

室内試験における上下動負荷に対する産卵後のホタテガイの耐性について

小谷健二・吉田達

目的

ホタテガイ養殖施設の上下動の負荷に対する産卵後のホタテガイの耐性について、上下動装置を用いて検証した。

方法

1. 半成貝(平成27年産貝)

平成29年3月21日から4月4日にかけて当研究所の室内において、上下動装置により上下動の負荷を与える上下動区と与えない安静区の2つを設定(図1)して試験を行った。

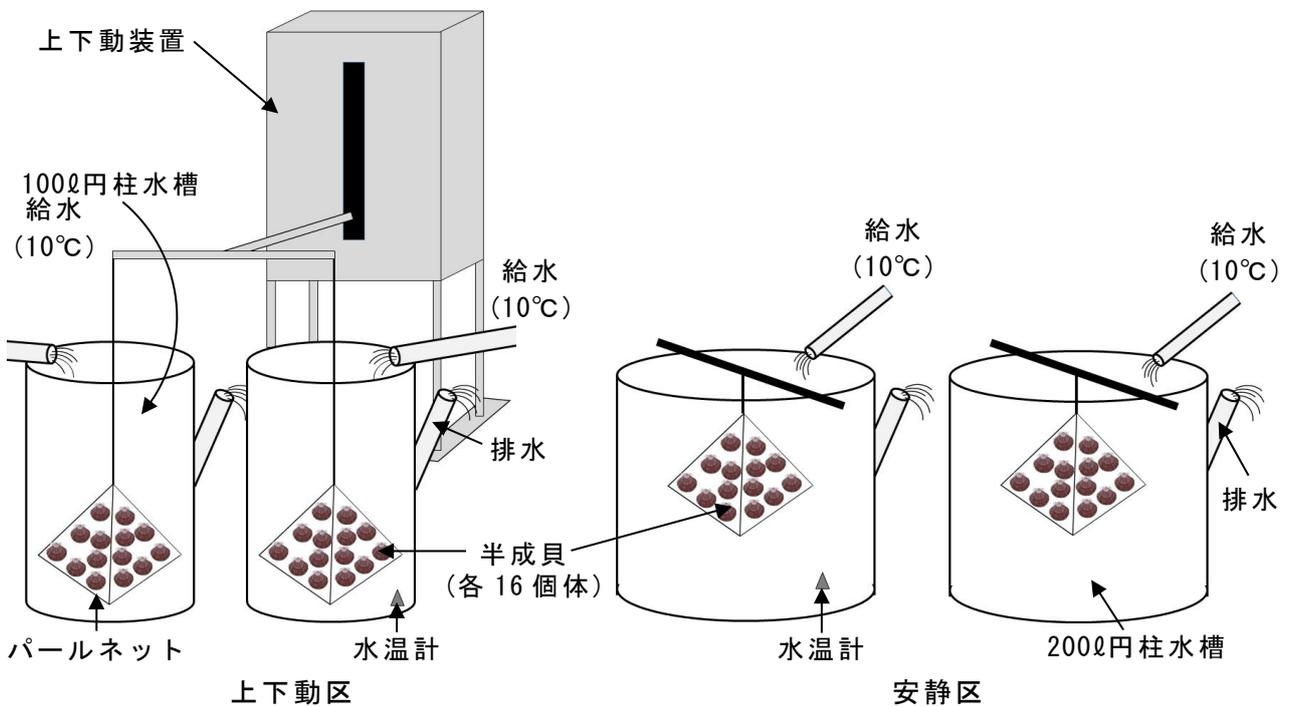


図1. 半成貝を用いた上下動試験のイメージ図

材料として、平成29年3月21日に当研究所の久栗坂実験漁場に設置した延縄式ホタテガイ養殖施設(図2)から、ホタテガイ半成貝を1段当り15枚収容した目合3分のパールネット1連を回収した。半成貝は、回収したパールネットから取り出してノギスを使って選別を行い、殻長7~8cm台の個体を抽出した後、100匁の重りを付けた目合3分のパールネットに、1段当り16枚収容したものを4段作成した他、別途35個体を抽出して測定用に供した。半成貝を収容したパールネットのうち、2段を上下動区として1000Lの円柱水槽から露出しないように上下動装置に吊り下げ、残りの2段を安静区として2000円柱水槽に垂下した(図1)。

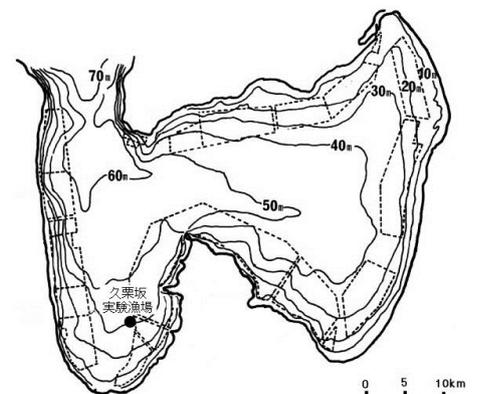


図2. 久栗坂実験漁場の地点図

各試験区の海水は、水温の上昇がホタテガイの産卵刺激となるため、ホタテガイを垂下していた久栗坂

実験漁場15m層における3月21日の日平均水温7.4℃よりも約3℃高い10℃の調温海水を用い、いずれも0.2 m³/hの掛け流しで給水した。また、餌は無給餌とした。

上下動装置は、可動域を50cmとし、①可動域下端から25cm/秒で2秒間上昇、②可動域上端で2秒間停止、③可動域上端から25cm/秒で2秒間降下、④可動域下端で2秒間停止を1サイクルとして設定し、試験期間中このサイクルで繰り返し稼働させた。しかし、試験期間中に上下動装置が頻繁に停止する現象が発生したことから、上下動装置への負荷を軽減するため動作変更とパールネットに取り付けた錘の変更を行い(表1)、森ら¹⁾の結果と比較するため上下動装置の総稼働時間が240時間(10日間)に到達するように試験期間の調整を行った。

表1. 試験期間中の上下動装置の動作設定とパールネットに取り付けた錘の設定

試験期間	上下動装置の動作設定	パールネットの錘
3月21日～ 3月22日	①可動域下端から25cm/秒で2秒間上昇→②可動域上端で2秒間停止→ ③可動域上端から25cm/秒で2秒間降下→④可動域下端で2秒間停止→①へ	鉛100匁
3月23日～ 3月24日	②と④の停止時間をそれぞれ1秒に変更	変更なし
3月25日～ 3月27日	変更なし	鉛50匁に変更
3月28日～ 4月4日	②と④の停止時間をそれぞれ1.5秒に変更	変更なし

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。また、試験開始時に測定用稚貝35個体の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、中腸腺重量、貝柱重量を測定し、4月4日の試験終了時に各試験区の死貝数を計測し、生き残った全個体の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、中腸腺重量、貝柱重量を測定した。生殖巣指数は、(生殖巣重量÷軟体部重量)×100、中腸腺指数は、(中腸腺重量÷軟体部重量)×100、貝柱指数は、(貝柱重量÷軟体部重量)×100からそれぞれ求めた。

2. 2年貝(平成26年産貝)

平成29年4月6日から4月24日にかけて当研究所の室内において、上下動装置により上下動の負荷を与える上下動区と与えない安静区の2つを設定(図3)して試験を行った。

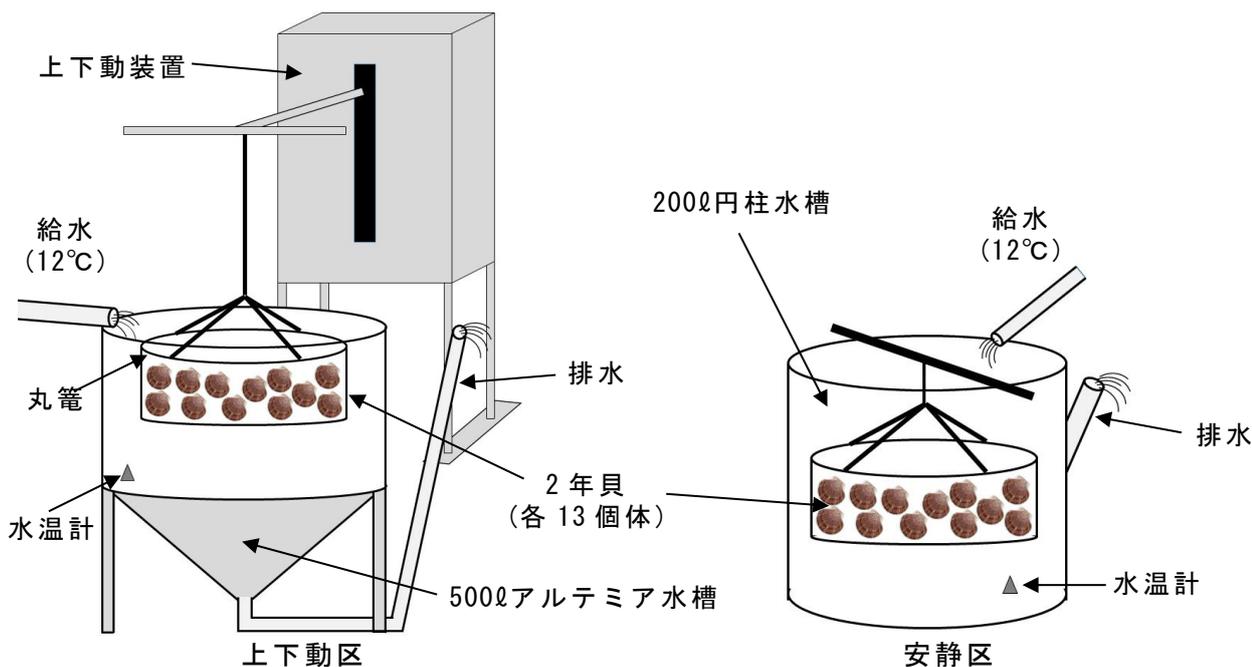


図3. 2年貝を用いた上下動試験のイメージ図

材料として、平成29年4月5日に当研究所の川内実験漁場に設置した延縄式ホタテガイ養殖施設(図4)から、ホタテガイ2年貝を1段当り10枚収容した目合7分の丸籠1連を回収した。2年貝は、回収した丸籠から取り出してノギスを使って選別を行い、殻長12cm以上の個体を抽出した後、目合7分の丸籠1段当り13枚収容したものを2段作成した他、別途20個体を抽出して測定用に供した。2年貝を収容したパールネットのうち、1段を上下動区として5000のアルテミア水槽から露出しないように上下動装置に吊り下げ、残りの1段を安静区として2000円柱水槽に垂下した(図3)。

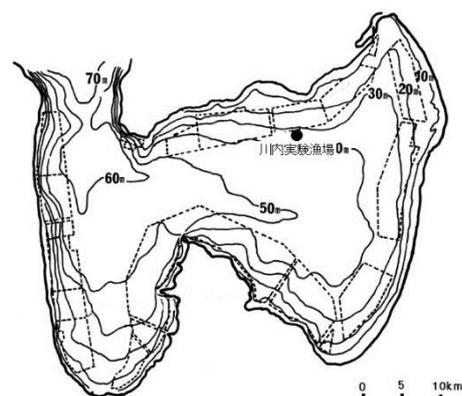


図4. 川内実験漁場の地点図

各試験区の海水は、水温の上昇がホタテガイの産卵刺激となるため、ホタテガイを垂下していた川内実験漁場15m層における4月5日の日平均水温7.9℃よりも約4℃高い12℃の調温海水を用い、いずれも0.3 m³/hの掛け流しで給水した。また、餌は無給餌とした。

上下動装置は、可動域を50cmとし、①可動域下端から25cm/秒で2秒間上昇、②可動域上端で1秒間停止、③可動域上端から25cm/秒で2秒間降下、④可動域下端で1秒間停止を1サイクルとして設定し、試験期間中このサイクルで繰り返し稼働させた。しかし、試験期間中に上下動装置が頻繁に停止する現象が発生したことから、森らの結果と比較することおよび前述の半成貝の試験結果を考慮し、上下動装置の総稼働時間が336時間(14日間)に到達するまで試験を行った

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。また、試験開始時に測定用稚貝20個体の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、中腸腺重量、貝柱重量を測定し、4月24日の試験終了時に各試験区の死貝数を計測し、生き残った全個体の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、中腸腺重量、貝柱重量を測定した。生殖巣指数は、(生殖巣重量÷軟体部重量)×100、中腸腺指数は、(中腸腺重量÷軟体部重量)×100、貝柱指数は、(貝柱重量÷軟体部重量)×100からそれぞれ求めた。

結果と考察

1. 半成貝

(1) 水温

自記水温計による各試験区の水温の推移を図5に示した。水温は、安静区が9.8~11.1℃、上下動区が9.7~10.8℃と、両試験区ともに概ね同じ範囲で推移した。また、平均水温はいずれも10.0℃と、設定水温と一致した。

(2) 殻長等の測定データ

へい死は、上下動区、安静区ともに確認されなかった。本試験ではホタテガイ半成貝が産卵による生理的な不調もしくは過剰なエネルギー消費により衰弱し、へい死しやすいという仮説のもとに試験を行ったが、後述の通り上下動区で産卵したにもかかわらず半成貝のへい死が起らなかったことから、ホタテガイ半成貝は産卵による衰弱の影響はほとんどないことが考えられた。一方、森らは、生殖巣が未成熟である殻長約4cmの半成貝と生殖巣が成熟中である殻長約6cmの半成貝を用いて同様の試験を行い、①軟体部が小さくエネルギー切れを起こしやすく、弱って閉殻する力がなくなること、②水

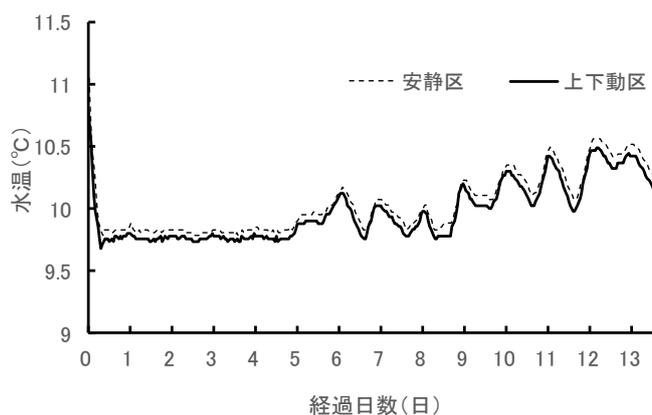


図5. 試験期間中の各試験区の水温の推移

中重量が軽く、パールネットが上下動した際に舞い上がりやすいため、貝同士が噛み合わせやぶつかり合いを起こしやすいことから、未成熟である小型のホタテガイが上下動の負荷の影響を受けやすく、へい死が起こりやすいこと、を明らかにした。このことから、本試験において上下動区のへい死が起こらなかった要因として、未成熟の貝と比べて軟体部が大きいことによる上下動の負荷によるエネルギー切れを起こさず、水中重量が重く、パールネットが上下動した際に貝同士の噛み合わせやぶつかり合いが起こりにくかったことが考えられた。

試験開始時と試験終了時の各試験区の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣指数、中腸腺指数および貝柱指数の測定結果を図6～11に示した。試験開始時と比較すると、殻長は安静区が大きかった。全重量は安静区で増加していた。軟体部重量は明瞭な差が見られなかった。生殖巣指数は上下動区の値が低下し、中腸腺指数は上下動区、安静区ともに値が低下していた。貝柱指数は上下動区の値が増加していた。上下動区の生殖巣指数が低下していたが、この要因として、試験期間中の観察時には確認できなかったが、後述の2年貝の試験において、試験期間中に上下動区の個体が産卵した(図13)ことから、生殖巣重量が減少したためと考えられた。また、従来からの知見から①ホタテガイの中腸腺は、糖質(グリコーゲン)、脂質、タンパク質等のエネルギー物質を蓄える機能^{2)~5)}も担っていること、②ホタテガイ1年貝は、天然下において、摂餌により得られた総消費エネルギーを100とした場合、成長と呼吸のためにそれぞれ約40%のエネルギーを必要とする⁶⁾こと、③ホタテガイ稚貝は、飢餓状態となるとまず中腸腺重量が減少し、さらに飢餓状態が続くと貝柱重量が減少する⁷⁾ことが明らかとなっている。これらのことから、両試験区の中腸腺指数が低下していた要因として、試験期間中が無給餌であったことによりホタテガイが呼吸に必要なエネルギーを確保できず、中腸腺に蓄えていたエネルギーを消費し、中腸腺重量が減少したためと考えられた。上下動区の貝柱指数の増加については、産卵による生殖巣重量の減少とエネルギー消費による中腸腺重量の減少から、軟体部重量における貝柱の重量比が大きくなったためと考えられた。

上下動区と安静区で各測定項目を比較したところ、殻長は上下動区が安静区よりも小さかった。全重量と軟体部重量は上下動区が安静区よりも軽く、生殖巣指数は上下動区が安静区よりも低い値を示し、貝柱指数は上下動区が安静区よりも高い値を示した。上下動区の生殖巣指数が安静区よりも低い値を示し、貝柱指数が安静区よりも高い値を示した要因として、産卵による生殖巣重量の減少から、生殖巣の軟体部に占める重量比が小さく、貝柱の軟体部に占める重量比が大きくなったためと考えられた。

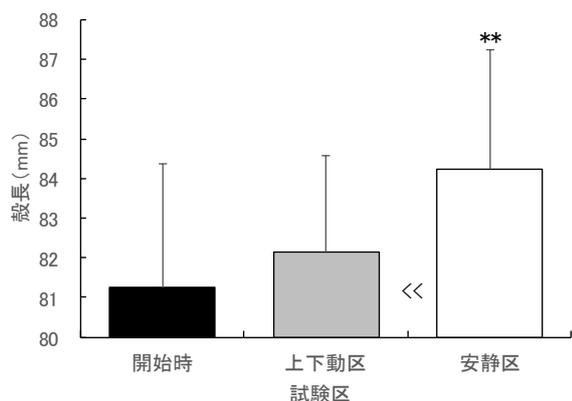


図6. 試験開始時と終了時の殻長(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、<<は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

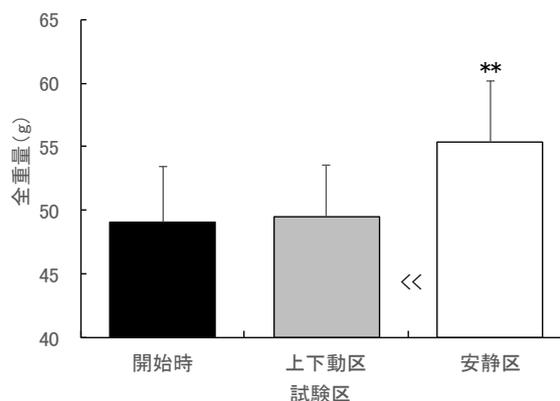


図7. 試験開始時と終了時の全重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、<<は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

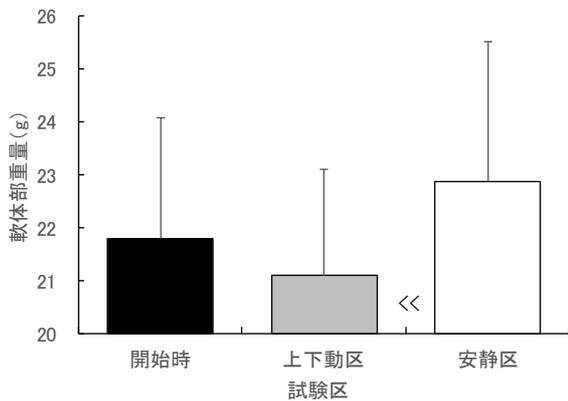


図 8. 試験開始時と終了時の軟体部重量 (バーは標準偏差、<<は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

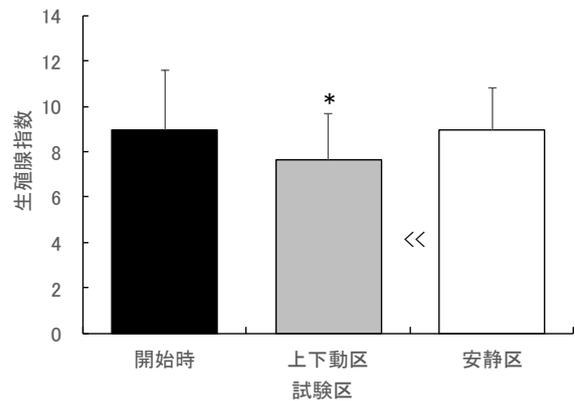


図 9. 試験開始時と終了時の生殖巣指数 (バーは標準偏差、*は開始時と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、<<は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

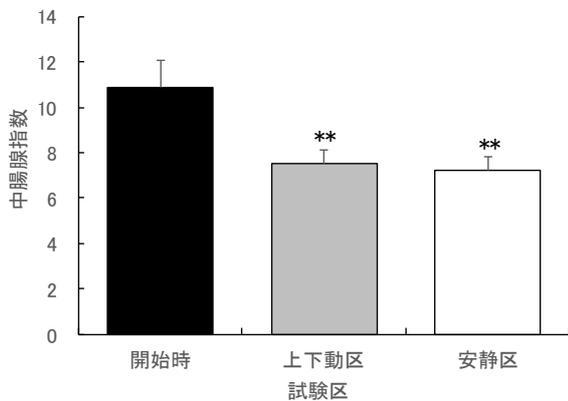


図 10. 試験開始時と終了時の中腸腺指数 (バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

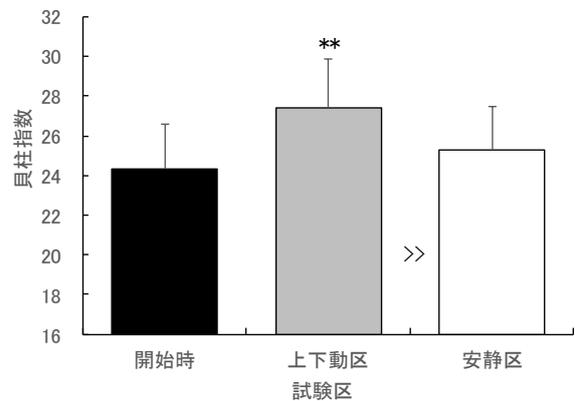


図 11. 試験開始時と終了時の貝柱指数 (バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、>>は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

2. 2年貝

(1) 水温

自記水温計による各試験区の水温の推移を図12に示した。水温は、安静区が11.3~12.0℃、上下動区が11.3~12.1℃と、両試験区ともに概ね同じ範囲で推移した。また、平均水温は安静区が11.8℃、上下動区が11.9と、設定水温と概ね一致した。

(2) 殻長等の測定データ

へい死は、上下動区、安静区ともに確認されなかった。本試験ではホタテガイ2年貝が産卵による生理的な不調もしくは過剰なエネルギー消費により衰弱し、へい死しやすいという仮説のもとに試験を行ったが、後述の通り上下動区で産卵したにもかかわらず2年貝のへい死が起らなかったことから、ホタテガイ2年貝は産卵による衰弱の影響はほとんどないことが考えられた。また、上下動区のへい死が起らなかった要因として、前述の半成貝の試験と同様に軟体部が大きく、上下動の負荷によりエネルギー切れを起こさず、丸籠が上下動した際に、水中重量が重いことから、貝同士の噛み合わせやぶつかり合いが起りにくかったことが考えられた。

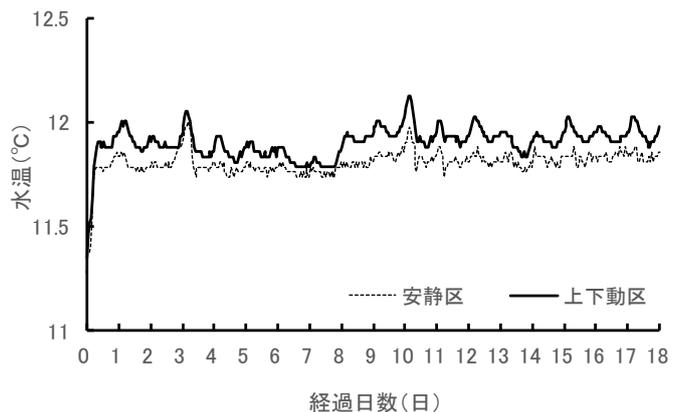


図 12. 試験期間中の各試験区の水温の推移

試験開始時と試験終了時の各試験区の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣指数、中腸腺指数および貝柱指数の測定結果を図 14～19 に示した。試験開始時と比較すると、殻長は明瞭な差が見られなかった。全重量は上下動区で減少し、軟体部重量は上下動区、安静区ともに減少していた。生殖巣指数は上下動区で値が低下し、中腸腺指数は上下動区、安静区ともに値が低下していた。

貝柱指数は上下動区、安静区ともに値が増加していた。上下動区の生殖巣指数が低下していた要因として、試験期間中に上下動区の個体が産卵した(図 13)ことにより生殖巣重量が軽くなったためと考えられた。一方、安静区の個体は

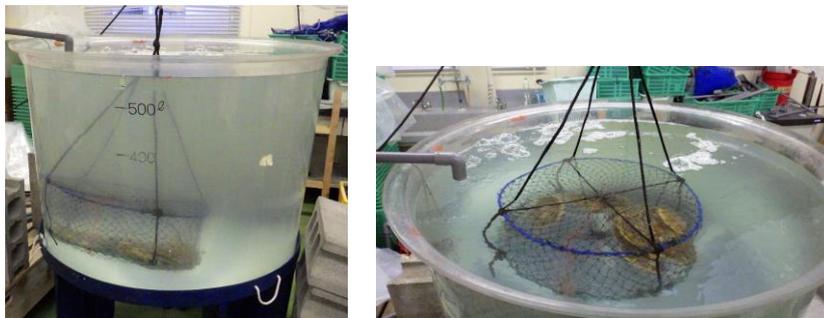


図 13. 試験期間中に発生した上下動区の産卵(放卵、放精により海水が白濁している)

試験期間中に産卵が確認されなかった。これらのことから、従来ホタテガイの人工受精の際の産卵誘発刺激として 0.5～5℃の水温昇温や紫外線照射によるオゾンの刺激が報告されている^{8)、9)}が、本試験の上下動の振動が産卵誘発の刺激となったこと、天然の環境下において養殖ホタテガイの産卵は水温の昇温に加え、養殖施設に垂下している養殖籠が波浪や潮流により上下に振動することで引き起こされている可能性が考えられた。また、両試験区の中腸腺指数が減少していた要因として、前述の半成貝の試験と同様に試験期間中が無給餌であったことによりホタテガイが呼吸に必要なエネルギーを摂餌によって確保できず、中腸腺に蓄えていたエネルギーを消費し、中腸腺重量が減少したためと考えられた。両試験区の貝柱指数の増加については、上下動区では産卵による生殖巣重量の減少とエネルギー消費による中腸腺重量の減少から軟体部における貝柱の重量比が大きくなったため、安静区ではエネルギー消費による中腸腺重量の減少から軟体部における貝柱の重量比が大きくなったためと考えられた。

上下動区と安静区で各測定項目を比較したところ、上下動区の生殖巣重量が安静区よりも軽かった。この要因として、上下動区の個体が産卵したことにより重量が減少したためと考えられた。

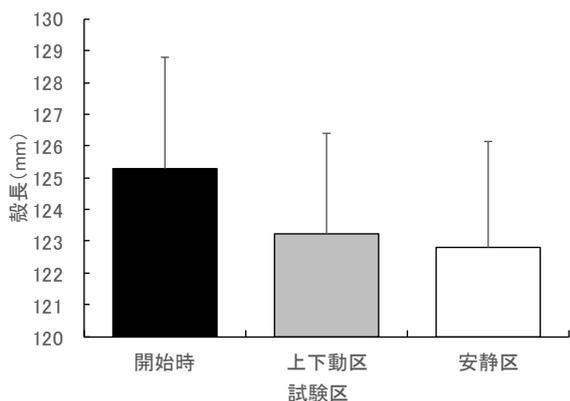


図 14. 試験開始時と終了時の殻長(バーは標準偏差)

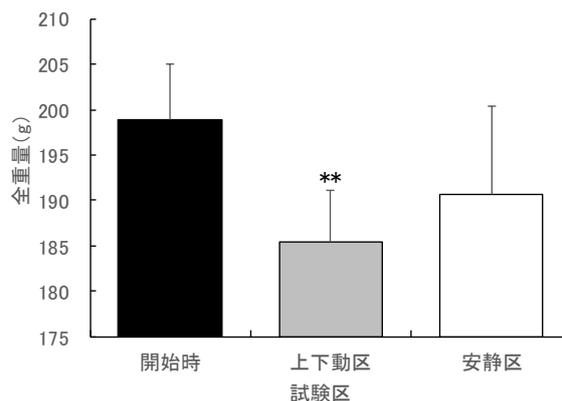


図 15. 試験開始時と終了時の全重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて p<0.01 で有意差あり)

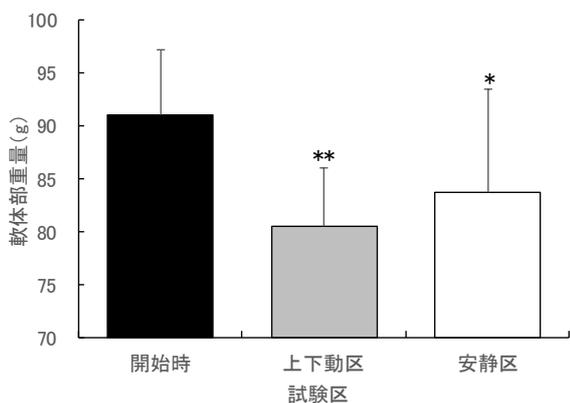


図 16. 試験開始時と終了時の軟体部重量(バーは標準偏差、*は開始時と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

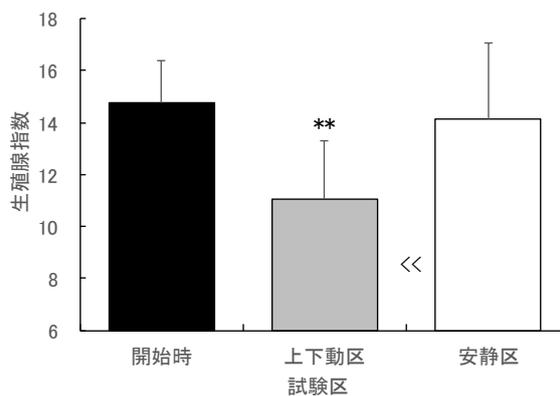


図 17. 試験開始時と終了時の生殖巣重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、<<は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

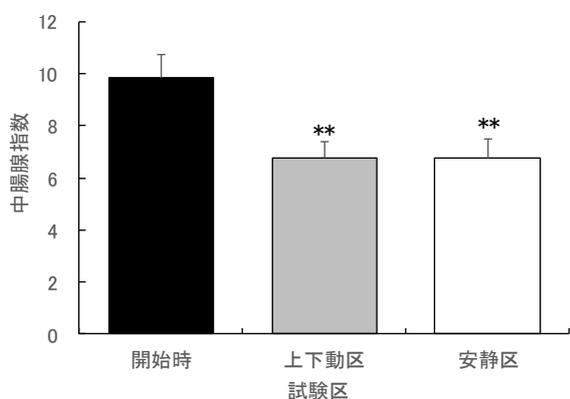


図 18. 試験開始時と終了時の中腸腺重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

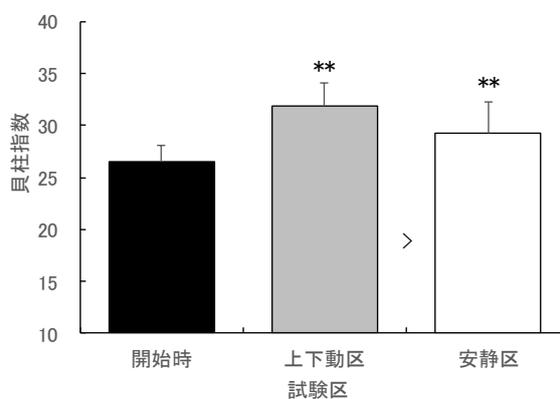


図 19. 試験開始時と終了時の貝柱重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、>は上下動区を安静区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり)

文 献

- 1) 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年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 373-426.
- 2) 川村満・山内寿一・佐々木政則・福田裕 (1972) 陸奥湾産帆立貝の季節的一般成分の変化について(完). 昭和45・46年度青森県水産物加工研究所研究報告, 141-183.
- 3) 島田俊雄 (1976) I ホタテ貝利用加工研究(1. 三沢沖産天然ホタテ貝の原料調査および加工歩留並びに品質について). 昭和50年度青森県水産物加工研究所研究報告, 1-11.
- 4) 柘木田善治・角勇悦・村井裕一 (1996) 平成6年度生鮮ホタテガイ衛生処理技術開発研究. 平成6年度青森県水産物加工研究所研究報告, 49-65.
- 5) 小野寺陽子・宮木博・石川哲・中谷肇 (1997) 平成7年度生鮮ホタテガイ衛生処理技術開発研究(平成7年度水産業関係地域重要新技術開発事業). 平成7年度青森県水産物加工研究所研究報告, 44-56.
- 6) Fujii and Hashizume (1974) Energy budget for a Japanese common scallop, *Patinopecten yessoensis* (Jay), in Mutsu Bay. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **25**(1), 7-19.
- 7) 工藤敏博・小坂善信・木村博聲・吉田雅範・川村要 (2001) 平成11年度ホタテガイ新基準種苗養殖技術開発研究(ホタテガイの健康評価と養殖技術の改善に関する研究). 平成11年度青森県水産増殖センター事業報告, **30**, 175-214.

- 8) 山本護太郎 (1964) 陸奥湾におけるホタテガイ養殖. 水産増養殖叢書6, 日本水産資源保護協会, 77pp.
- 9) 田中俊輔・佐藤敦・川村要 (1976) ホタテガイの種苗生産(産卵誘発について). 昭和 49 年度青森県水産増殖センター事業概要, 28-31.