

青森湾西岸で発生したホタテガイ成貝大量へい死の原因究明とへい死軽減技術の開発

吉田達、森恭子

目的

平成28年2月下旬から陸奥湾の青森湾西湾で今まで見られないようなホタテガイ成貝の大量へい死が発生し、成貝出荷が終了する8月までへい死が止まらないという異常事態が発生したことから、へい死原因の解明とへい死軽減技術を開発する。

材料と方法

1. 養殖施設における実証試験

平成28年11月30日に青森市後潟地先の漁業者養殖施設から平成27年産貝（稚貝分散月日は平成27年12月20日頃、パールネットの収容密度は13枚/段、へい死率は約8割）を回収し、浜小屋でクリーナーを用いて付着物を除去後に、目視でサイズを大型貝と小型貝に分け、表1に示すような試験区をそれぞれ1連ずつ作成した。後潟地先の水深35mに設置した漁業者養殖施設の調整玉直下の幹綱から約80cm離れた位置に試験区No.11を、調整玉と調整玉の間の幹綱にそれ以外の試験区11連を垂下した（図1）。試験開始時に調整玉直下の試験区1連の横にはメモリー式加速度計（Onset Computer社、HOB0ペンダントG Logger）、メモリー式水温計（Onset Computer社、HOB0 WaterTempPro V2）を、調整玉と調整玉の間の試験区11連の横にはメモリー式加速度計（同上）、メモリー式深度計（JFEアドバンテック社製MDS-MkV/D）を垂下し、上下方向の加速度を5分間隔、水温と幹綱水深を1時間間隔で記録した他、平成29年2月15日に試験区11連の横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）を追加で設置し、流向流速を1時間間隔で記録した。試験期間中は、漁業者に野帳を渡して、幹綱に付ける浮力調整用浮玉（以後「底玉」と呼ぶ）の追加月日、個数、位置を記録して貰った。試験開始時に大型貝30個体と小型貝30個体の殻長、全重量、軟体部重量を測定し、異常貝の有無を確認した。平成29年6月6日の試験終了時には、籠別、収容枚数別に生貝、死貝を計数後、30個体の殻長、全重量、軟体部重量、貝柱重量、中腸腺重量、生殖腺重量を測定し、異常貝の有無を確認した。

表1. 籠の種類・目合、錘の有無、1段当りの収容枚数、幹綱の垂下位置、貝の大きさ

No	籠の種類	目合	錘	収容枚数	垂下位置	貝の大きさ
1	丸籠（蛙又）	4分	コンクリート2kg	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
2	丸籠（蛙又）	4分	なし	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
3	丸籠（蛙又）	7分	コンクリート2kg	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
4	丸籠（蛙又）	7分	なし	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
5	丸籠（ラッセル）	3分	コンクリート2kg	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
6	丸籠（ラッセル）	3分	なし	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
7	パールネット（蛙又）	4分	コンクリート2kg	奇数段4枚/段 偶数段6枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
8	パールネット（蛙又）	4分	なし	奇数段4枚/段 偶数段6枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
9	パールネット（ラッセル）	3分	コンクリート2kg	奇数段4枚/段 偶数段6枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
10	パールネット（ラッセル）	3分	なし	奇数段4枚/段 偶数段6枚/段	調整玉と調整玉の間	大型貝
11	丸籠（蛙又）	7分	なし	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉の直下から8m	大型貝
12	丸籠（蛙又）	7分	なし	奇数段8枚/段 偶数段12枚/段	調整玉と調整玉の間	小型貝

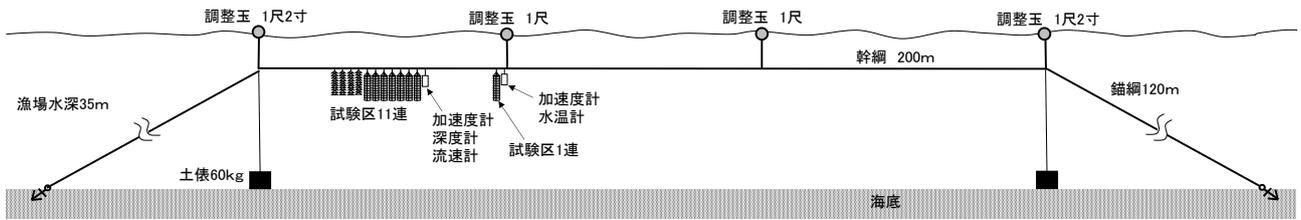


図 1. 養殖施設図

2. 屋内回流水槽を用いた養殖籠の動揺試験

丸籠の流れや波浪に対する動揺を調べるため、北海道大学水産学部水槽センター内の大型回流水槽（幅 2m、長さ 20m、深さ 1.2m）を使用して試験を行った。回流水槽上部に設置した移動式作業台に目合 7 分、4 段の丸籠を吊り下げ、水中を 0.1m/s、0.2m/s、0.3m/s、0.4m/s、0.5m/s の流速となるように電動で作業台を移動させた。丸籠 1 段当りにはホタテガイ模型を 10 個ずつ収容した。模型は殻長 10~12cm の 2 年貝の空貝を用い、右殻と左殻の蝶番部分をシリコンボンドで接着し、貝殻内部へ比重調整用のサンゴ砂をシリコンボンドで接着した。水槽には観測窓があり、丸籠が通過する際に、丸籠の傾きや丸籠内のホタテガイ模型の状態を目視観察したほか、デジタルカメラで動画撮影し、パソコン上の静止画像から吹かれ角度を求めた。なお、海藻や付着生物で目詰まりした場合を想定して、目合 1 分の採苗用のネットを丸籠に被せて、同様にデータを収集したほか、波浪による複合的な影響も調べるために作業台の丸籠を人力で上下動（約 2 秒で上昇し、自然落下を連続）させながらデータを収集した。

結果と考察

1. 養殖施設における実証試験

(1) ホタテガイの測定結果

試験終了時のへい死率は 65~93% であり、いずれの試験区も非常に高かった。パールネット（ラッセル、3 分目、錘あり）のへい死率が 65~67% とやや低かった。8 割以上の高いへい死率が見られたのは錘のない試験区であった（図 2）。

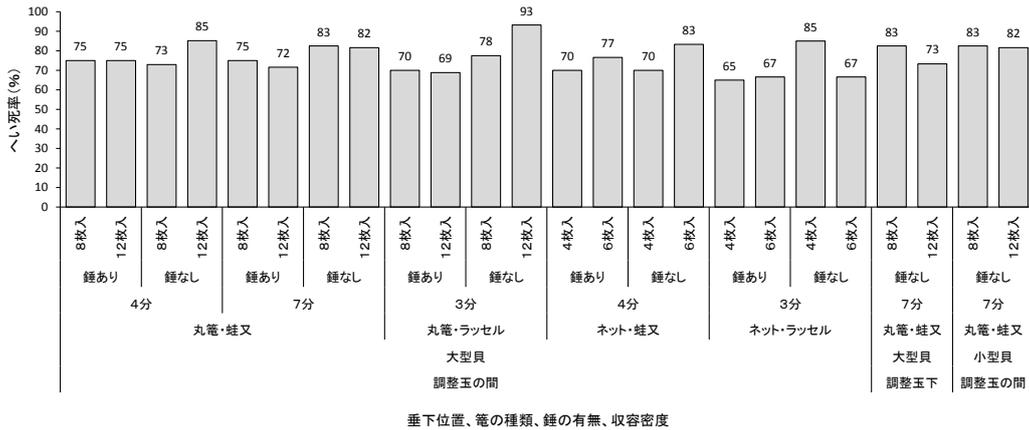


図 2. 垂下位置、籠の種類、錘の有無、收容枚数別のへい死率

試験開始時の異常貝率は大型貝が27%、小型貝が62%であったのに対し、試験終了時の異常貝率は大型貝が80~100%、小型貝が100%と極めて高く、試験区間では明瞭な差が見られなかった(図3)。

試験開始時の殻長は大型貝が97mm、小型貝が87mmであったのに対し、試験終了時は大型貝が102~114mm、小型貝が92~93mmといずれも終了時の方が大きかった(図4)。

試験開始時と試験終了時における貝の大きさ別の殻長組成を図5に示した。小型貝は試験開始時の生貝の殻長組成と試験終了時の死貝の殻長組成が全く同じであることから、試験開始直後にへい死したものと考えられた。大型貝は試験開始時の生貝の殻長組成よりも試験終了時の死貝の殻長組成の方がやや大きいことから、試験開始直後から少し成長した後へい死したものと考えられた。

全重量、軟体部重量は、試験開始時に比べるといずれも試験終了時の方が大きかった(図6~7)。

軟体部重量について、試験区ごとの平均値の差の検定を行ったところ、大型貝が小型貝より有意に大きかったが、垂下位置、籠の種類、錘の有無、収容枚数では差が見ら

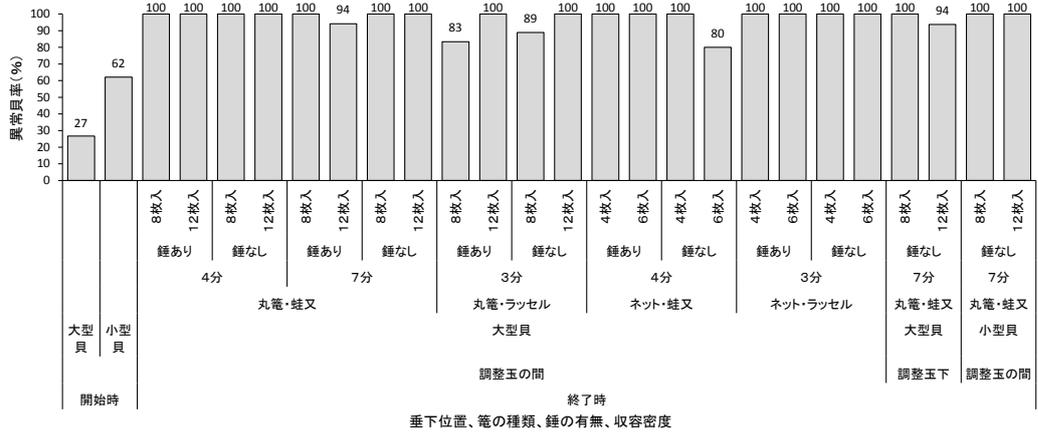


図3. 垂下位置、貝の大きさ、籠の種類、錘の有無、収容枚数別の異常貝率

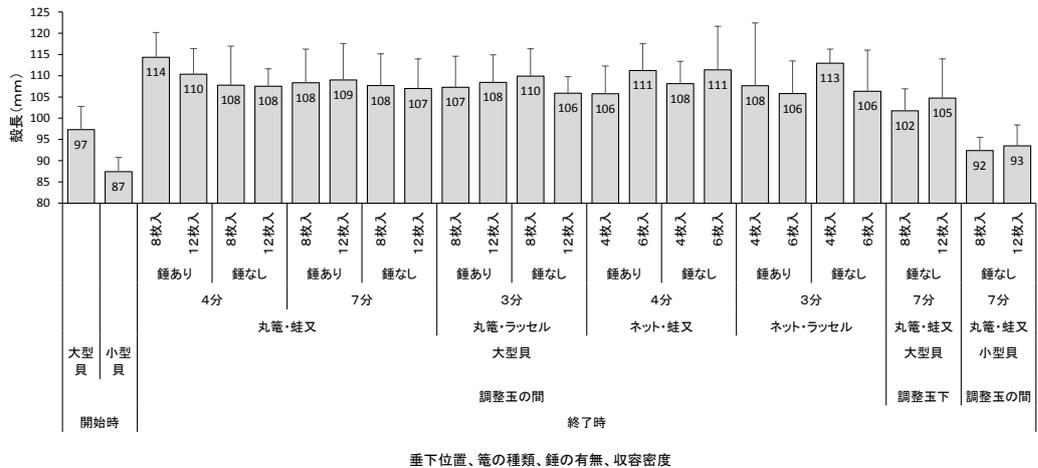


図4. 垂下位置、貝の大きさ、籠の種類、錘の有無、収容枚数別の殻長

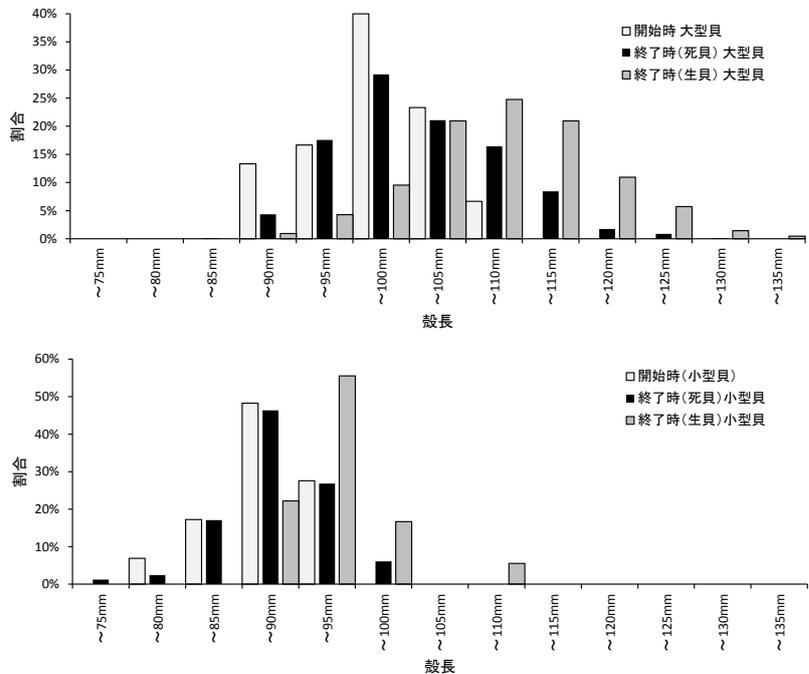


図5. 試験開始時と試験終了時における貝の大きさ別の殻長組成(上が大型貝、下が小型貝)

れなかった (図 8)。

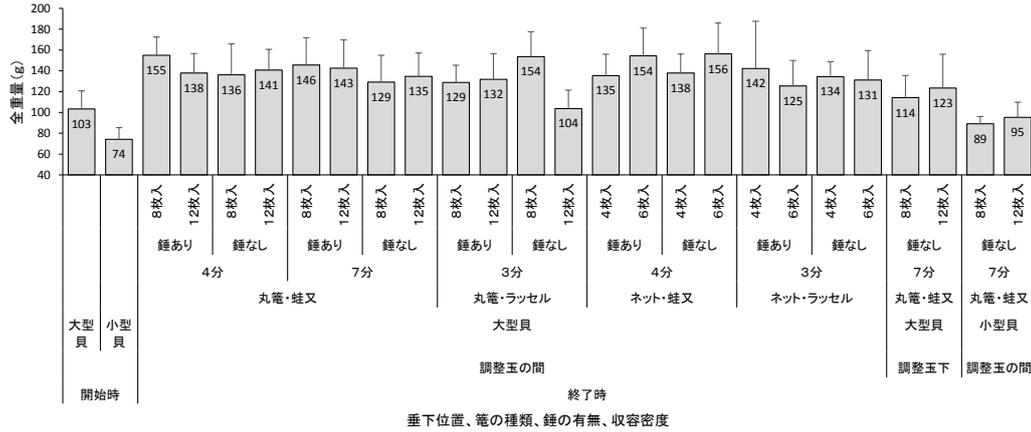


図 6. 垂下位置、貝の大きさ、籠の種類、錘の有無、收容枚数別の全重量

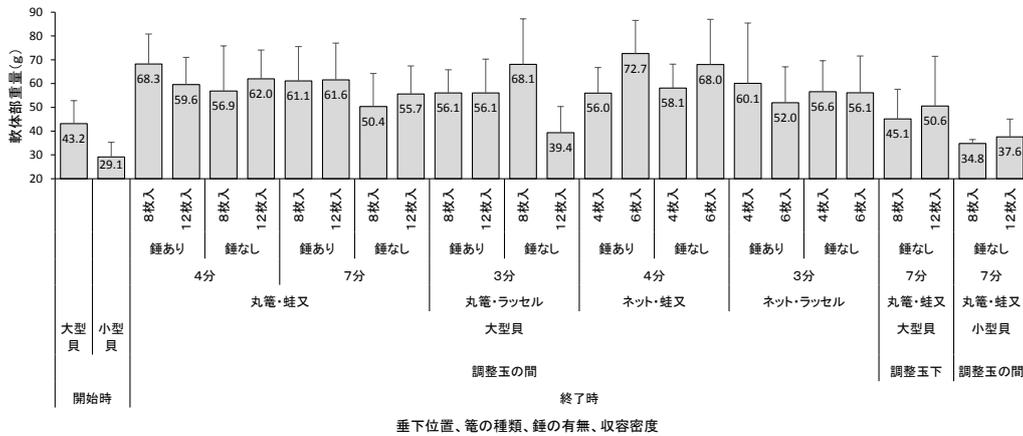


図 7. 垂下位置、貝の大きさ、籠の種類、錘の有無、收容枚数別の軟体部重量

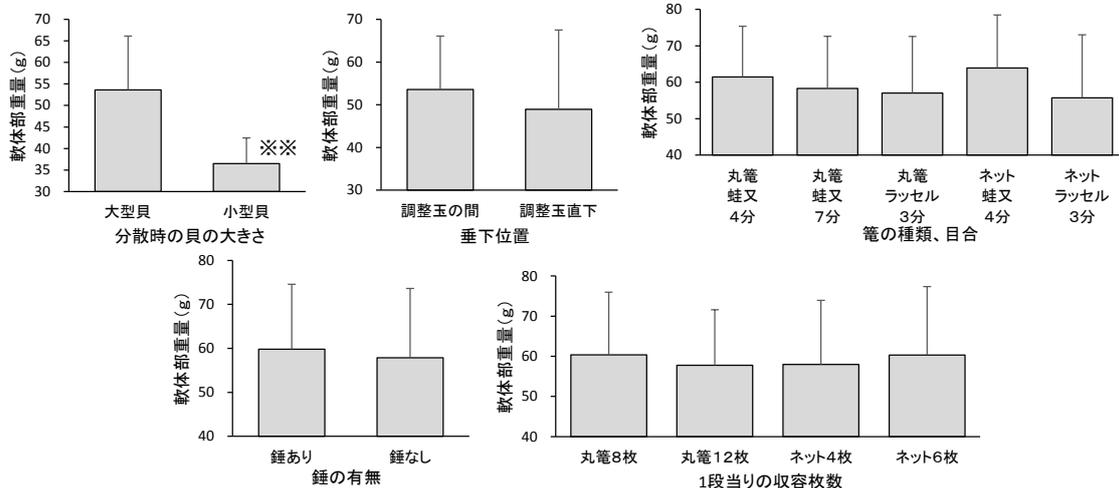


図 8. 軟体部重量の試験区ごとの平均値の差の検定結果 (***)は $P < 0.01$ で有意差あり

生殖腺指数の各試験区の平均値は 8.4~11.9 の範囲であるが、全ての測定数 228 個体のうち、産卵終了の目安である生殖腺指数が 10 を下回っていない個体が 119 個体と半分以上を占めていることから、試験区全体として産卵がスムーズに行われなかったものと考えられる (図 9、図 10)。

生殖腺指数と貝柱重量、中腸腺重量については、それぞれ有意水準 1% 以下で負の相関関係が見られることから、産卵不調で体力の回復を阻害する個体があると考えられた (図 11)。

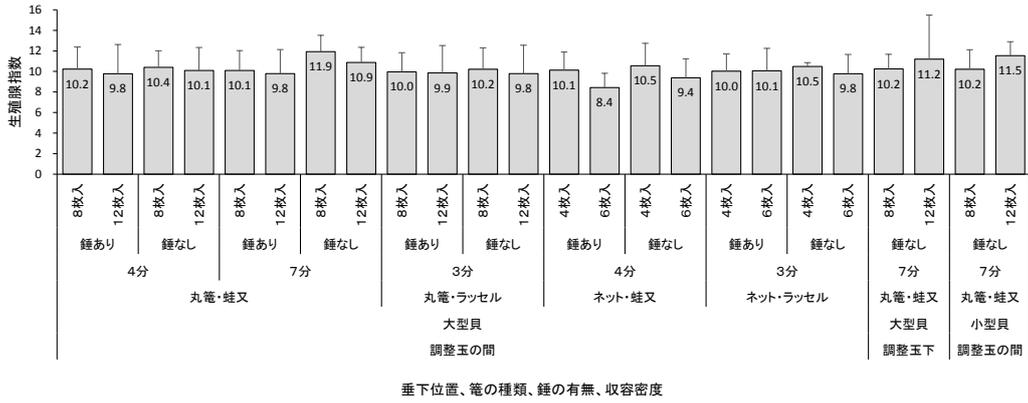


図 9. 垂下位置、貝の大きさ、籠の種類、錘の有無、收容枚数別の生殖腺指数

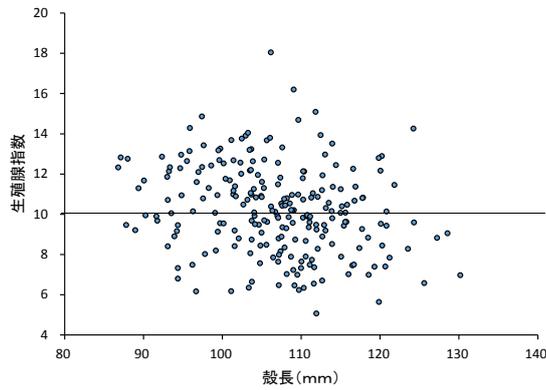


図 10. 殻長と生殖腺指数の関係（実線は産卵終了の目安）

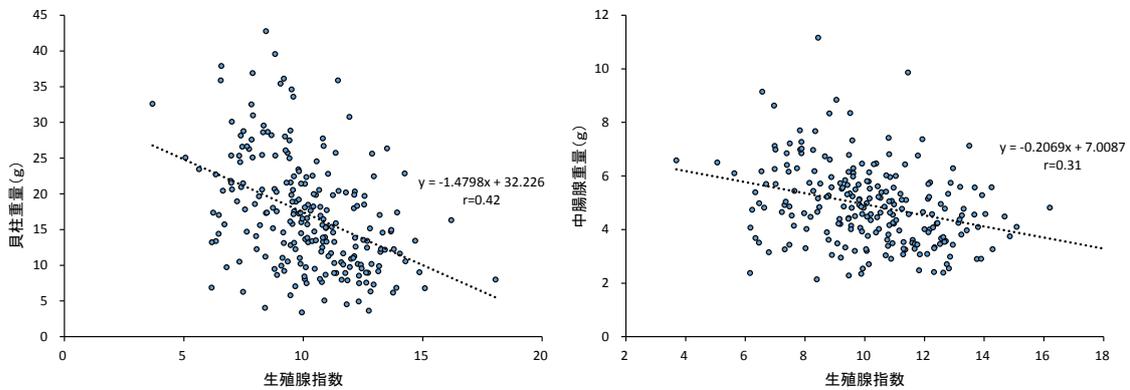


図 11. 生殖腺指数と貝柱重量（左）、中腸腺重量（右）の関係

(2) 水温等の測定結果

養殖施設の水温は、試験開始時が 12.5℃、試験終了時が 13.9℃、最低水温は平成 29 年 2 月 27 日の 7.1℃であった（図 12）。平成 29 年 2 月～6 月における養殖施設の流向流速は 0～0.16m/秒の範囲で、最高は 5 月 11 日であった（図 13）。水温、流速ともにホタテガイの成育に影響を及ぼすような値は見られなかった。

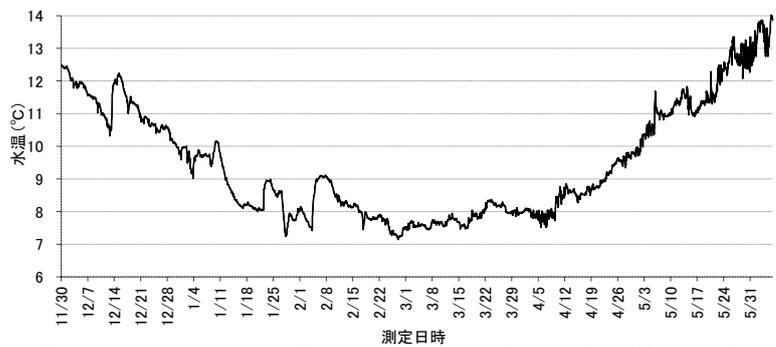


図 12. 平成 28 年 11 月～平成 29 年 6 月の養殖施設の水温

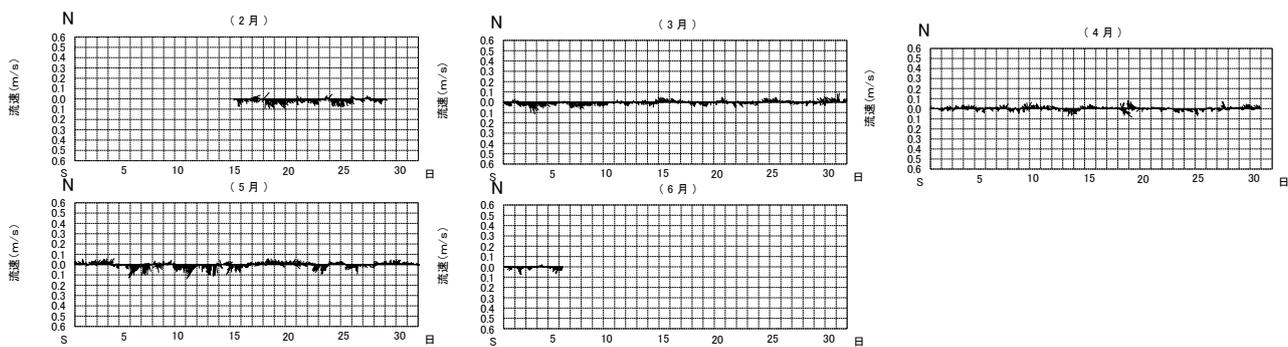


図 13. 平成 29 年 2 月～6 月の養殖施設の流向流速

養殖施設の幹綱深度は、試験開始時から平成 28 年 12 月にかけて分散作業のため概ね 3～5m と非常に浅かったが、特に 12 月 9 日～13 日は 1.4～1.8m と極めて浅かった。平成 29 年 1 月には 5m から 8m に少しく沈んだが、2 月に入ると変化が見られなくなった。へい死が酷いことから本養殖施設に垂下してある漁業者の貝を 2 月 15 日と 3 月 16 日に出荷したため、出荷後はそれぞれ 12m、18m に沈んだ。3 月 2 日に玉付けを行い 10m に浮上した後、少しく沈み、試験終了時は 12m であった (図 14)。

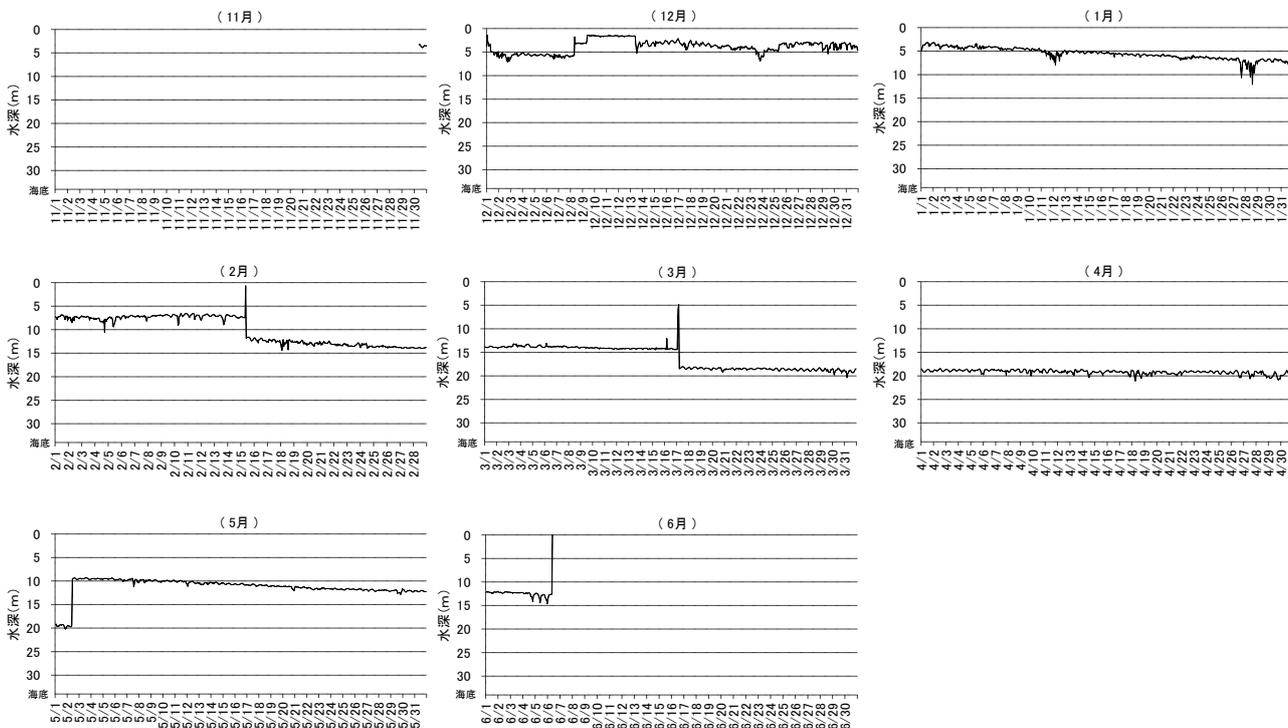


図 14. 平成 28 年 11 月～平成 29 年 6 月の養殖施設の幹綱深度

養殖施設の上下方向の加速度は、試験開始時から分散作業中の 12 月にかけて、やや高い値が見られており、特に幹綱水深が 1m 台と極端に浅かった 12 月 10～12 日の揺れが激しかった。なお、調整玉と調整玉の間と調整玉直下では顕著な差は見られなかった (図 15)。

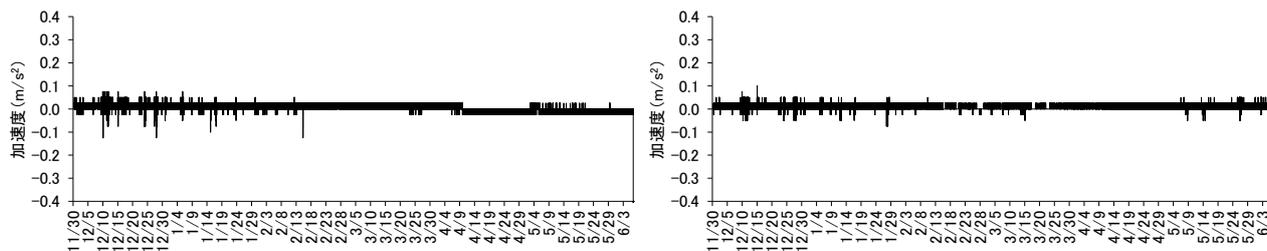


図 15. 平成 28 年 11 月～平成 29 年 6 月の養殖施設の上下方向の加速度（左は調整玉と調整玉の間、右は調整玉直下）

平成 28 年 12 月～平成 29 年 1 月の青森港（国交省ナウファス）の有義波高を図 16 に、平成 28 年 12 月 9～15 日、23～29 日の養殖施設（調整玉と調整玉の間）の上下方向の加速度を図 17 に示した。調査地点が異なるものの、概ね青森港の波高が高いと、後潟沖の養殖施設の上下動が激しくなることが分かった。

なお、波高が高かった 12 月 10～12 日、15 日、24 日、27～28 日の加速度は最高でも 0.15m/s、ほとんどが 0.05 m/s² 前後だったことから、この程度の加速度でもホタテガイの成育に影響を及ぼすものと考えられた。

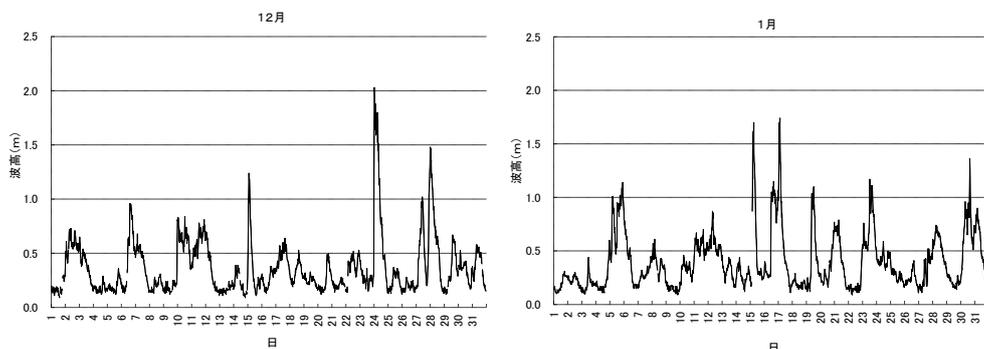


図 16. 平成 28 年 12 月～平成 29 年 1 月の青森港の有義波高（国交省ナウファス）

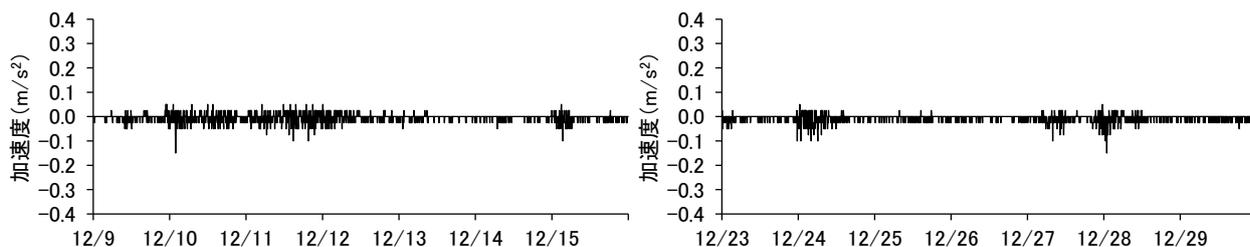


図 17. 平成 28 年 12 月 9～15 日、23～29 日の養殖施設の上下方向の加速度（調整玉と調整玉の間）

2. 屋内回流水槽を用いた養殖籠の動揺試験

屋内回流水槽を用いた試験のうち、流速が 0.5m/s、丸籠の底面に貝が偏在し、被せ網が無い場合とある場合の例を図 18 に示した。また、流速別、網被せ別、貝均し有無別の丸籠の吹かれ角度について図 19 に示した。

今回、丸籠に收容したホタテガイ模型 40 個の重さは、空中重量で約 6kg、水中重量で約 2.5kg だったが、いずれの流速でも籠が傾くことが確認された。籠の傾きは、流速が増大するほど大きくなり、ホタテガイの籠底面での偏在がある場合や、被せ網がある場合は傾きがさらに大きくなった。これは、貝の偏在により籠のバランスが悪くなることや、被せ網により丸籠の流水抵抗が増大するためと考えられた。前述のと

おり後潟地先における 2 月から 6 月の最高流速は 0.16m/s であることから、付着物の有無に係らず丸籠の吹かれ角度は 20° 前後とそれほど大きくないものと考えられた。

流速 0.5m/s、被せ網なし、丸籠底面の貝は均一、籠を上下動させた場合の例を図 20 に示した。流れに波浪の上下動が加わると、籠内でホタテガイが跳ね上がり運動を起こすことが確認された。前述の結果と合わせて考えると、実際の養殖施設では流れよりも波浪の影響を受けている可能性が考えられた。



図 18. 流速別、被せ網の有無別、貝均しの有無別の丸籠の吹かれ角度（左は 0.5m/s で被せ網なし、右は 0.5m/s で被せ網あり、いずれも丸籠底面で貝が偏在）

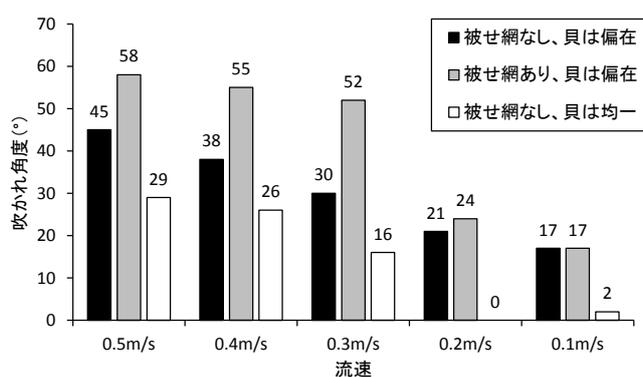


図 19. 流速別、網被せ別、貝均し有無別の丸籠の吹かれ角度

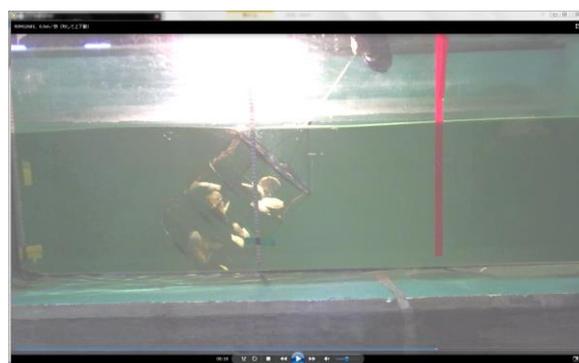


図 20. 流速 0.5m/s、被せ網なし、底面に貝が均一、籠の上下動ありの吹かれ角度

3. 考察

養殖施設における試験終了時のへい死率は 65～93% と非常に高かった。この原因としては、①前年秋の稚貝分散が 12 月 20 日と大幅に遅れた影響で、試験開始時に異常貝率が 27～62% と非常に高い貝を収容したこと、②試験開始時に機械を用いて付着物除去を行い、貝にダメージを与えたこと、③試験開始時から平成 28 年 12 月までは分散作業のため幹網水深が 3～5m (12 月 9 日～13 日は 1.4～1.8m) と非常に浅く、さらに平成 29 年 1 月～2 月中旬も 4～8m と浅かったため波浪の影響を受け易かったことが考えられた。