

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Ⅱ

小谷健二・小泉慎太郎・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. 上下動負荷試験

平成30年3月22日から4月9日にかけて当研究所の室内において、ホタテガイに上下動装置による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。

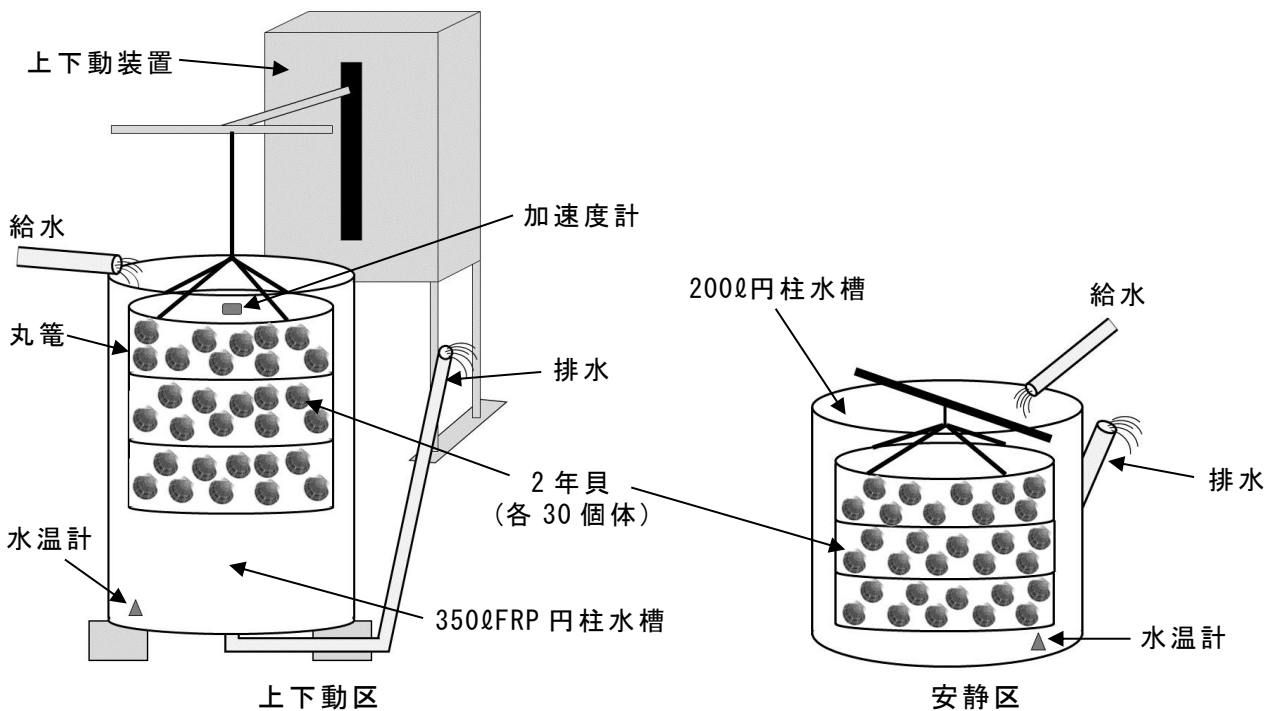


図1. 上下動負荷試験のイメージ図

材料として、平成30年3月20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2)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3連を回収した。2年貝は、回収した丸籠から取り出し、目視による異常貝の有無ならびにノギスを使って選別を行い、殻長11cm台の正常個体を94個体抽出した後、屋内のろ過海水を掛け流しにした250LFRP水槽に収容した。3月22日に目合7分、3段の丸籠1連に1段当り2年貝を10個体収容したものを2連作成した他、別途2年貝を30個体抽出して測定用に供した。2年貝を収容した丸籠のうち、1連を上下動区として丸籠1段目の上部内面に自記加速度計(Onset Computer社、HOBO Pendant G Logger)を設置し、350LFRP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1連を安静区として200L円柱水槽に垂下した(図1)。

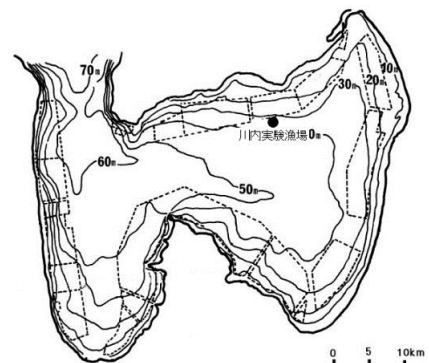


図2. 川内実験漁場の地点図

各試験区の海水は、いずれも調温海水を使用し、0.6 m³/hの掛け流しで給水した。各試験区の水温は、水温の上昇がホタテガイの産卵刺激となるため、試験開始時にホタテガイを垂下していた川内実験漁場15m層における3月20日の日平均水温4℃よりも4℃高い8℃に設定し、それ以降は試験期間中における産卵の継続を図るため、表1で示したスケジュールで調温海水の設定水温を0.5℃ずつ昇温させた。また、餌は無給餌とした。

表1. 試験期間中における各試験区の調温海水の昇温スケジュール(上下動区、安静区共通)

実施月日	3月23日	3月27日	3月31日	4月2日	4月5日
昇温幅(℃)	+0.5	+0.5	+0.5	+0.5	+0.5

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。

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、さらに上下動区では自記加速度計で丸籠の鉛直方向の30秒毎の加速度を記録した。また、各試験区の排水部に40μmメッシュのネットを設置し、1日1回ネットの堆積物を採取して万能投影機で卵の有無を観察し、産卵の有無を確認するとともに、各試験区の死貝の有無を観察した。さらに、試験開始時に測定用稚貝30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9日の試験終了時に各試験区で死貝数を計測した。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. 上下動負荷の影響に関する追跡試験

平成30年4月9日から5月11日にかけて当研究所の棧橋において、上記の上下動負荷試験で使用した上下動区と安静区の両試験区の追跡試験を行った。

材料として、上下動負荷試験に用いた上下動区と安静区の2年貝を引き続き用いた。上下動負荷試験終了後、両試験区の丸籠を棧橋へ移送し、波浪による振動の影響を極力避けるため、籠の下部に2kgのコンクリート錘を取り付けて水面から籠が露出しないように棧橋へ垂下した。

試験終了後、各試験区の丸籠を回収し、試験区ごとに生死貝数を計測し、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。

結果と考察

1. 上下動負荷試験

(1) 水温

自記水温計による各試験区の水温の推移を図3に示した。水温は、安静区が8.7~11.2℃、上下動区が8.6~11.2℃と、両試験区ともに概ね同じ範囲で推移した。また、両試験区共に表1で示した月日に約0.5℃の昇温が認められた。

試験開始時の水温は、安静区が8.7℃、上下動区が8.6℃と、両試験区ともに設定水温8℃よりも0.6~0.

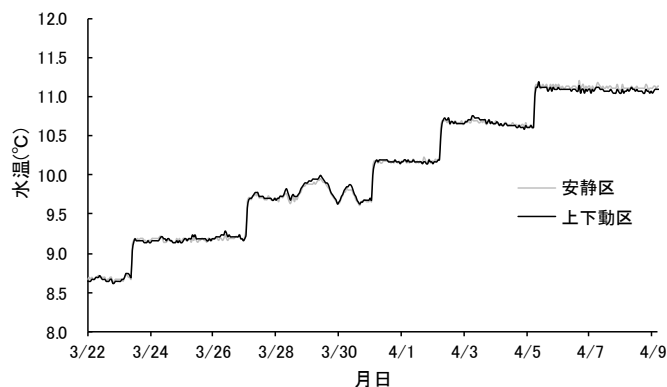


図3. 上下動負荷試験期間中の各試験区の水温の推移

7℃高い値を示した。この要因として、当研究所に設置された海水温度調整装置(アクアトロン)の昇温能力が高く、試験開始時の設定水温である8℃に制御できなかったためと考えられた。

(2) 上下動区の加速度

自記加速度計による上下動区の丸籠の鉛直方向の加速度の推移を図4に示した。加速度の最大値は、上昇時で6.4m/s²、降下時で6.1m/s²を示した。また、森ら¹⁾は有義波高が約2mの際に波浪の影響を強く受けた養殖施設に設置した加速度が2.0~3.9 m/s²程度の値を示したことを報告していることから、本試験の上下動区のホタテガイに与えた上下動の負荷は妥当であったと考えられた。

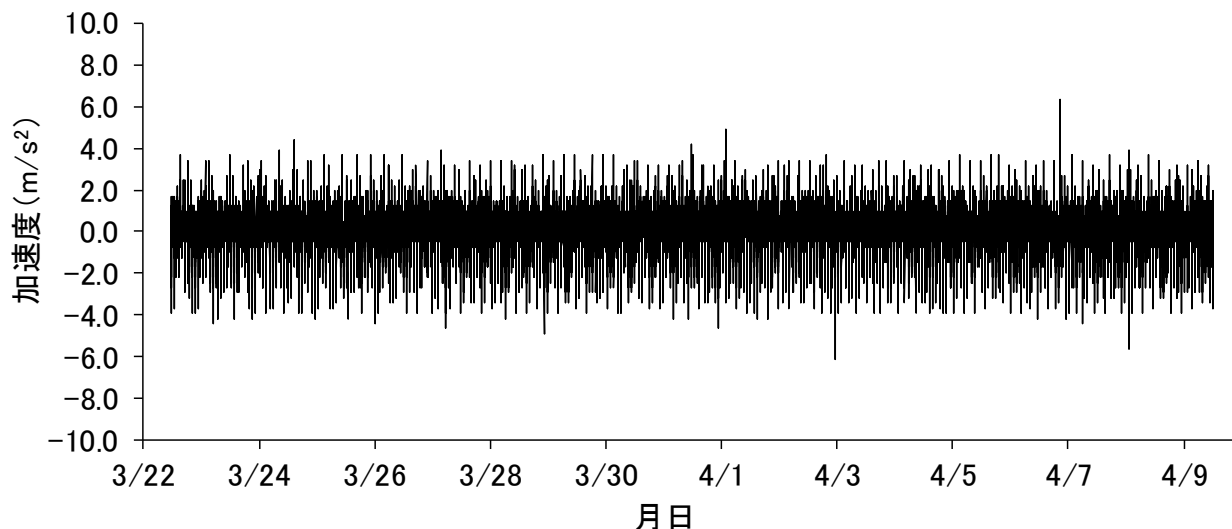


図4. 上下動負荷試験期間中における上下動区の丸籠の鉛直方向の加速度

(3) 試験期間中の産卵の有無

試験期間中の調温海水の昇温状況と産卵状況を表2に、産卵時の様子を図5に示した。産卵は両試験区で確認されたが、上下動区が安静区よりも産卵の回数が多く、産卵が確認された際の産卵された卵数も多かった。上下動区では、昇温を行った3月23日と4月5日に多量の産卵が認められたが、昇温を行わなかった3月22日と29日にも多量の産卵が確認された。この要因として、試験開始時の3月22日は、濾過海水で蓄養していた2年貝が濾過海水よりも約4℃高い調温海水に晒されたこと、3月29日は昇温を行わなかったものの、約0.3℃の水温上昇が認められた(図5)ことから、これらが産卵誘発の刺激になったものと考えられた。一方で、安静区では4月5日まで産卵が確認されていないことから、本研究においても小谷ら²⁾が示唆した天然下では水温の昇温だけではなく、波浪による振動も産卵誘発の刺激となっている可能性が示唆された。

表2. 上下動負荷試験期間中の調温海水の昇温状況(✓: 0.5℃の昇温実施)と各試験区における産卵状況(×: 産卵なし、△: 少量の産卵あり、○: 多量の産卵あり、-: 未確認)

月日	3/22	3/23	3/24	3/25	3/26	3/27	3/28	3/29	3/30	3/31	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9
昇温の状況		✓				✓				✓		✓			✓				
産卵の状況																			
安静区	×	×	-	-	×	×	×	×	×	-	-	×	×	×	△	×	-	-	△
上下動区	○	○	-	-	×	×	×	○	×	-	-	×	×	×	○	×	-	-	△

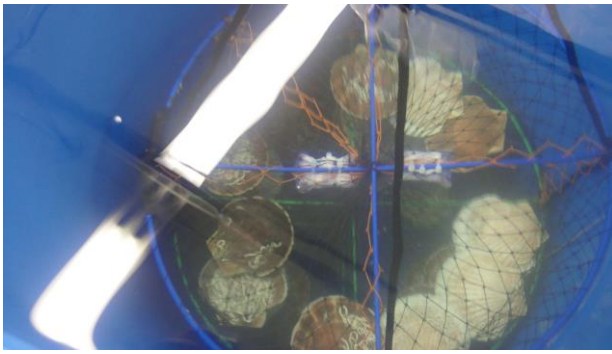


図 5. 上下動負荷試験期間中(平成 30 年 3 月 22 日)に放卵、放精で海水が白濁した上下動区(左)および同時期の安静区(右)

2. 上下動負荷の影響に関する追跡試験

(1) 水温

試験区を設置した栈橋の、自記水温計による水温の推移を図6に示した。水温は6.8~13.5℃で推移し、断続的に昇温と降温を繰り返しながら緩やかに上昇していた。

(2) 上下動区の加速度

上下動区に設置した自記加速度計の丸籠の鉛直方向の加速度の推移を図7に示した。

4月9日~4月13日の加速度は記録されていたが、その後自記加速度計の設定ミスにより4月14日~5月11日の加速度は欠測となっていた。

加速度の最大値は、上昇時で1.0m/s²、降下時で0.5m/s²を示しており、測定期間中は両試験区の丸籠が波浪の影響をほぼ受けず、安定していたと考えられた。なお、4月13日に加速度が上昇時で3.4m/s²の値を1回記録していたが、これは時化による波で丸籠が持ち上げられた値か、もしくはエラー値を記録した可能性が示唆された。

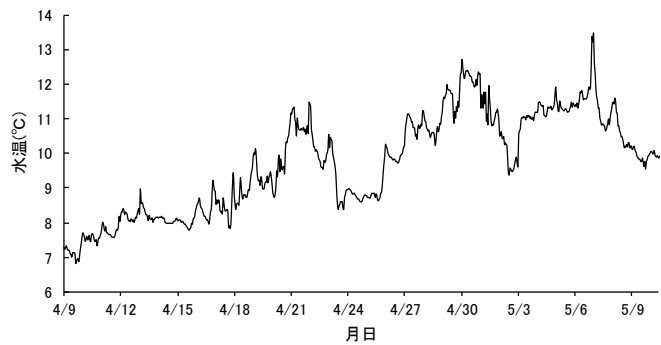


図6. 追跡試験期間中の各試験区の水温の推移

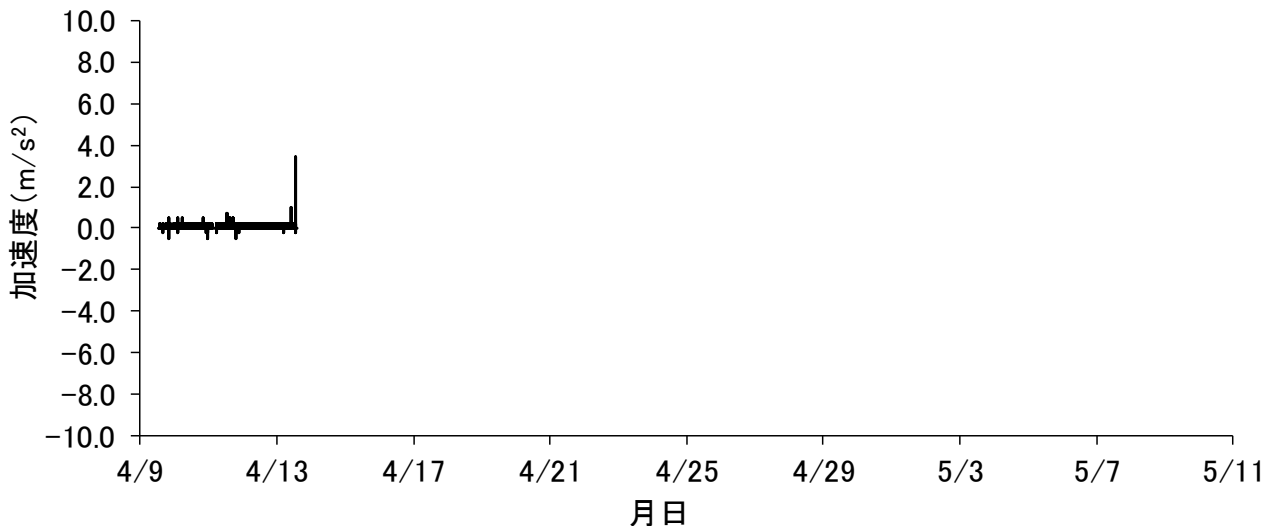


図7. 追跡試験期間中における上下動区の丸籠の鉛直方向の加速度

(3) 殻長等の測定データ

追跡試験終了時の各試験区のへい死率ならびに上下動負荷試験開始時および追跡試験終了時の各試験区

の異常貝率を表3に示した。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、前述の通り上下動区で複数回産卵したにもかかわらず2年貝のへい死が起こ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。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、未成熟の小型個体は、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、成熟中の個体よりもへい死し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く、水中重量が重いことから、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。

異常貝については、上下動区で内面着色が確認され、異常貝率が3.3%であったが、安静区では異常貝が出現しなかった。上下動区のみで異常貝が確認された要因として、上下動負荷試験開始時に目視により異常貝の有無を確認し、正常貝のみを試験に用いたこと、追跡試験期間中は両試験区の丸籠を隣接して栈橋に垂下しており、試験期間中に受けた海況の影響はほぼ同じであることから、上下動負荷試験期間中に上下動による貝同士のぶつかり合い、もしくはかみ合わせにより外套膜が損傷したためと考えられた。

上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の各試験区の殻長、全重量、軟体部重量、生殖巣重量、中腸腺重量および貝柱重量の測定結果を図8～13に示した。上下動負荷試験開始時と比較すると、殻長は安静区、上下動区ともに小さかった。全重量は明瞭な差が見られなかった。軟体部重量、生殖巣重量、中腸腺重量はいずれも安静区、上下動区ともに値が低下していた。貝柱重量はいずれも安静区、上下動区ともに値が増加していた。両試験区の殻長が小さかった要因として、上下動区では上下動負荷試験期間中に上下動の負荷により貝同士のぶつかり合いが、また、両試験区で上下動負荷試験を行った屋内から追跡試験を実施した屋外の栈橋へ丸籠を運搬、垂下した際に貝同士のぶつかり合いが起こり、貝殻の縁辺部が破損したためと考えられた。両試験区の軟体部重量の低下については、生殖巣重量と中腸腺重量の減少によるものと考えられた。両試験区の生殖巣重量が低下していたが、この要因として上下動負荷試験期間中に両試験区の個体がいずれも産卵した(表2、図5)こと、さらに追跡試験期間中に栈橋周辺の海水温の昇温刺激により産卵が促進したことが考えられた。また、中腸腺重量については、従来の知見から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^{3)~6)}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⁷⁾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⁸⁾ことが明らかとなっている。これらのことから、両試験区で中腸腺重量が低下した要因として、上下動負荷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こと、その後の追跡試験期間中に海水中の植物プランクトンを摂餌することにより中腸腺にエネルギーを十分蓄えることができなかつたためと考えられた。両試験区の貝柱重量が増加していた要因として、上下動試験期間中に中腸腺に蓄えていたエネルギーを主に消費して呼吸に必要なエネルギーを確保し、貝柱に蓄えていたエネルギーをほとんど消費しなかつたこと、その後の追跡試験期間中に摂餌により得られたエネルギーを中腸

表3. 追跡試験終了時の各試験区のへい死率ならびに上下動負荷試験開始時および追跡試験終了時の各試験区の異常貝率

調査月日	試験区	へい死率 (%)	異常貝率 (%)
H30.3.22	開始時	—	0.0
H30.5.11	安静区	0.0	0.0
	上下動区	0.0	3.3

腺よりも先に貝柱へ優先的に蓄えた可能性が考えられた。

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。この要因として、上下動区の個体は上下動負荷試験期間中に上下動の負荷により安静区よりも貝同士がぶつかり合う頻度が高かったためと考えられた。

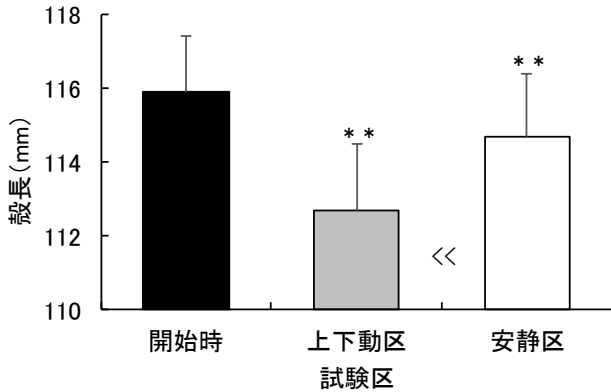


図 8. 上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の殻長(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、<<は上下動区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

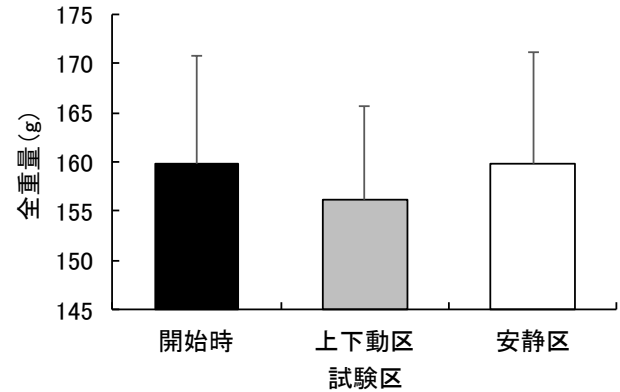


図 9. 上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の全重量

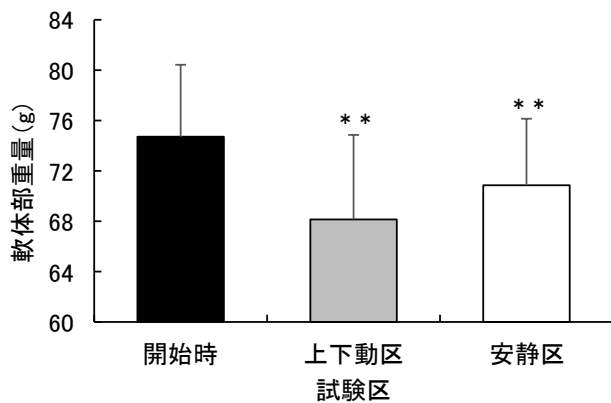


図 10. 上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の軟体部重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

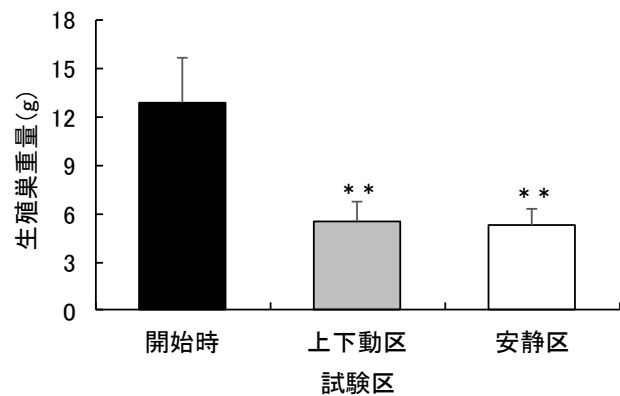


図 11. 上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の生殖巣重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

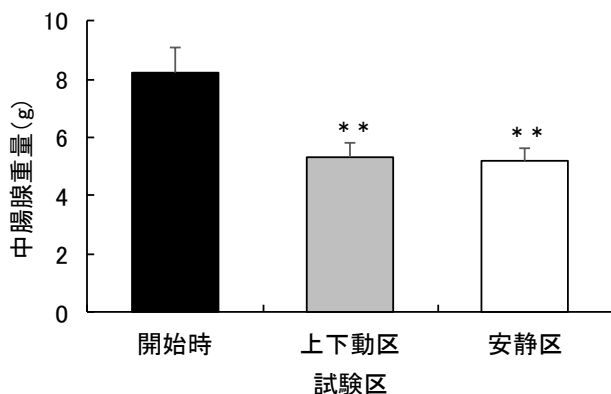


図 12. 上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の中腸腺重量(バーは標準偏差、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

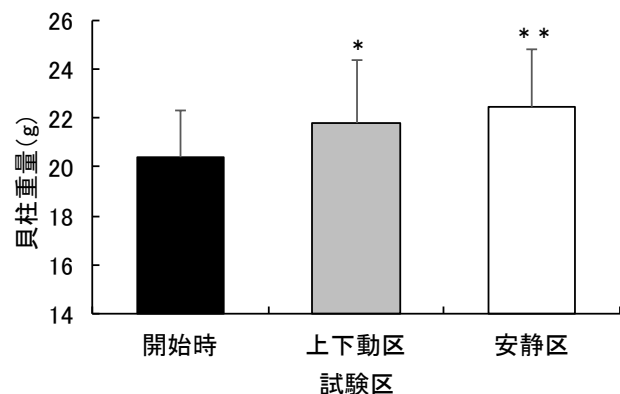


図 13. 上下動負荷試験開始時と追跡試験終了時の貝柱重量(バーは標準偏差、*は開始時と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

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) 小谷健二・吉田達 (2018) 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. 平成28年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 408-415.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.