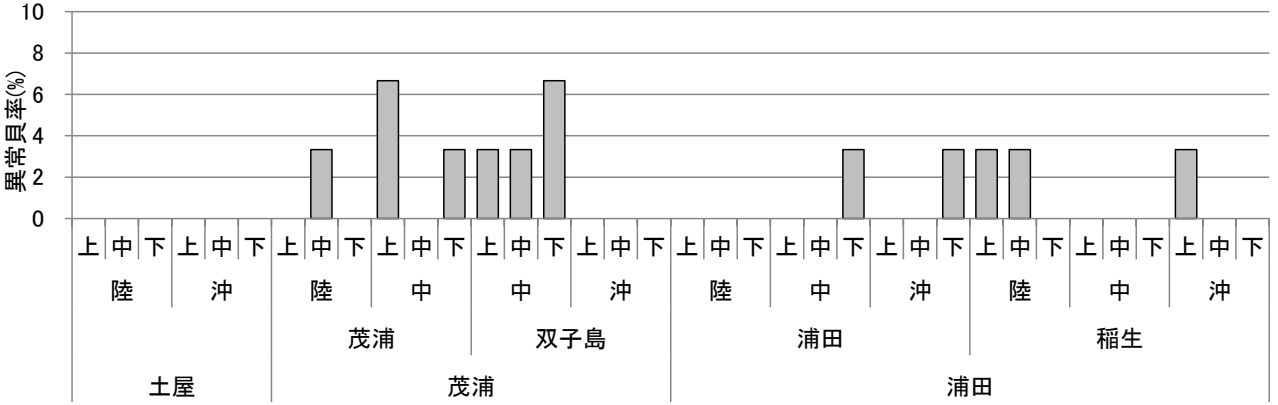
付図2-1-1.　試験終了時のへい死率
（稚貝分散直後の死貝を除く）



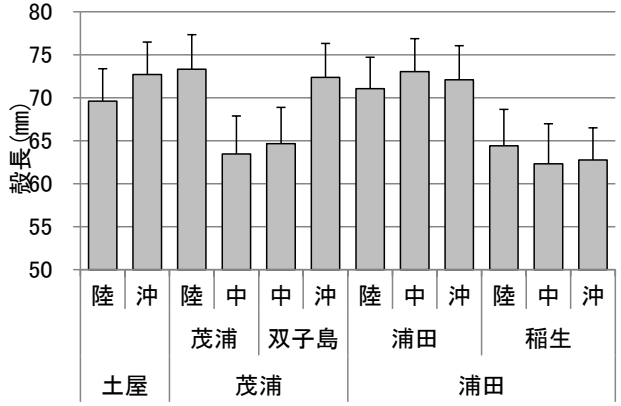
付図2-1-2.　試験終了時の段別のへい死率
（稚貝分散直後の死貝を除く）



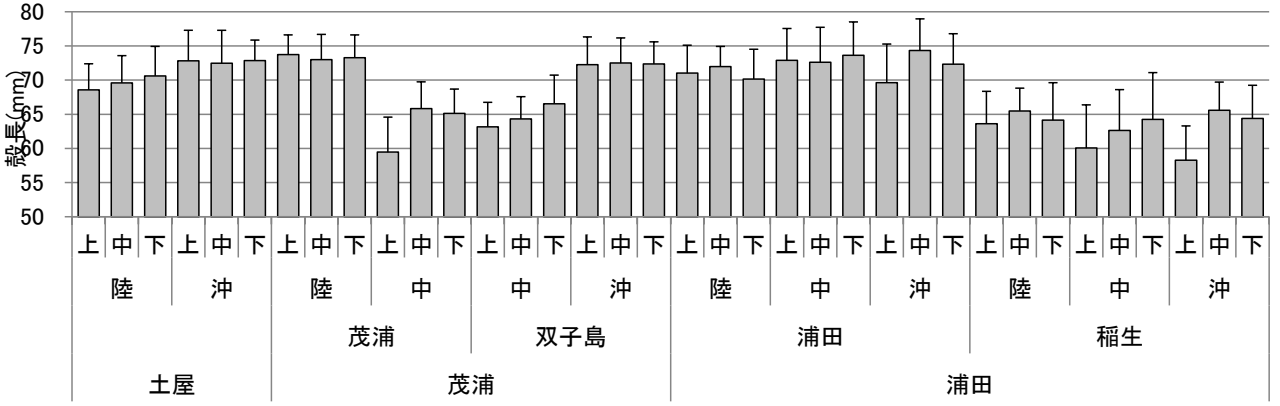
付図2-2-1.　試験終了時の異常貝率



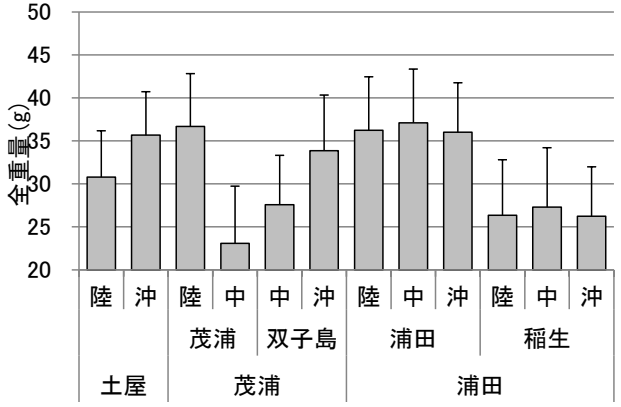
付図2-2-2.　試験終了時の段別の異常貝率



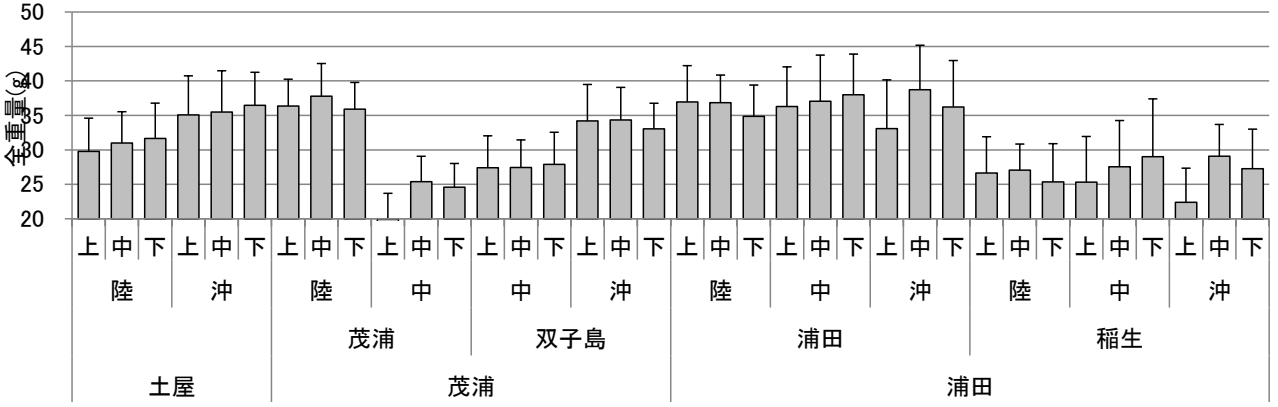
付図2-3-1.　試験終了時の殻長



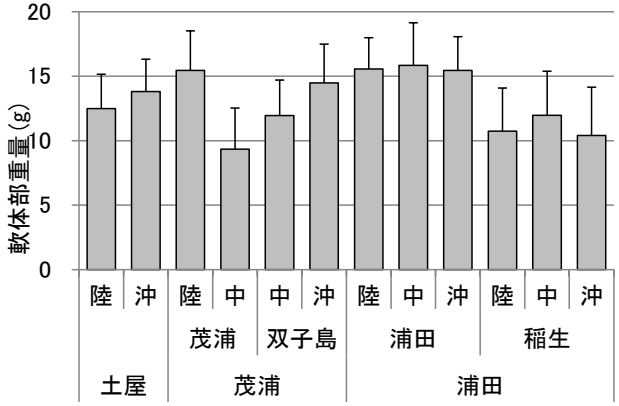
付図2-3-2.　試験終了時の段別の殻長



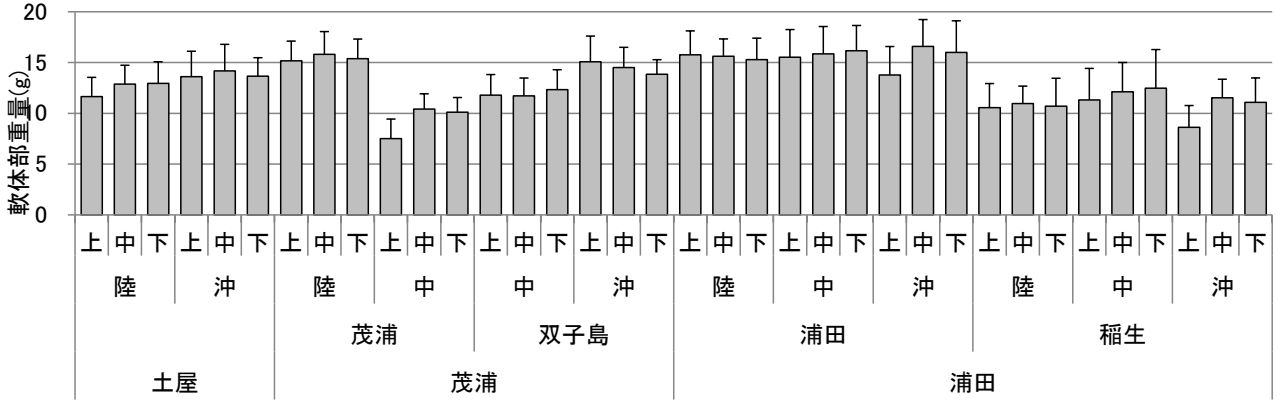
付図2-4-1.　試験終了時の全重量



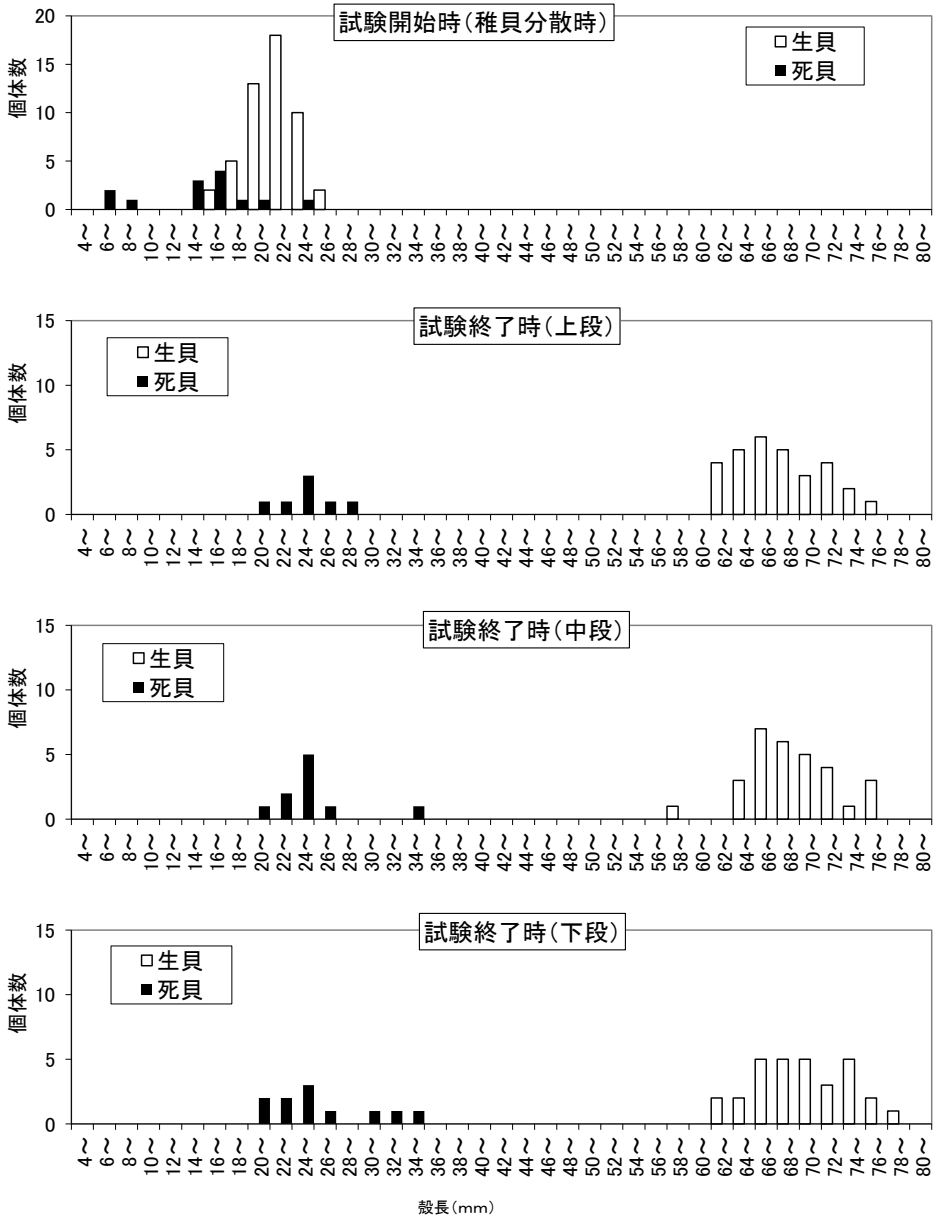
付図2-4-2.　試験終了時の段別の全重量



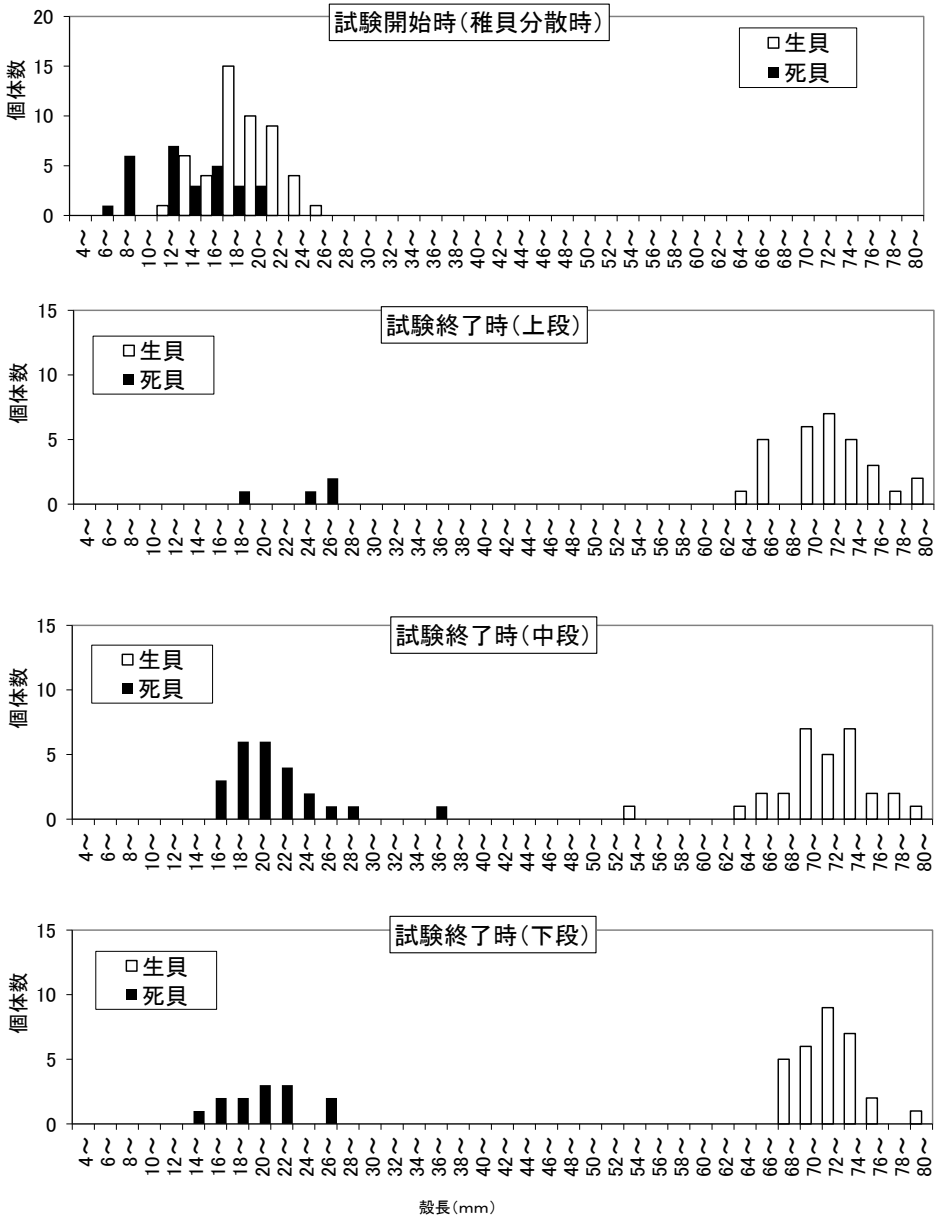
付図2-5-1.　試験終了時の軟体部重量



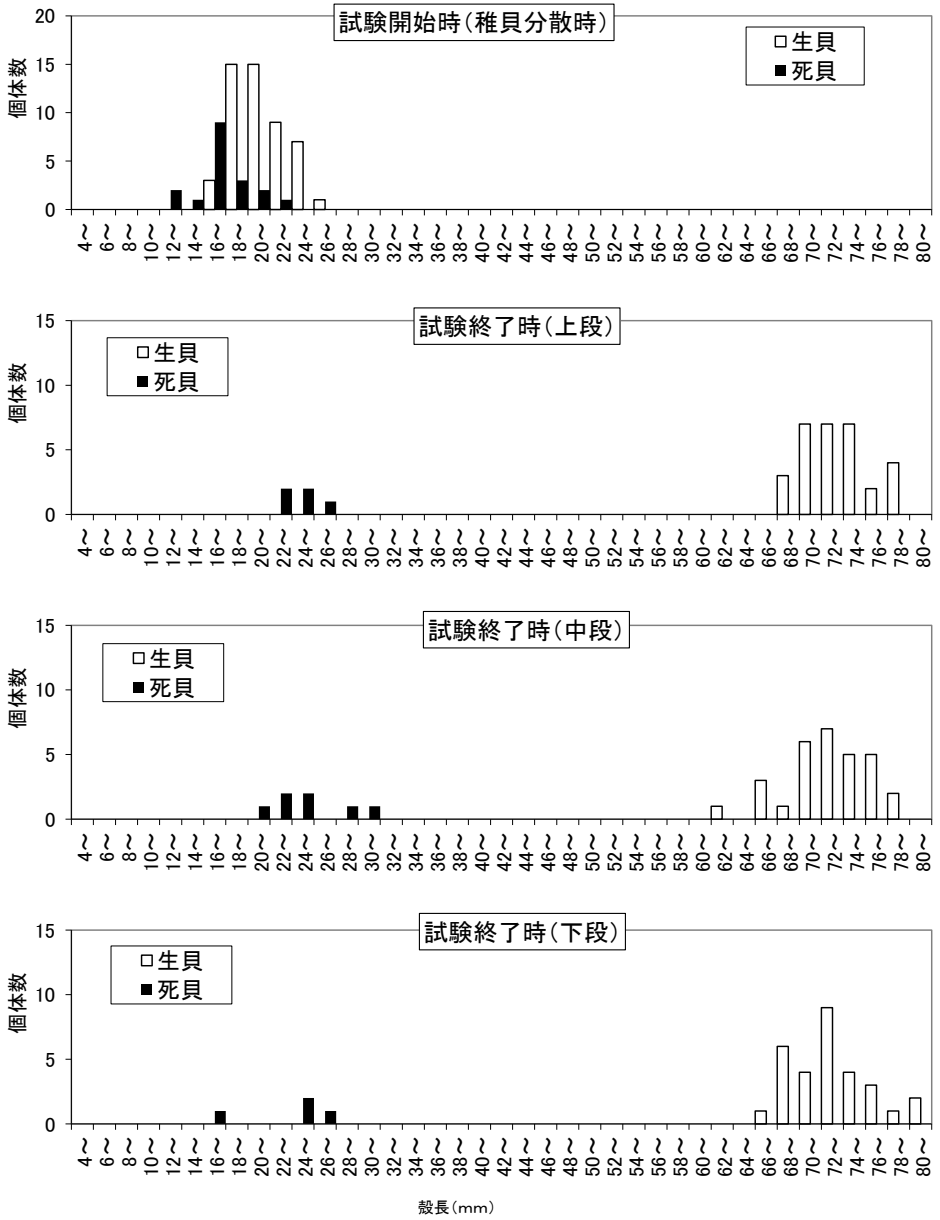
付図2-5-2.　試験終了時の段別の軟体部重量



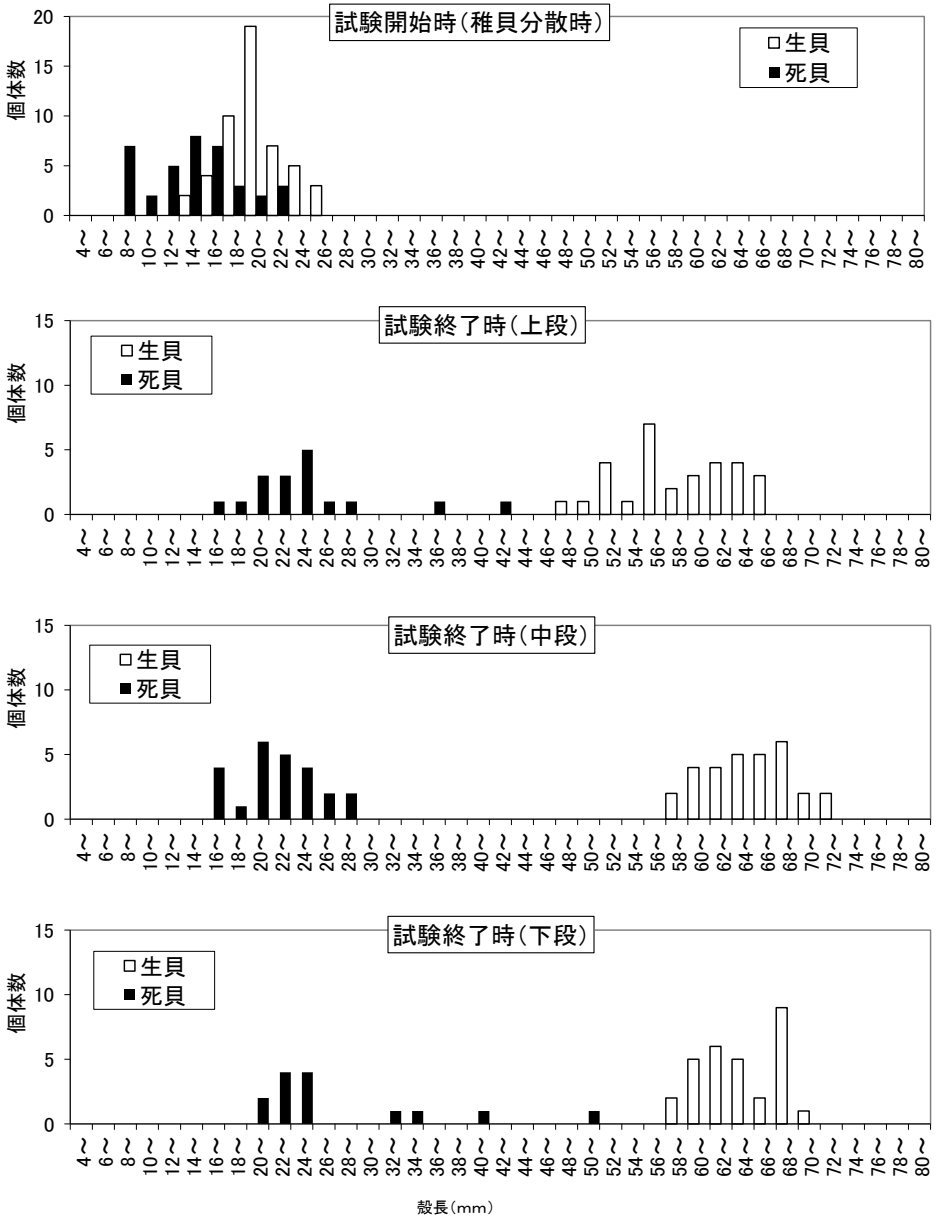
付図3-1.　土屋　陸の殻長組成



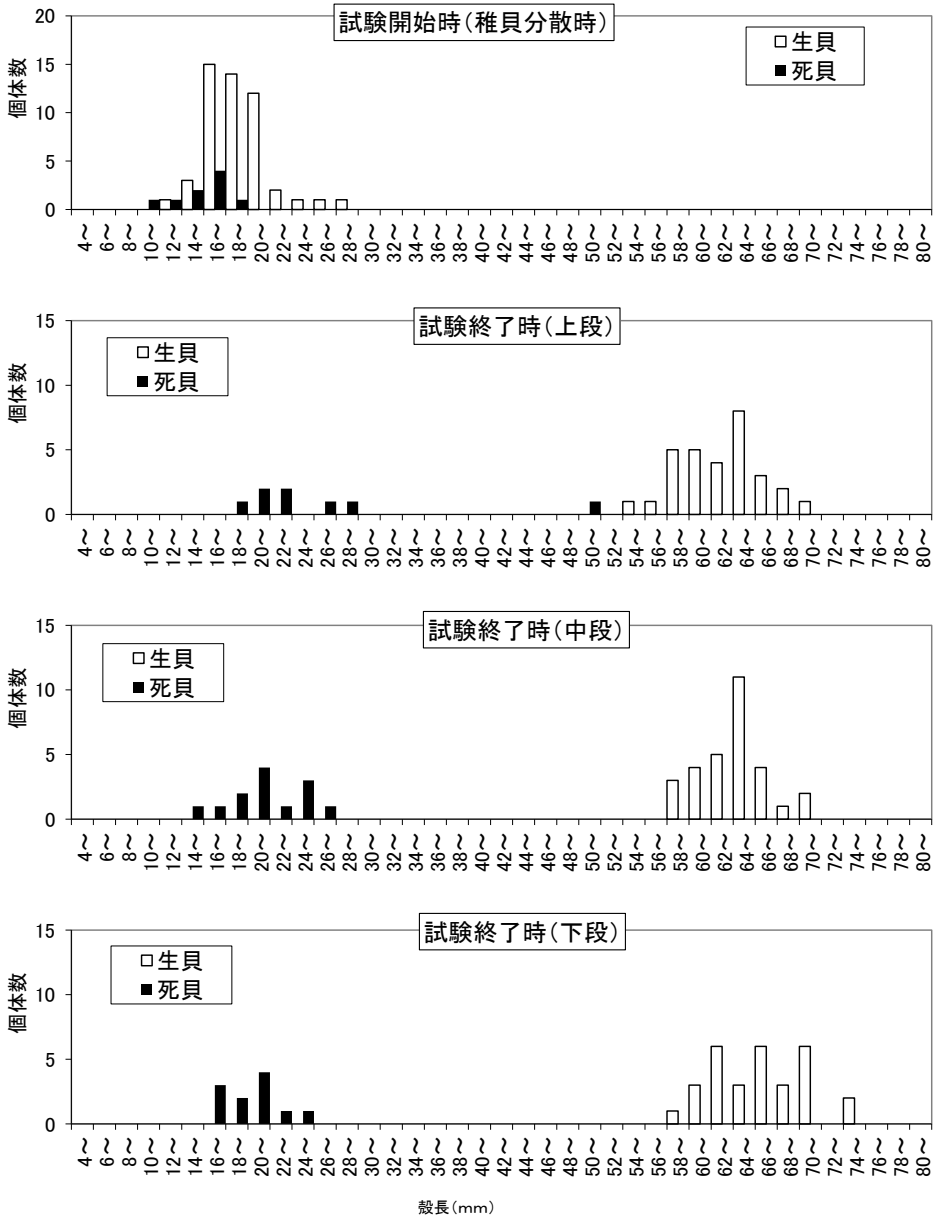
付図3-2.　土屋　沖の殻長組成



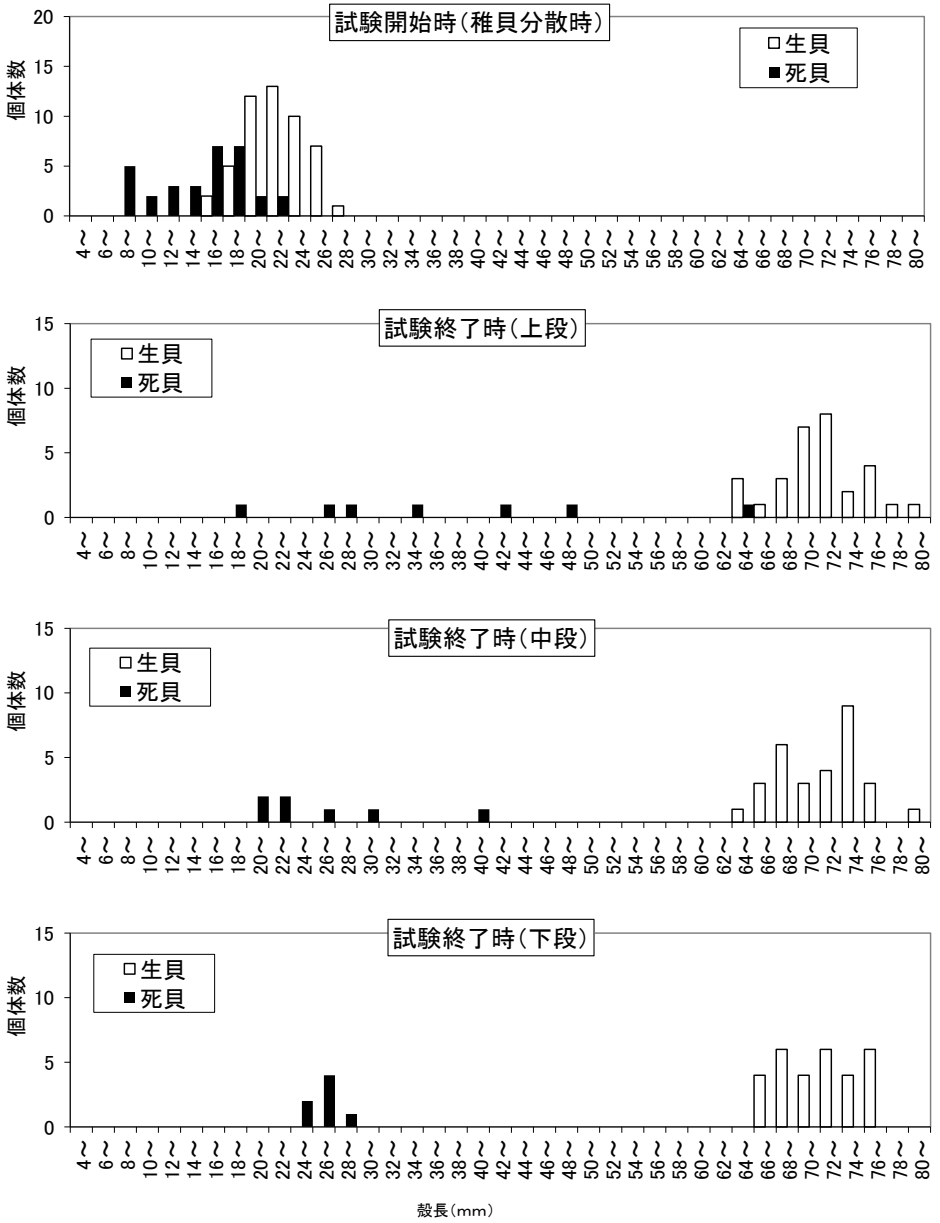
付図3-3.　茂浦　陸の殻長組成



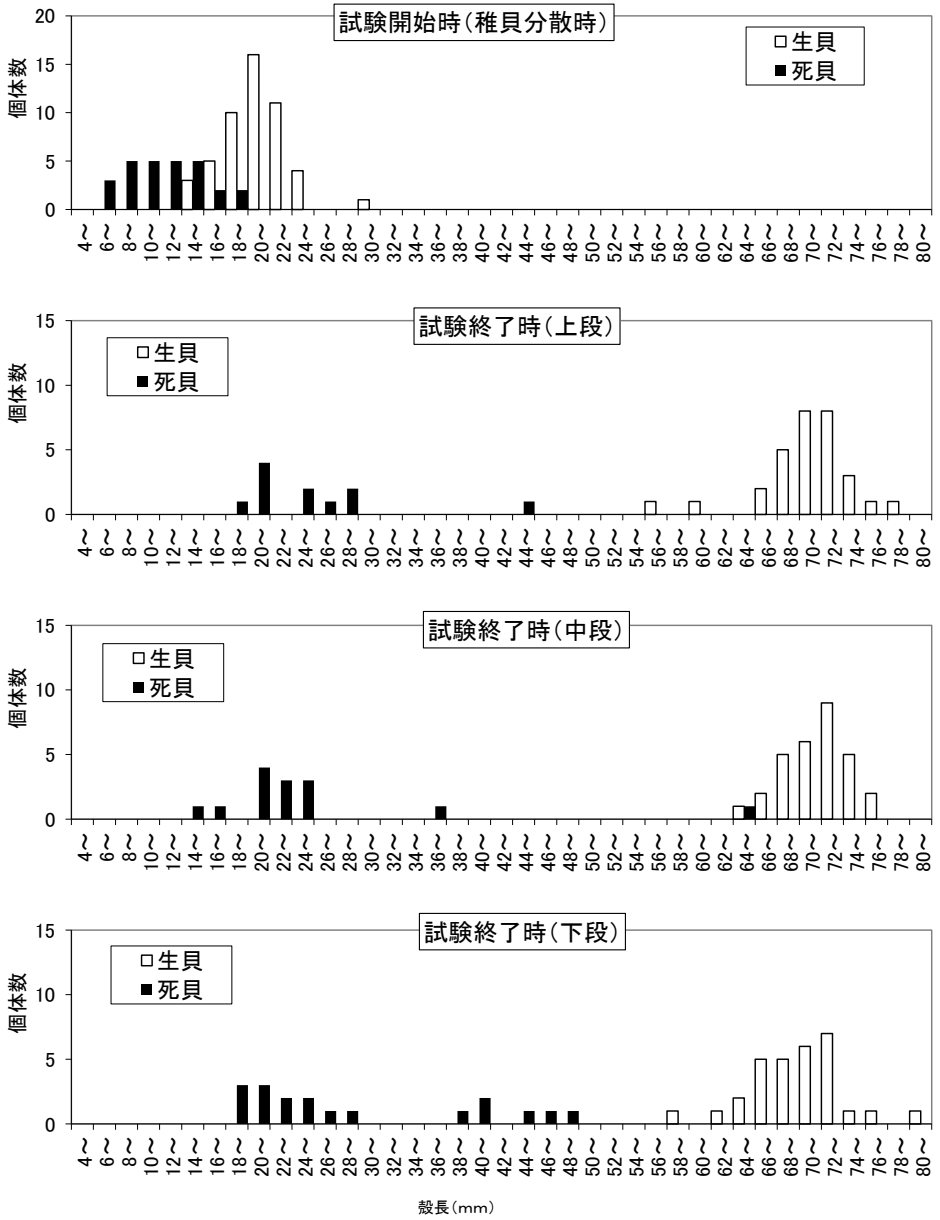
付図3-4.　茂浦　中の殻長組成



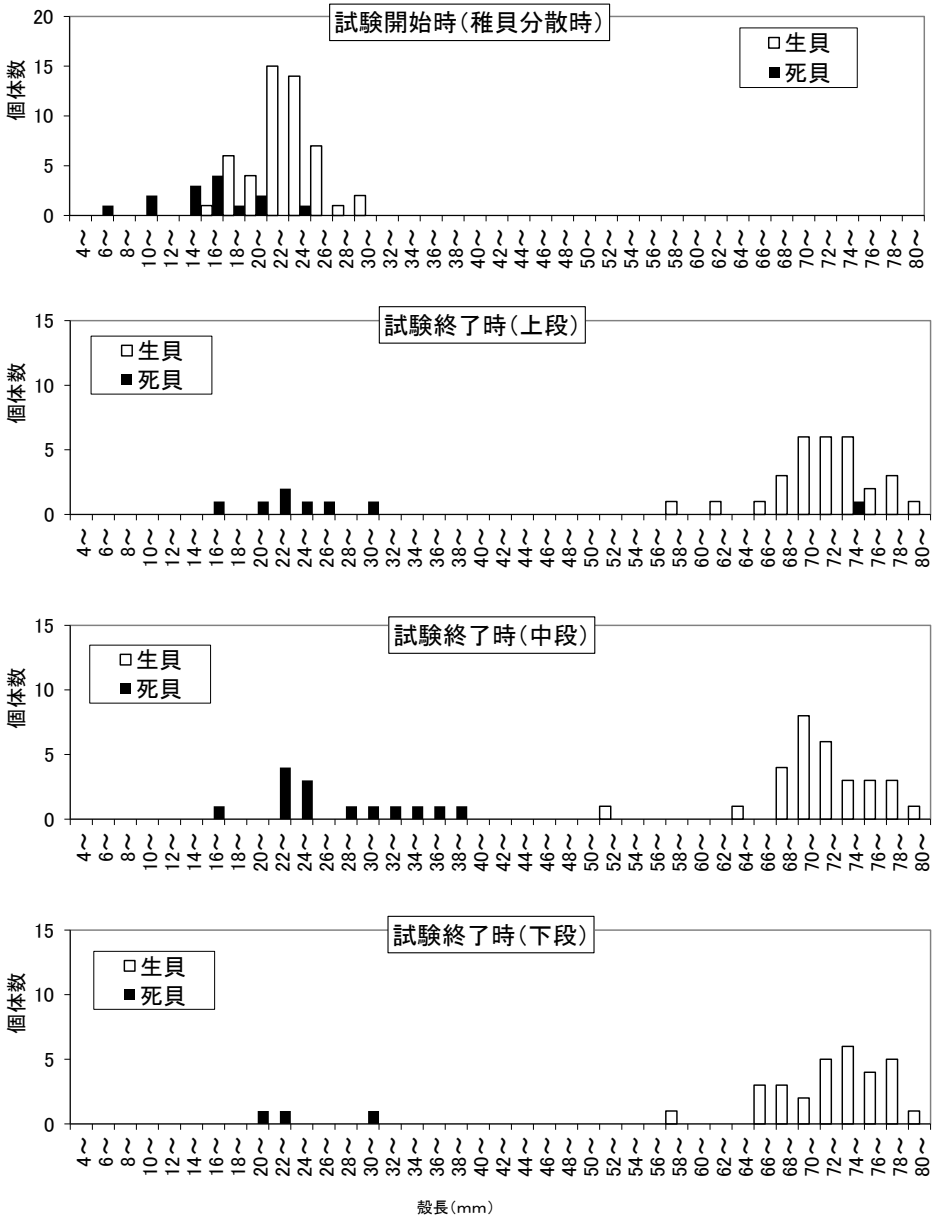
付図3-5.　双子島　中の殻長組成



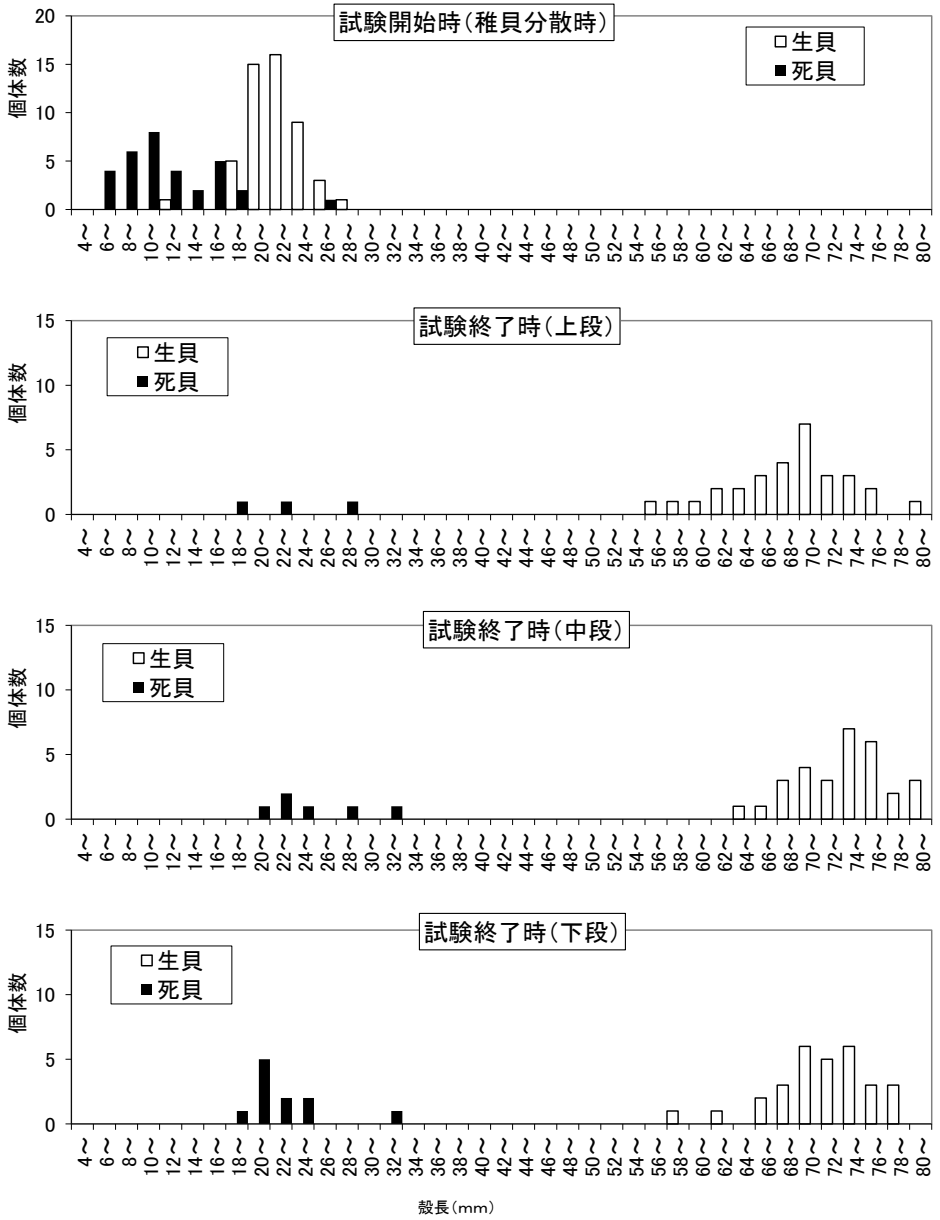
付図3-6.　双子島　沖の殻長組成



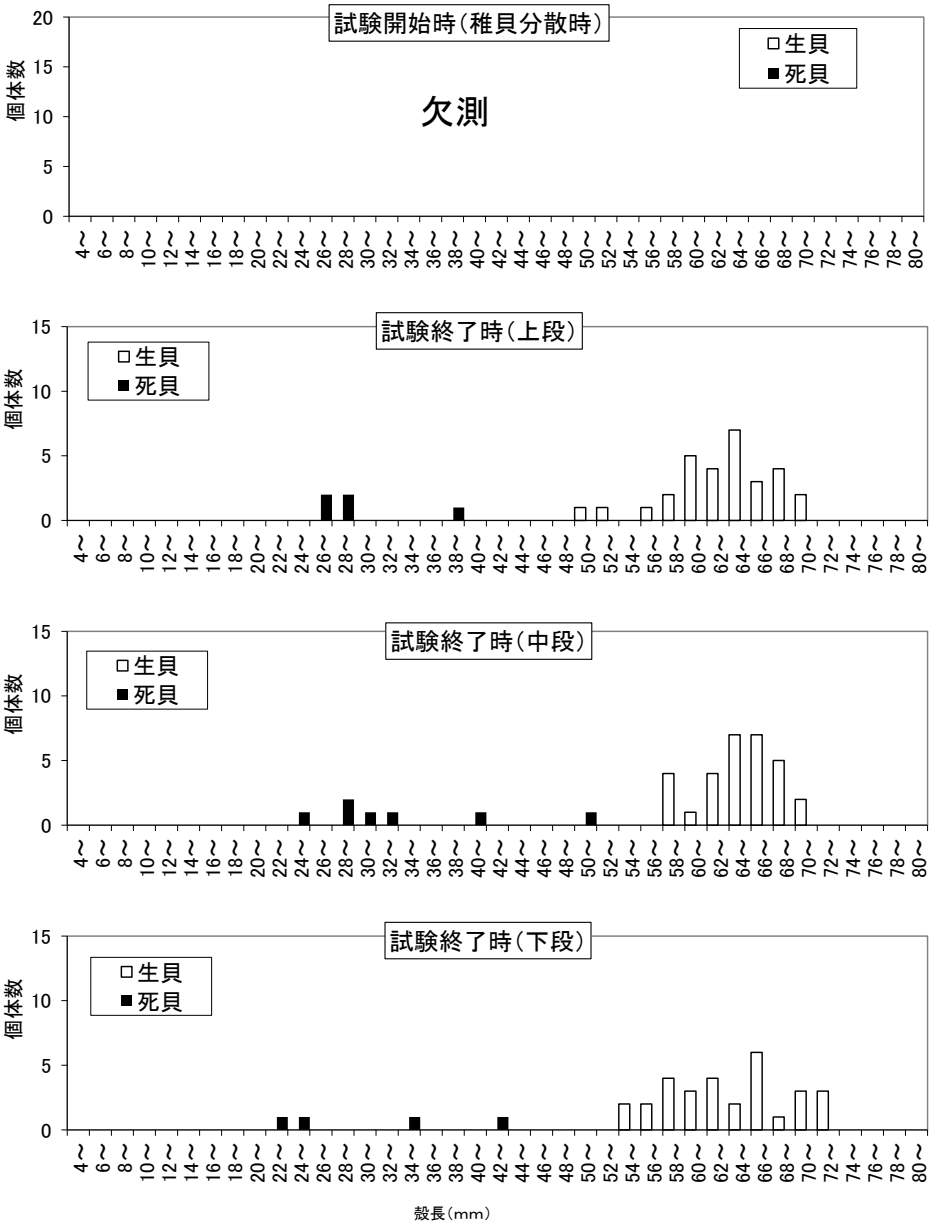
付図3-7.　浦田　陸の殻長組成



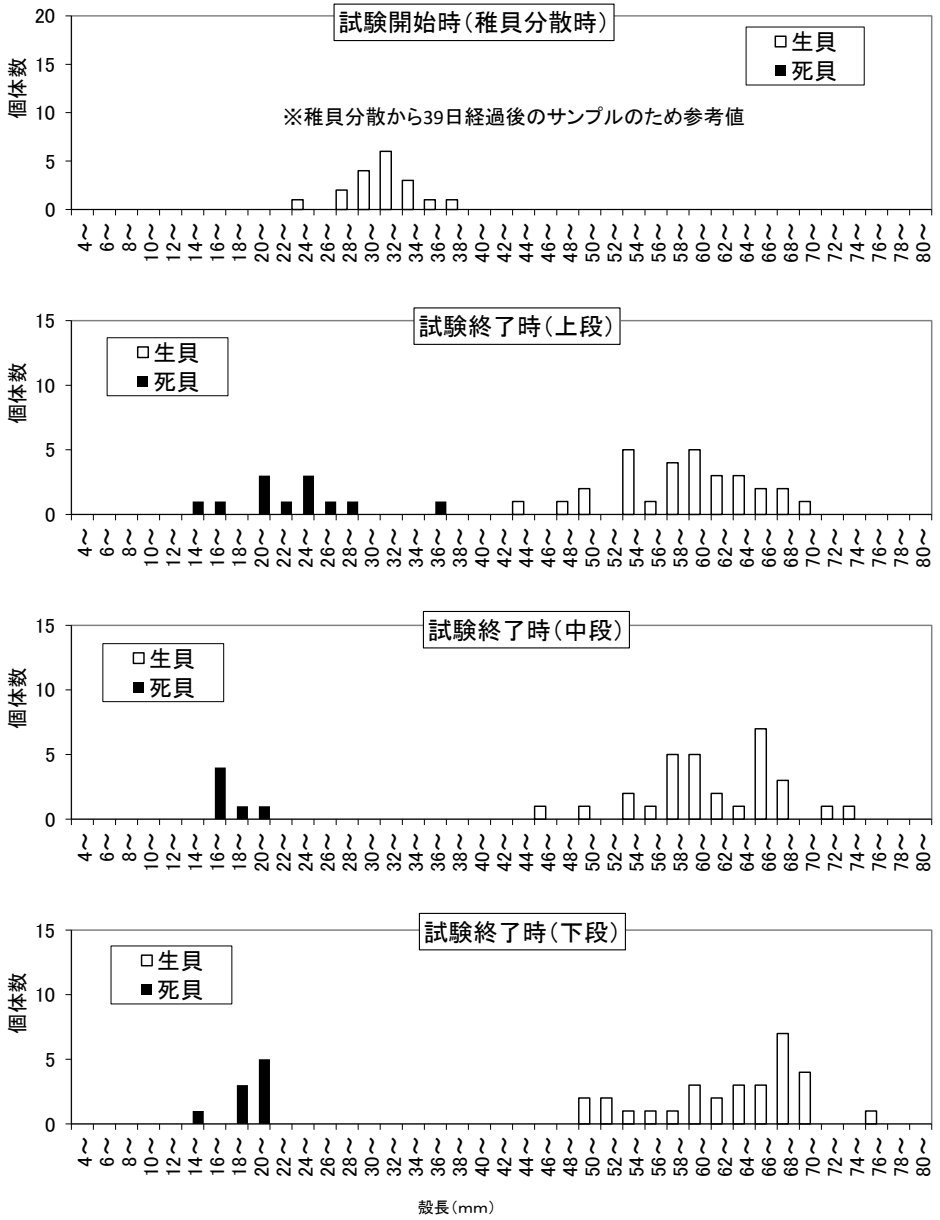
付図3-8.　浦田　中の殻長組成



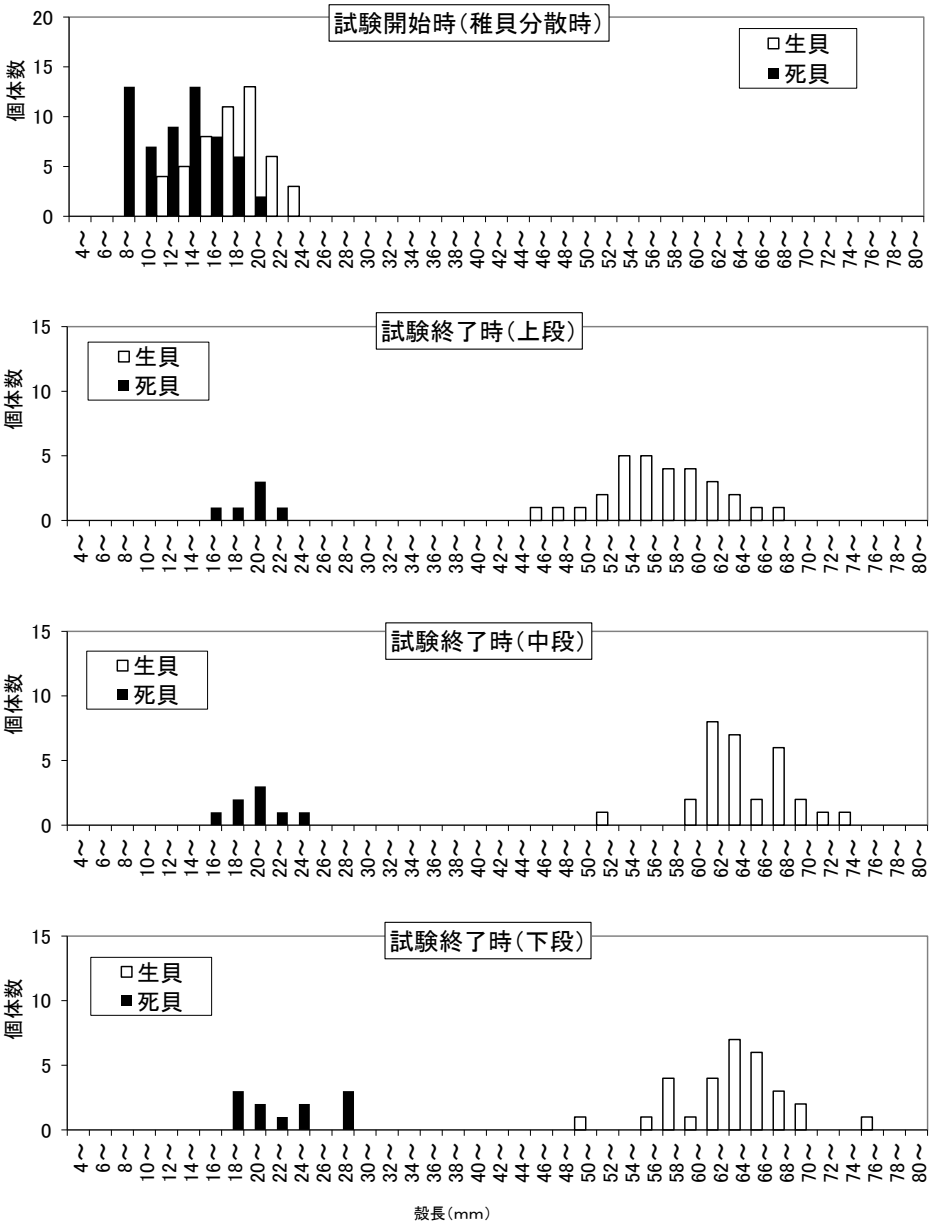
付図3-9.　浦田　沖の殻長組成



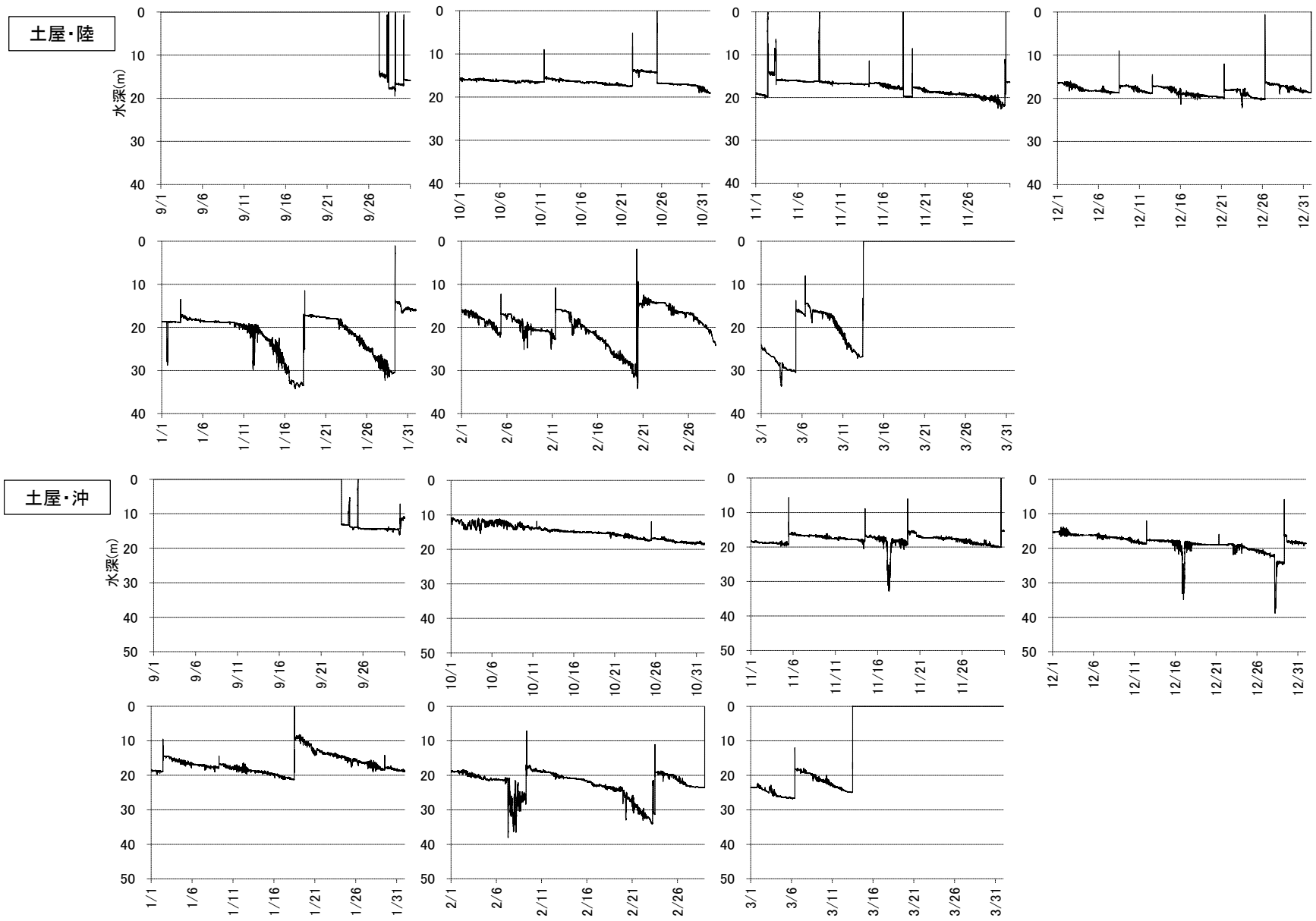
付図3-10.　稲生　陸の殻長組成



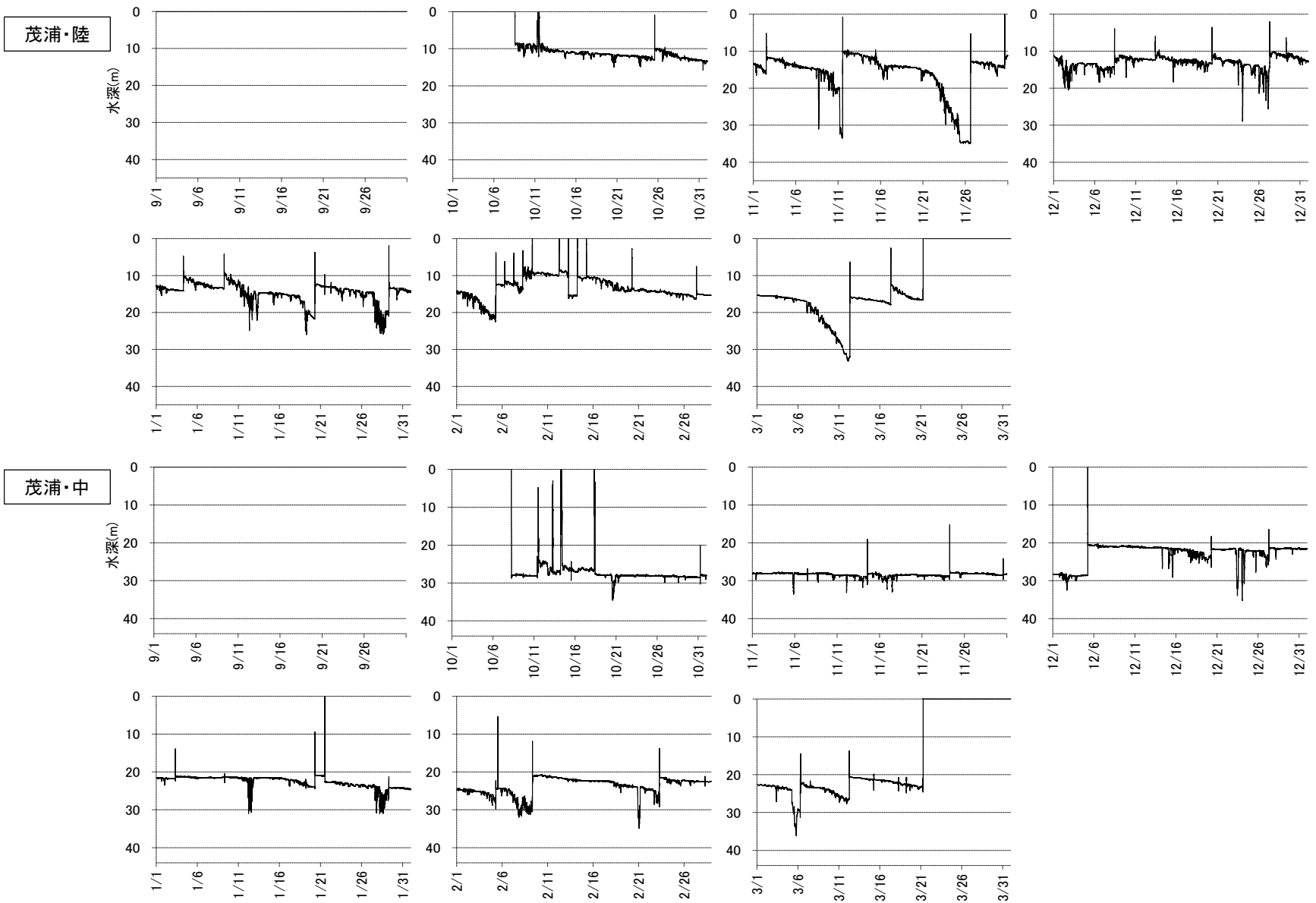
付図3-11.　稲生　中の殻長組成



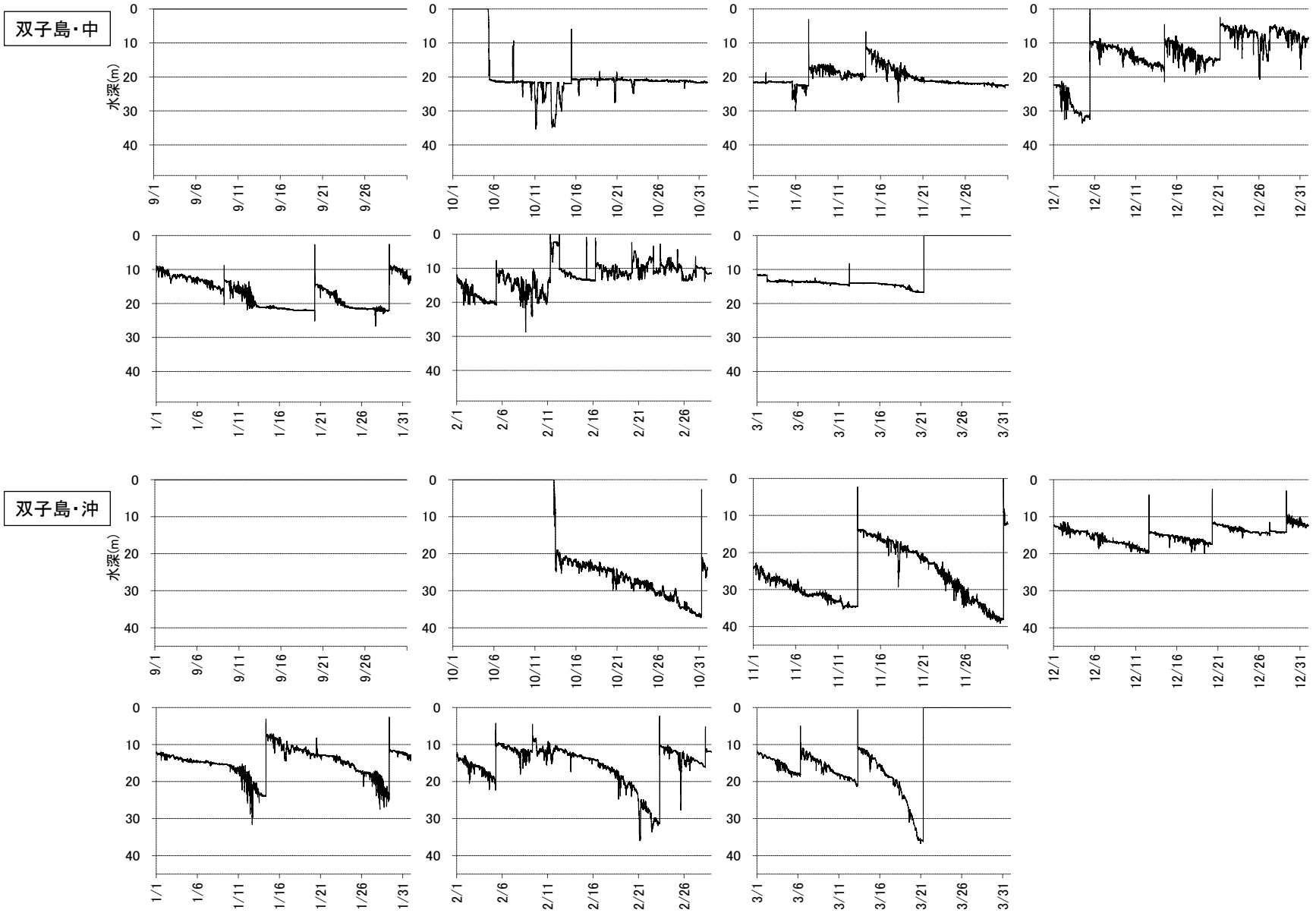
付図3-12.　稲生　沖の殻長組成



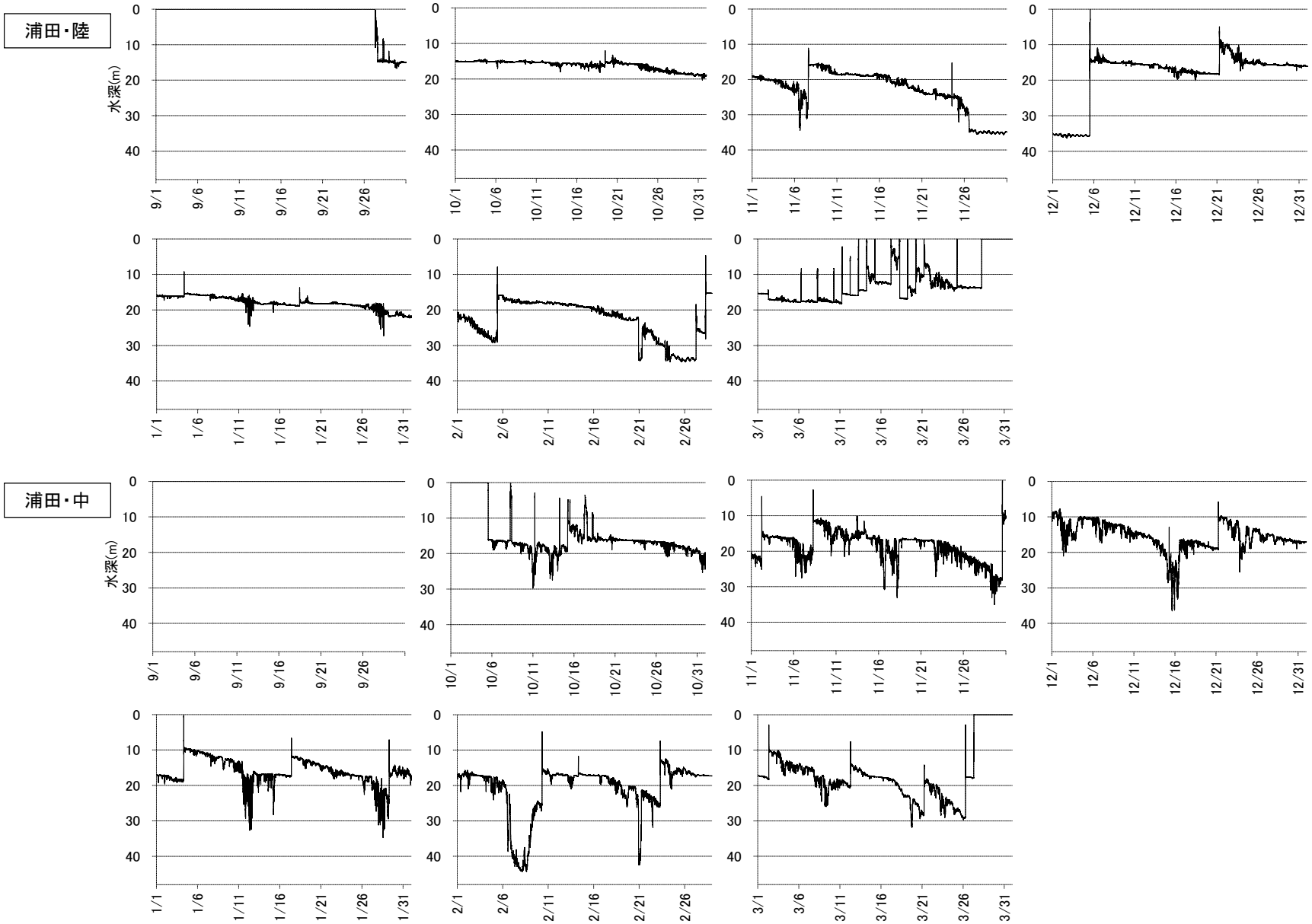
付図4-1. 平内町土屋地区の養殖施設の幹綱水深の推移



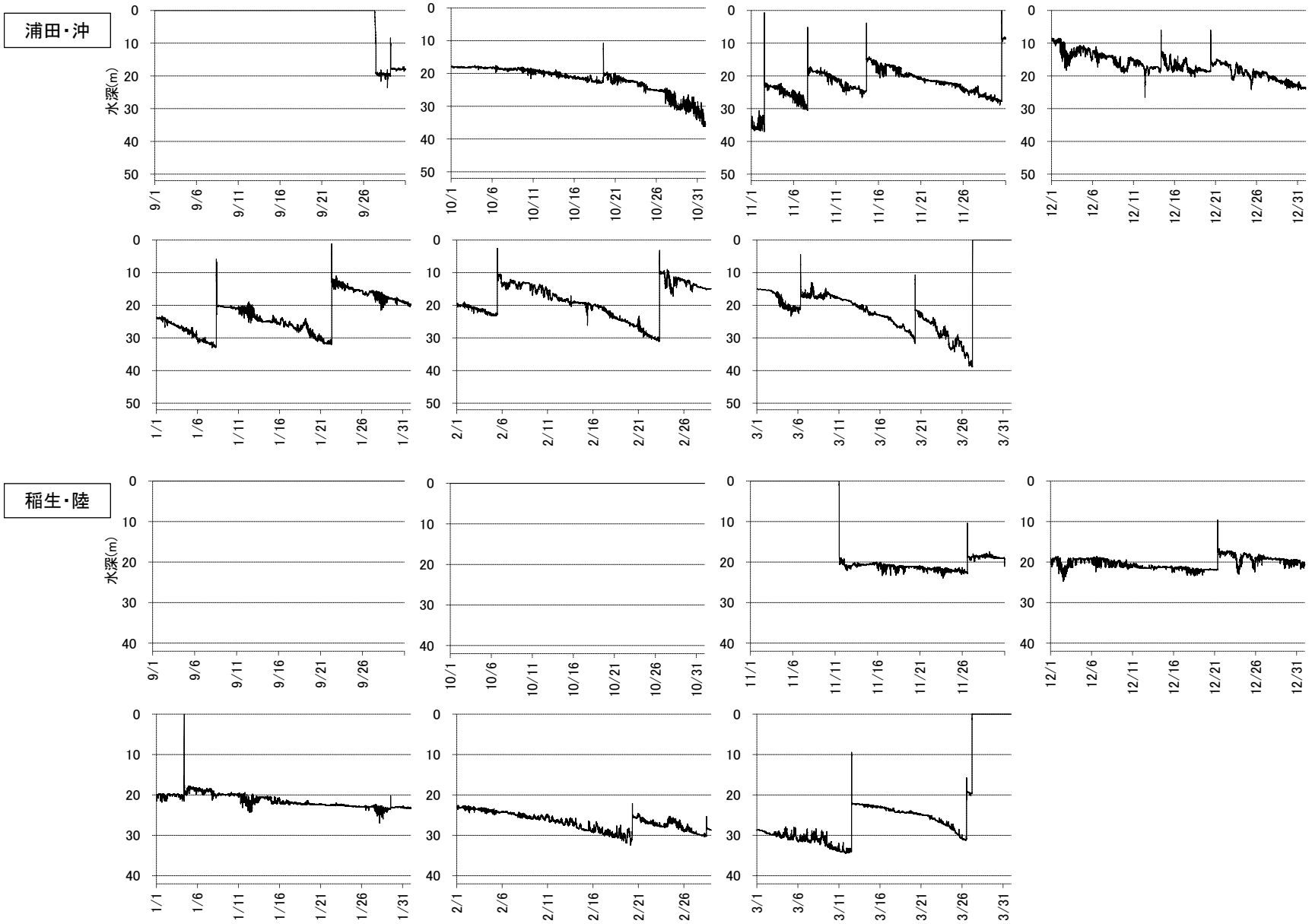
付図4-2-1. 平内町茂浦地区の養殖施設の幹綱水深の推移



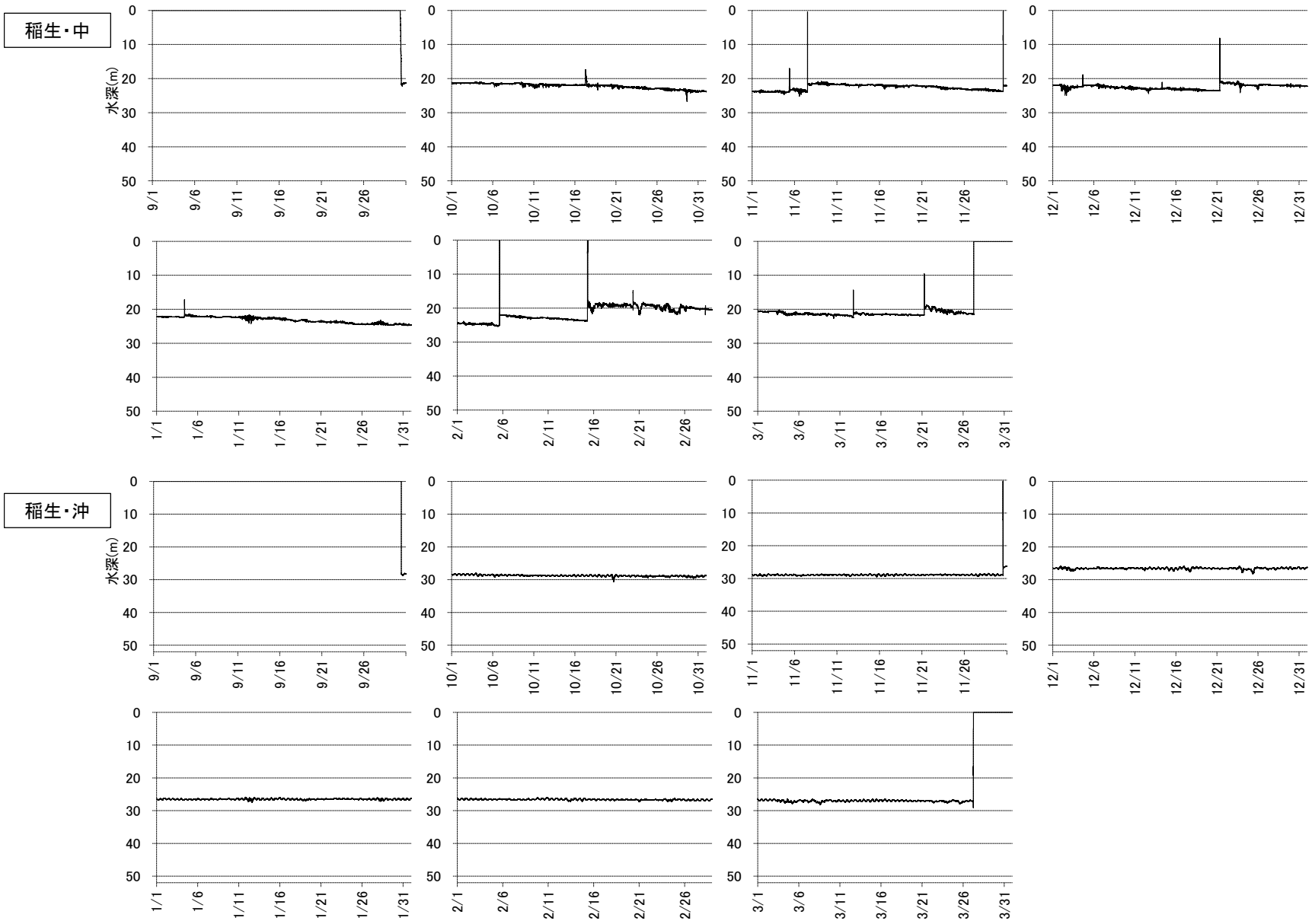
付図4-2-2. 平内町茂浦地区の養殖施設の幹綱水深の推移



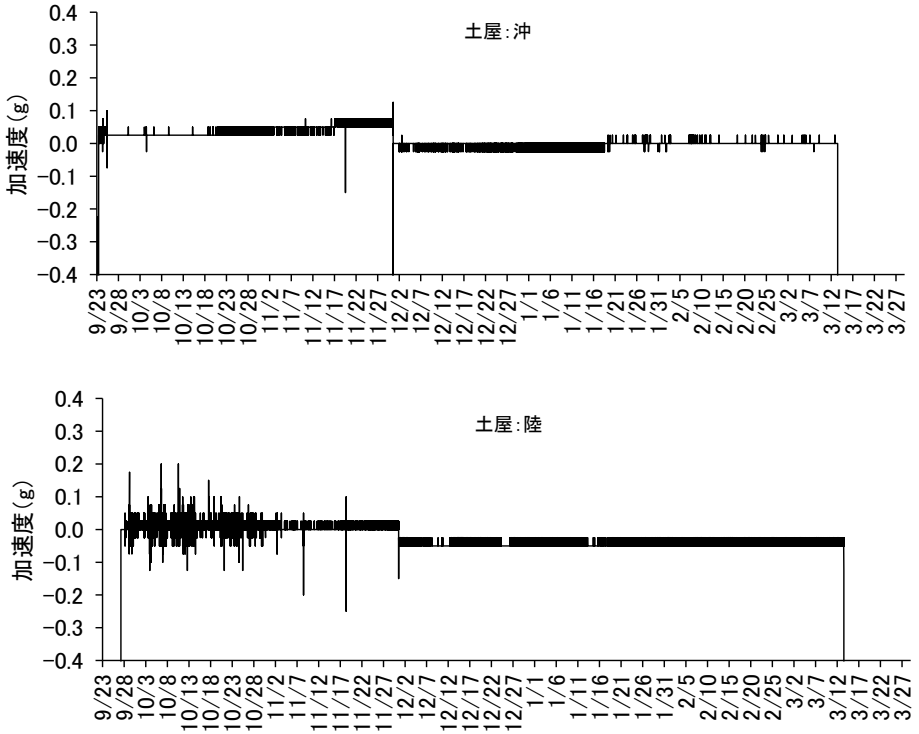
付図4-3-1. 平内町浦田地区の養殖施設の幹綱水深の推移



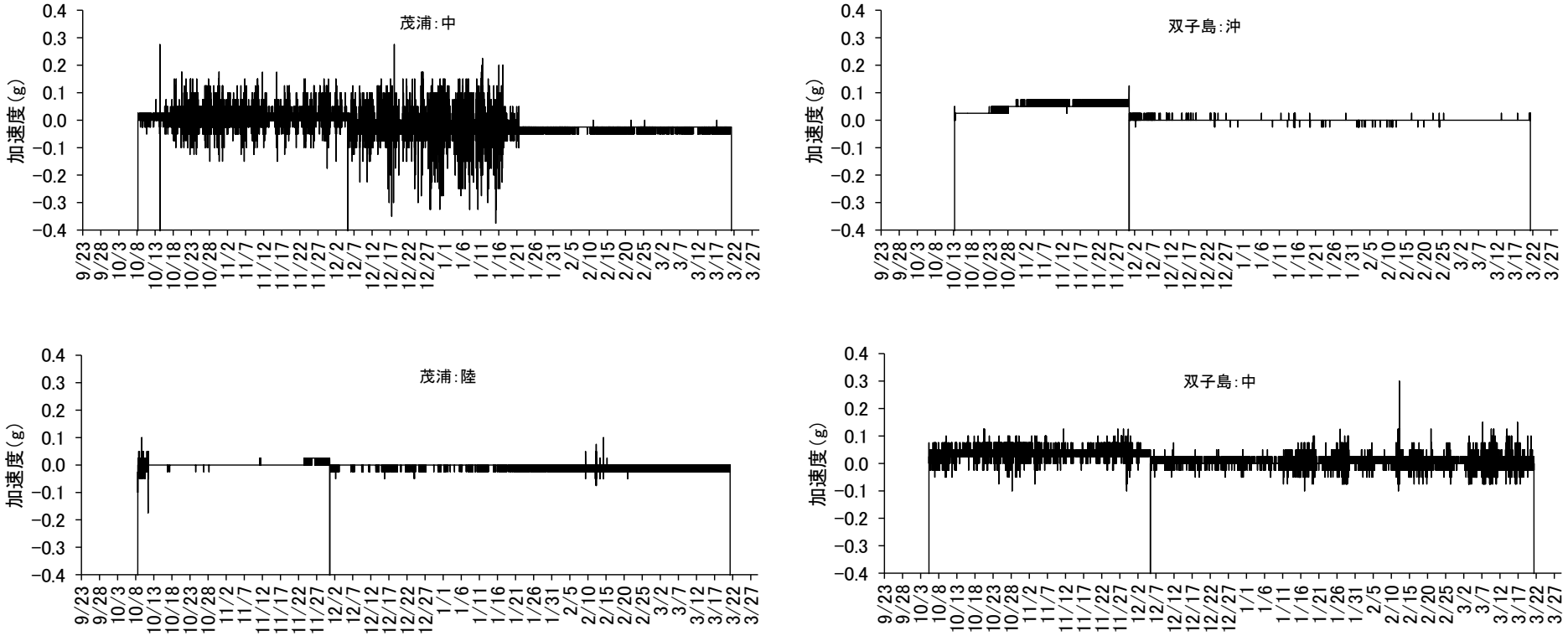
付図4-3-2. 平内町浦田地区の養殖施設の幹綱水深の推移



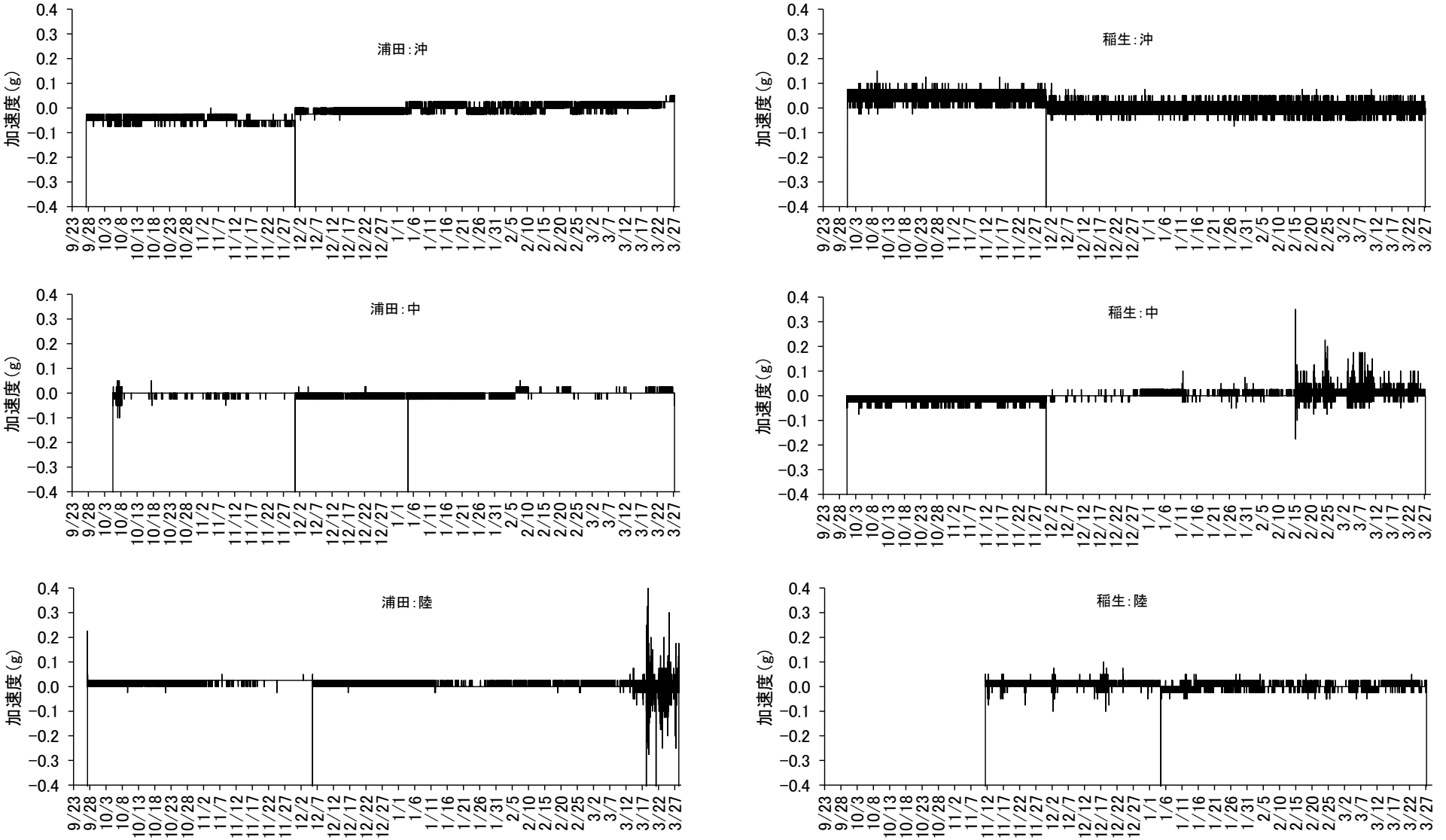
付図4-3-3. 平内町浦田地区の養殖施設の幹綱水深の推移



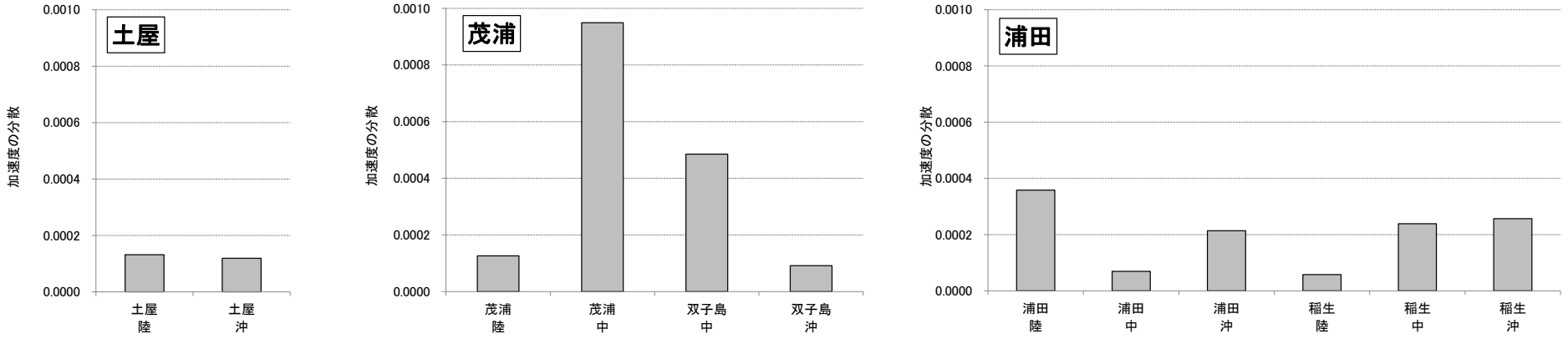
付図5-1. 平内町土屋地区の養殖施設の幹綱の加速度の推移



付図5-2. 平内町茂浦地区の養殖施設の幹綱の加速度の推移



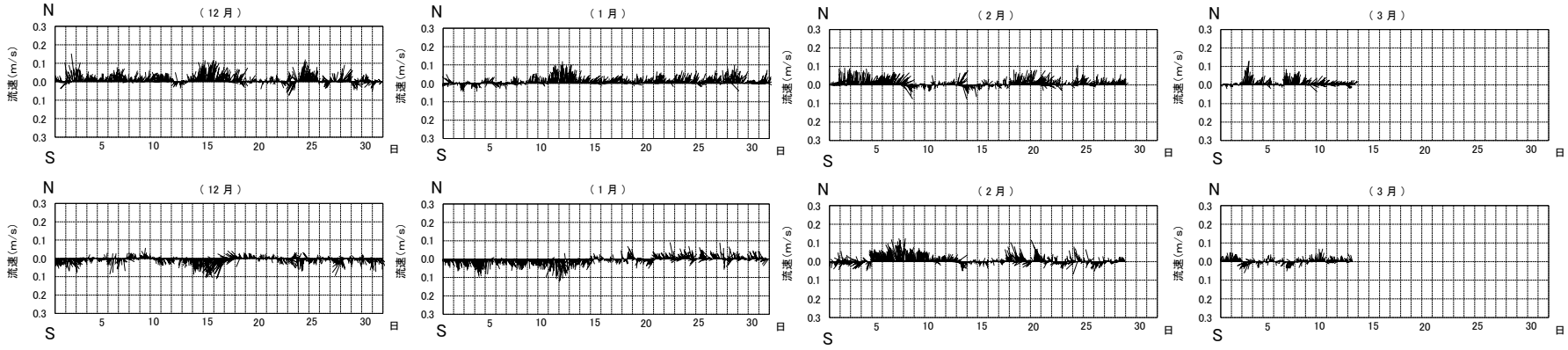
付図5-3. 平内町浦田地区の養殖施設の幹綱の加速度の推移



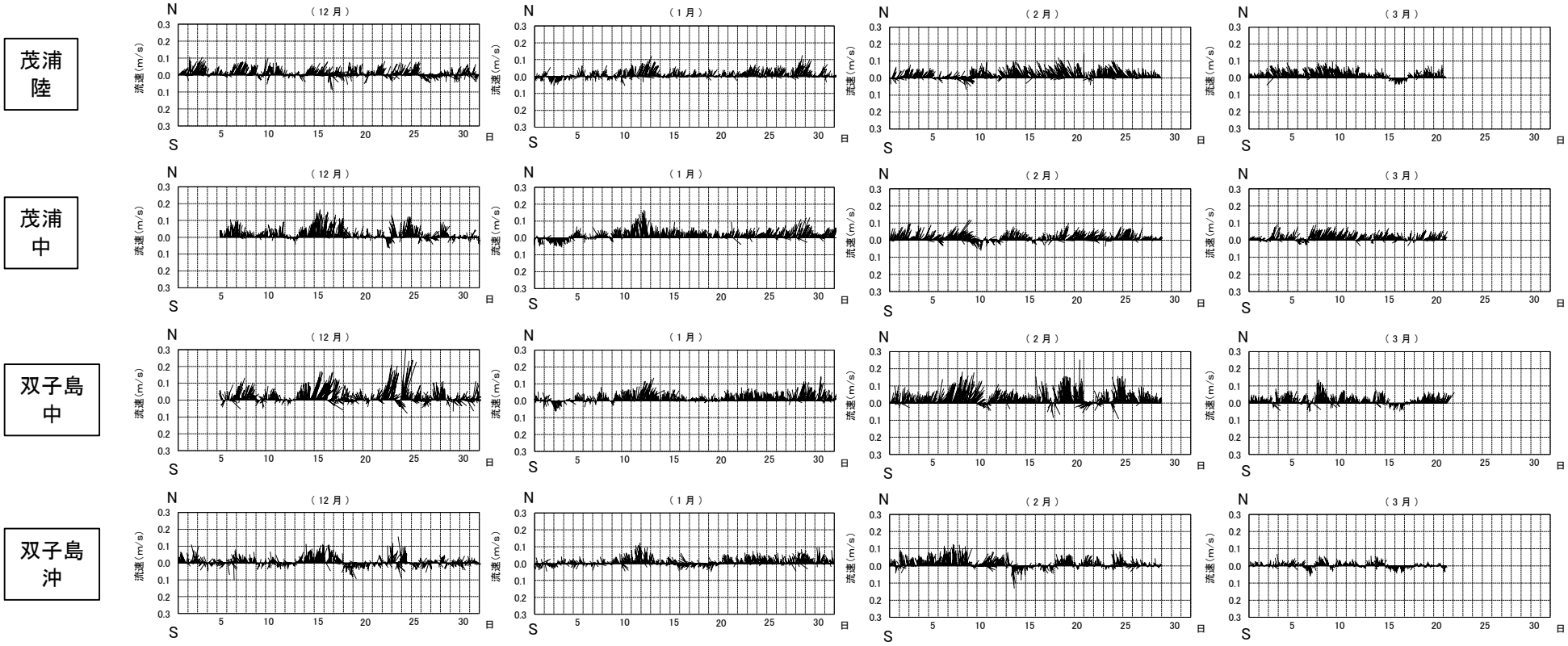
付図5-4. 養殖施設の幹綱の加速度の分散

土屋
陸

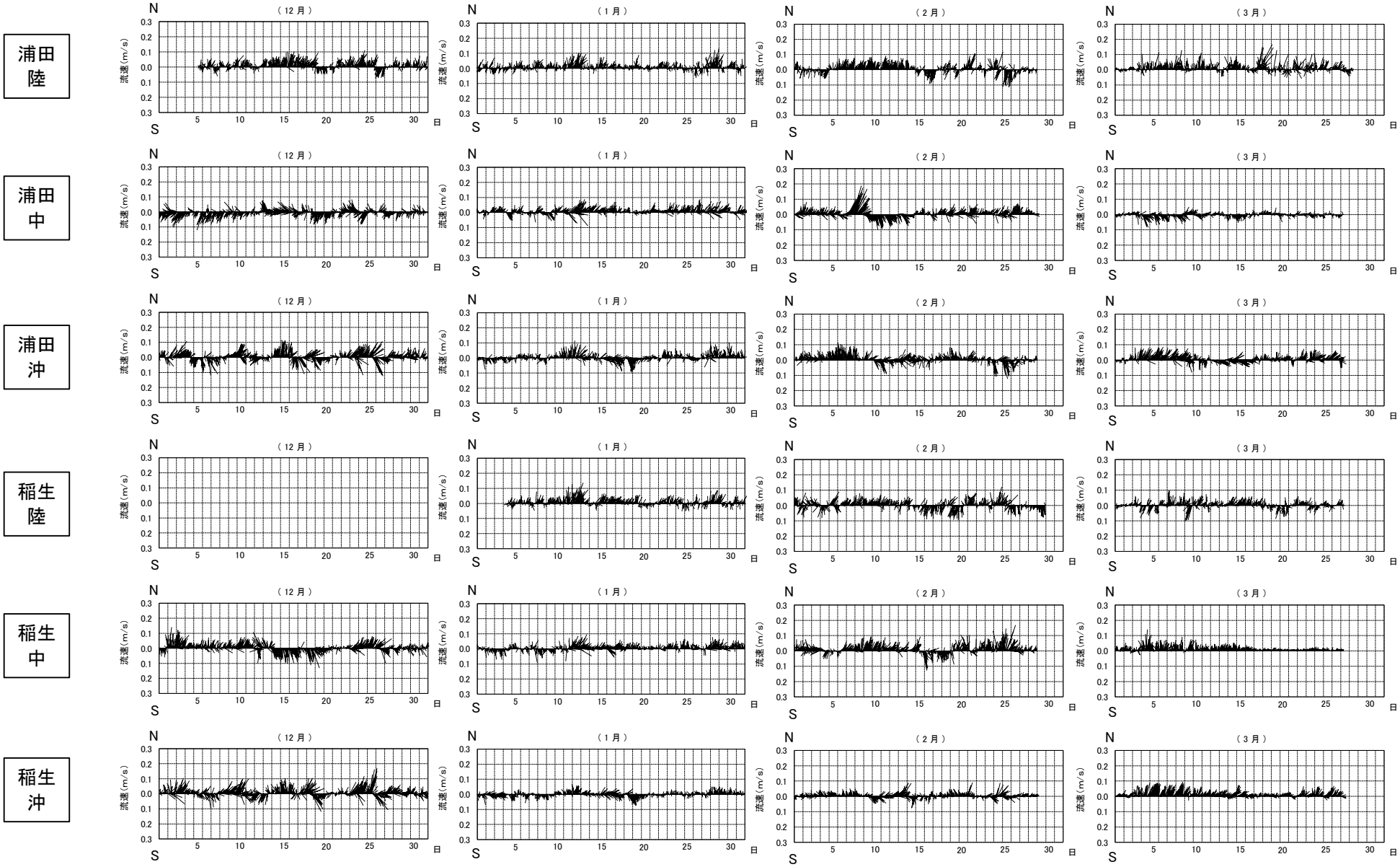
土屋
沖



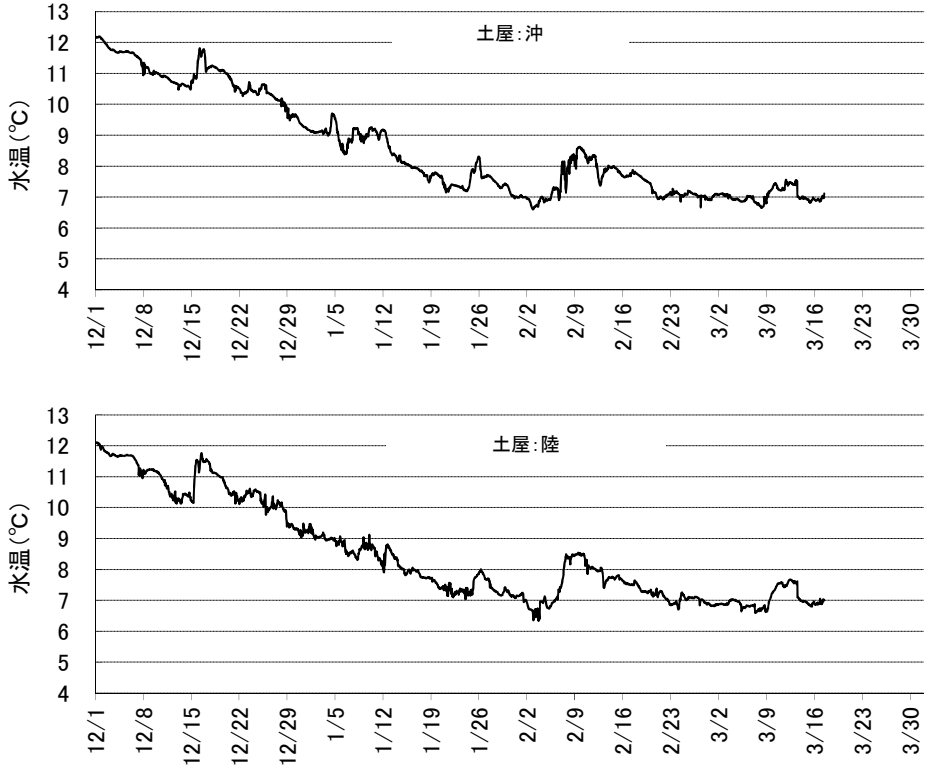
付図6-1. 平成28年12月～平成29年3月における平内町土屋地区の養殖施設の幹綱の流向流速の推移



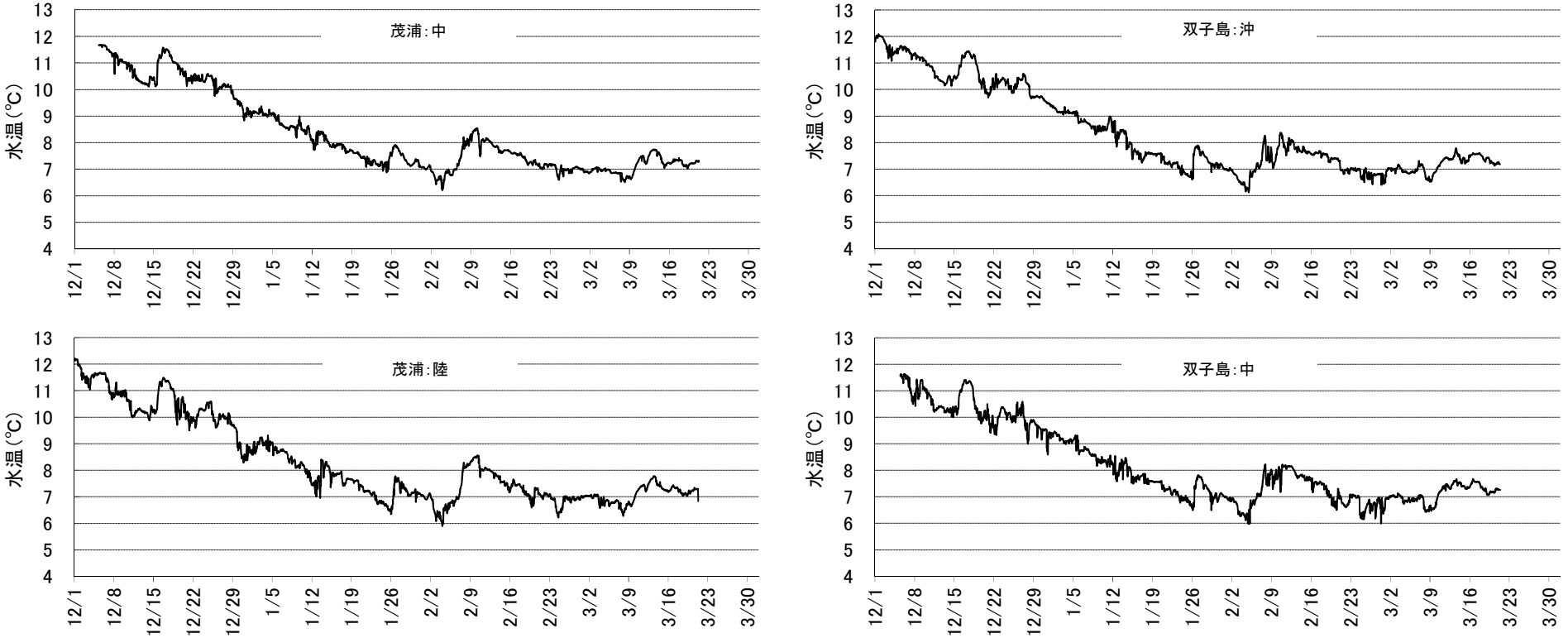
付図6-2. 平成28年12月～平成29年3月における平内町茂浦地区の養殖施設の幹綱の流向流速の推移



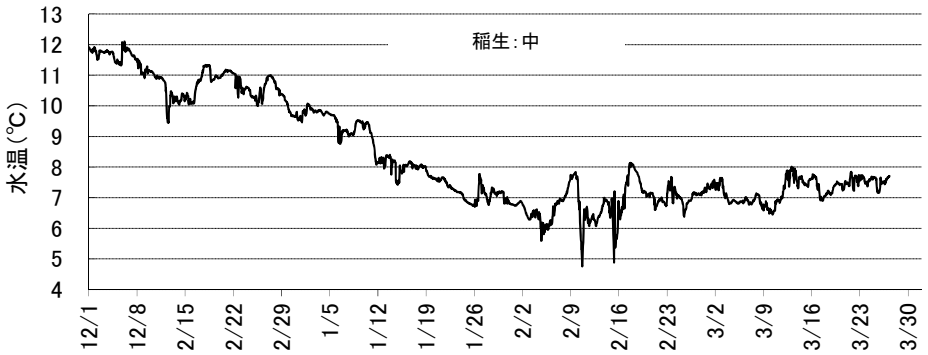
付図6-3. 平成28年12月～平成29年3月における平内町浦田地区の養殖施設の幹綱の流向流速の推移

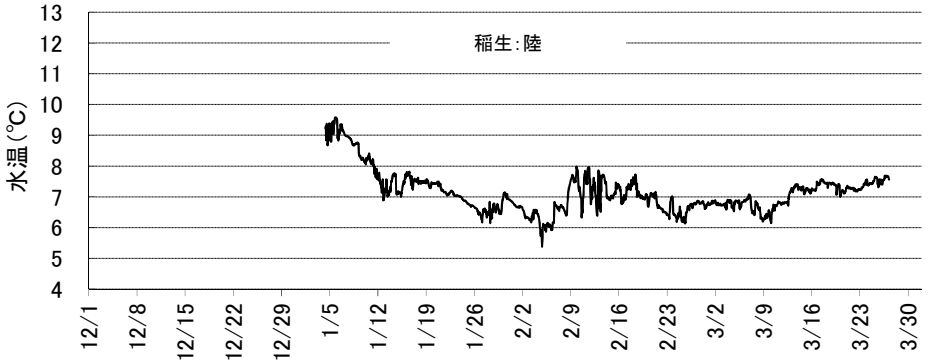


付図7-1. 平成28年12月～平成29年3月における平内町土屋地区の養殖施設の幹綱の水温の推移



付図7-2. 平成28年12月～平成29年3月における平内町茂浦地区の養殖施設の幹綱の水温の推移





付図7-3. 平成28年12月～平成29年3月における平内町浦田地区の養殖施設の幹綱の水温の推移