

猛暑時のホタテガイへい死率を低減する養殖生産技術の開発 (ホタテガイ養殖生産技術の改善)

小谷 健二・吉田 達・伊藤 良博・東野 敏及*・川村 要

目 的

平成22年夏季から秋季に発生した異常高水温により、陸奥湾内の養殖ホタテガイが大量へい死した¹⁾ことから、養殖ホタテガイ稚貝について、へい死に関連があると考えられる水温、流れおよび酸欠の複合的負荷に対する耐性を明らかにする。

材料と方法

1. 室内試験

平成24年8月23日から10月1日にかけて実施した。試験区は、水温の異なる6つの水温区(20℃区、23℃区、24℃区、25℃区、26℃区および27℃区)を設定し、各水温区内に流れの負荷を与える流速負荷区と与えない安静区の2つを作り、さらに酸欠の負荷の有無と貝の大きさに4つに区分した(図1)。

材料として、平成24年8月20日に久栗坂実験漁場からホタテガイ稚貝を回収し、目合1.8分と3分の篩を使用して3分の篩に残った大サイズ(平均殻長14.4mm)と3分の篩から脱落して1.8分の篩に残った小サイズ(平均殻長11.3mm)に選別した貝を用いた。

また、夏季の稚貝採取時と同様な酸欠の負荷を与えた稚貝を作成するために、選別した貝の一部をビーカーに過密収容し、最小限の海水を入れてから海水面に空気が触れないようにラップで密封して1時間放置した(図2)。各水温区の流速負荷区には400ℓの円柱水槽内に仕切りで2分割されたパールネット(目合1.5分)を2個設置し、その内の1個に大サイズの酸欠の負荷を与えた(酸欠有)個体と与えていない(酸欠無)個体を、残りの1個に小サイズの酸欠有の個体と酸欠無の個体を各50個体収容し、安静区には円柱水槽の排水部に設置した250ℓFRP水槽内に仕切りで4分割されたザルを設置し、各サイズの酸欠有の個体と酸欠無の個体を各50個体収容した(図1)。

流れの負荷については試験期間中、円柱水槽内に水中ポンプ(寺田ポンプ社製CX-400)を設置してコンセントタイマーにより2時間の稼働と2時間の停止を交互に繰り返し、流速0.6~0.8ノット(0.3~0.4m/s)の負荷を与えた。

各水温区の水温は、20℃の冷海水と27℃の温海水をそれぞれの水温±0.5℃未満に収まるように調温タンク

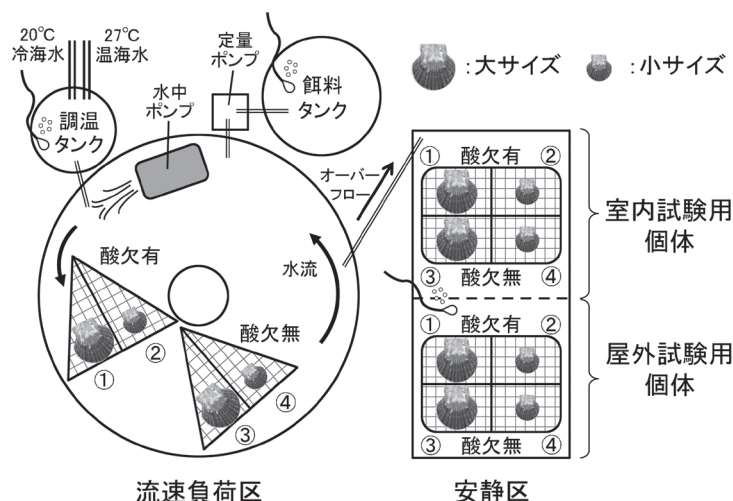


図1 室内試験における1つの水温区のイメージ図



図2 酸欠負荷の処理

* 青森県下北地域県民局地域農林水産部むつ水産事務所

クで混合し、1m³/時の掛け流しで各水槽へ給水した。餌は、珪藻の1種*Chaetoceros gracilis*の市販濃縮液を用い、水槽内のクロロフィルa濃度が陸奥湾の夏季と同程度の0.3~0.4μg/lとなるように定量ポンプ(EYELA社、RP1000)を用いて125ml/分の量で連続給餌した。

試験期間中は、各試験区について毎日1回へい死貝を計測し、ポータブルマルチメータ(HACH社、HQ40d)で溶存酸素量と水温を定期的に測定するとともに、自記水温計(Onset Computer社、ストアウェイテッドビット)で1時間毎の水温を記録した。また、試験開始時に大サイズ50個体と小サイズ50個体、試験終了時に各試験区の全ての生存貝について、殻長、全重量、軟体部重量を測定した他、大サイズについては試験開始時と終了時に中腸腺重量も測定した。

2. 屋外試験

水温と酸欠の負荷を与えるための予備試験(図1)を平成24年8月23日から10月1日にかけて、本試験(図3)を平成24年10月10日から平成25年5月24日にかけて実施した。

予備試験では、試験区は室内試験と同様に6つの水温区を設定し、各水温区内に酸欠負荷の有無と貝の大きさを4つに区分した。材料は室内試験と同じ稚貝を用いた。室内試験の安静区の250lFRP水槽内に仕切りで4分割されたザルを設置し、1試験区当り100個体を収容した。各水槽への給水方法、給餌方法については室内試験と同じであるが、定期的な測定、計測は行わなかった。

本試験では、予備試験終了時の各試験区の生存貝を用いたが、27℃区については稚貝が全滅し、24℃区、25℃区、26℃区については各試験区の稚貝がいずれも数個体しか生存しておらず、他の試験区との比較が困難なため、これらの試験区の稚貝は試験から除外した。予備試験終了時(平成24年10月1日)に20℃区と23℃区の生存貝を回収し、20℃区については、1連当り4段のパールネット(目合1.5分)を2連用意し、1連の1段目と3段目に酸欠有・大サイズの個体を、2段目と4段目に酸欠有・小サイズの個体を各20個体収容し、残りの1連の1段目と3段目に酸欠無・大サイズの個体を、2段目と4段目に酸欠無・小サイズの個体を各20個体収容した。23℃区については、1連当り3段のパールネット(目合1.5分)と1連当り4段のパールネット(目合1.5分)を各1連用意し、前者の1段目と3段目に酸欠有・大サイズの個体を、2段目に酸欠有・小サイズの個体を各20個体収容し、後者の1段目と3段目に酸欠無・大サイズの個体を、2段目と4段目に酸欠無・小サイズの個体を22個体収容した。稚貝を収容後、パールネットを当研究所前の棧橋へ垂下し、10月10日に久栗坂実験漁場の養殖施設(幹綱水深15m)に垂下して翌年5月24日まで稚貝を飼育した。試験終了時に久栗坂実験漁場から稚貝を回収し、試験区毎に稚貝の生存貝数と死貝数を計測してへい死率を算出し、生存貝の殻長、全重量、軟体部重量を測定した。

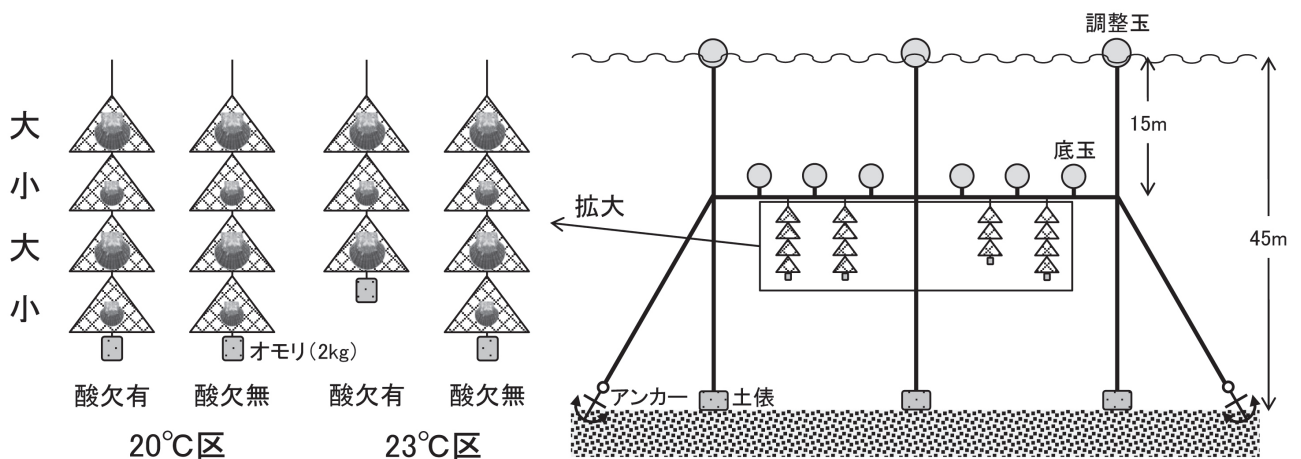


図3 久栗坂実験漁場における屋外試験のイメージ図

結果と考察

1. 室内試験

(1) 水温

自記水温計による各水温区の円柱水槽における日平均水温の推移を図4に示した。なお、27℃区については、8月29日で全ての試験区の稚貝が全滅したため、以降の測定は行わなかった。

水温は、いずれの水温区も設定温度の範囲内(±0.5℃)で推移していたが、8月30日から9月1日にかけて水温が低下した。これは、8月30日時点でのポータブルマルチメーターで測定した25℃区、26℃区、27℃区の水溫の値が高めに推移していたため、各水温区の給水量と調温海水の設定温度を微調整したものの、調整が適切にできていなかったためである。

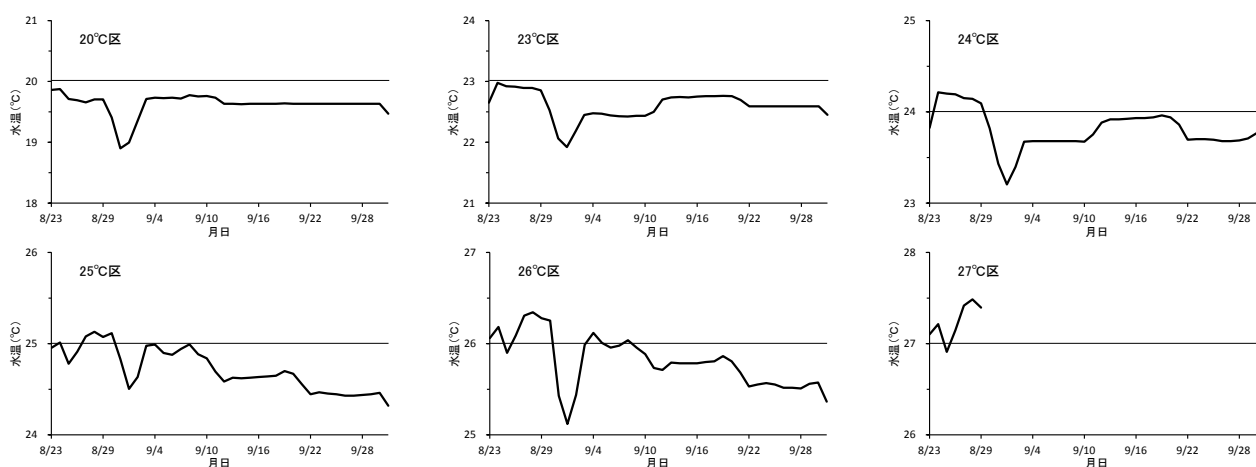


図4 各水温区の円柱水槽における日平均水温の推移

(2) へい死率

試験終了時における各試験区のへい死率を図5に示した。なお、図中の大は大きいサイズ、小は小さいサイズ、酸有は酸欠有、酸無は酸欠無をそれぞれ示している。以下、全ての図で同じである。

へい死は、20℃区で2.0%～14.3%、23℃区では4.1%～22.0%、24℃区では46.0%～80.0%、25℃区では94.0%～98.0%、26℃区では95.6%～100%と、20℃区と23℃区ではへい死率が低かったのに対し、24℃区、25℃区、26℃区では高い値を示し、さらに27℃区では全試験区の稚貝が試験期間中に全滅した。

各水温区単位で流速負荷区と安静区の平均値を求めて比較したが、明瞭な差は見られなかった(図6)。この要因として、稚貝は足糸を伸ばしてパールネットに付着できること、流れにより稚貝が傾いたパールネットの底面に押さえ付けられ、安定した状態になっていたこと(図7)が考えられた。

酸欠有区と酸欠無区の平均値を求めて比較したが、明瞭な差は見られなかった(図8)。この要因として、酸欠負荷の処理を7月～8月の稚貝採取時における外気温よりもかなり低い20℃に空調した室内でおこなったため、稚貝の呼吸による酸素消費量が抑えられ、酸欠による負荷が小さかったことが考えられた。

大きいサイズ区と小さいサイズ区の平均値を求めて比較したところ明瞭な差は見られなかった(図9)。しかし、各水温区単位で試験経過に伴う大きいサイズ区と小さいサイズ区の日別の累積へい死率を比較すると、20℃区、26℃区、27℃区では試験終了まで、23℃区では22日目まで、24℃区では27日目まで、25℃区では39日目まで大きいサイズ区の累積へい死率が小さいサイズ区よりも低めに推移していた(図10～図12)。このことから、稚貝は大きいサイズの方が死にくいことが考えられた。

高いへい死率を示した24℃区、25℃区、26℃区、27℃区について、試験経過に伴う日別の死貝数の推移を調べたところ、24℃区では34日目から、25℃区では28日目から死貝数が急激に増加していたが、26℃区では7日目から、27℃区では2日目から死貝数が急激に増加していた(図13)。このことから、ホタテガイ稚貝は27℃台の水温では数日で急死すること、26℃台の水温が1週間以上継続するとへい死すること、24℃～25℃台の水温でも長期間(1ヶ月程度)継続する場合はへい死することが明らかとなった。

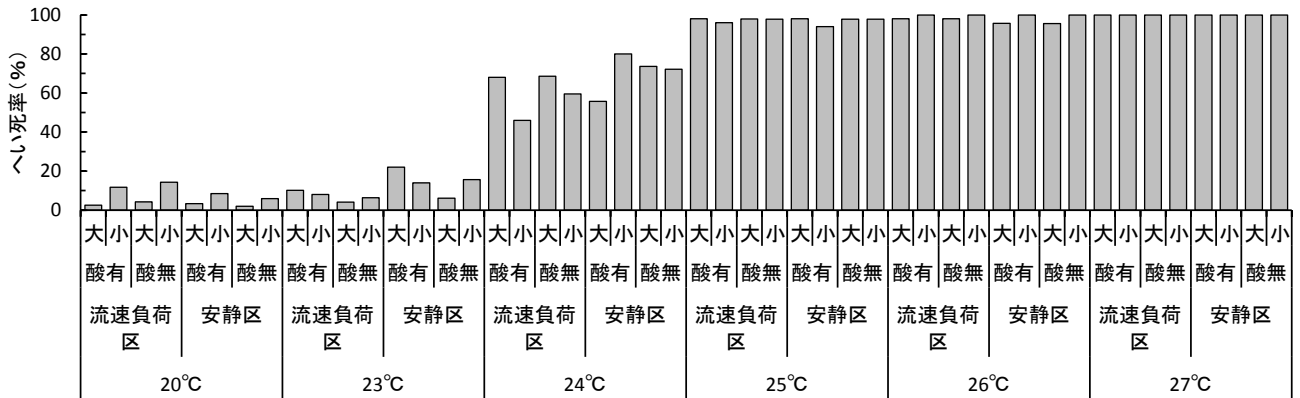


図5 試験終了時における各試験区のへい死率

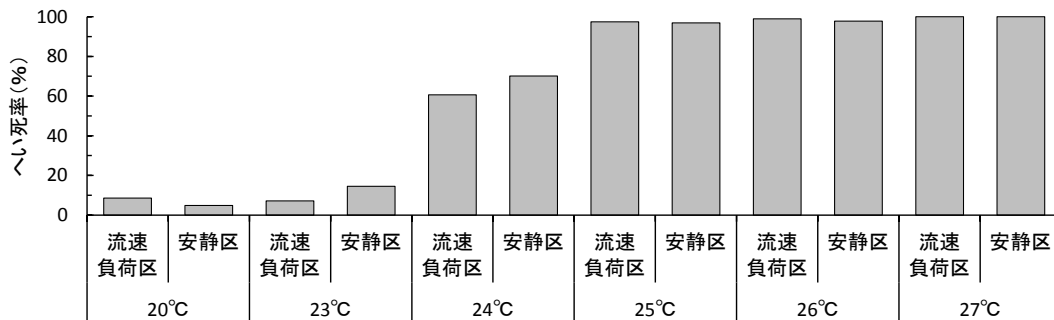


図6 試験終了時における各水温区単位での流速負荷区と安静区のへい死率の平均値

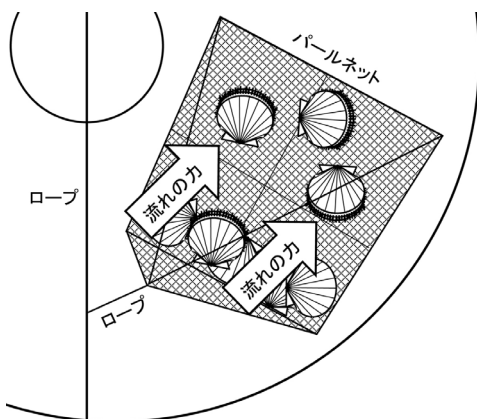


図7 流れの負荷を与えている際の流速負荷区のホタテガイ(イメージ図)

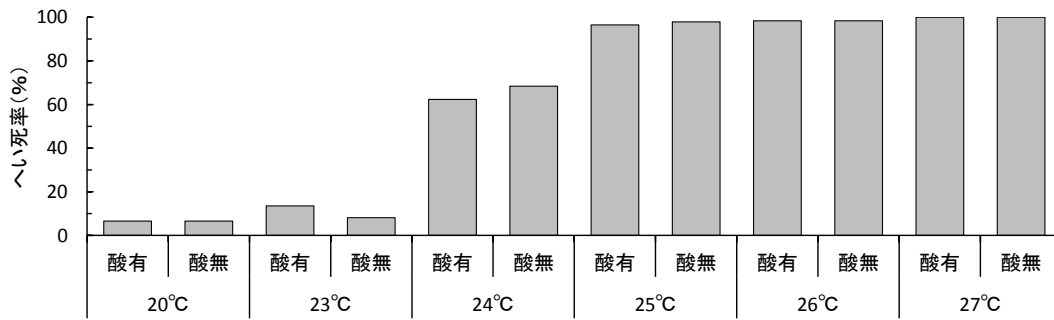


図8 試験終了時における各水温区単位での酸欠有区と酸欠無区のへい死率の平均値

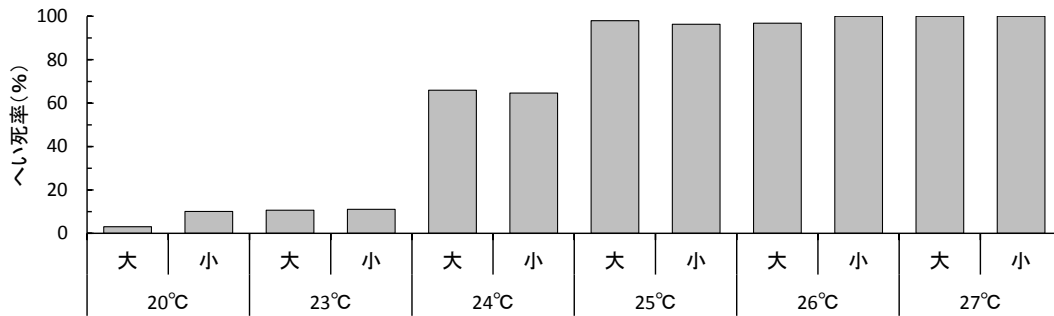


図9 試験終了時における各水温区単位での大サイズ区と小サイズ区のへい死率の平均値

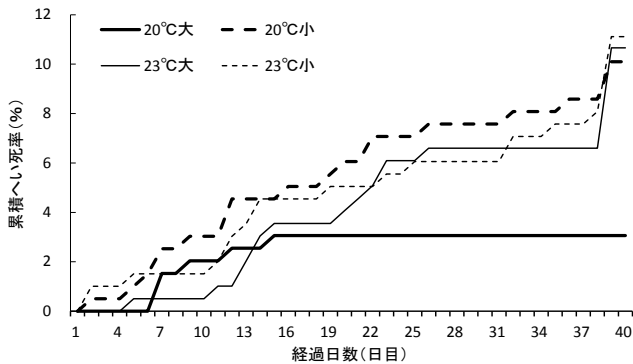


図10 20°C区と23°C区の大サイズ区および小サイズ区における日別の累積へい死率の推移

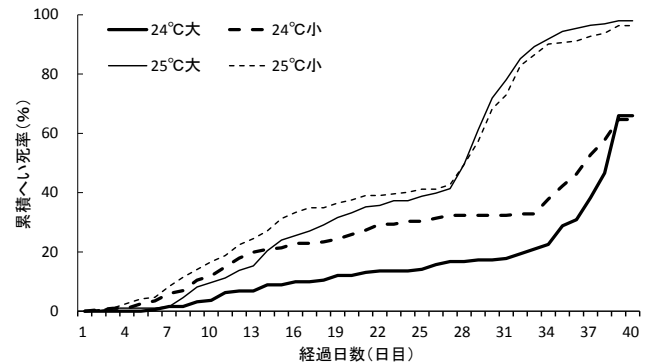


図11 24°C区と25°C区の大サイズ区および小サイズ区における日別の累積へい死率の推移

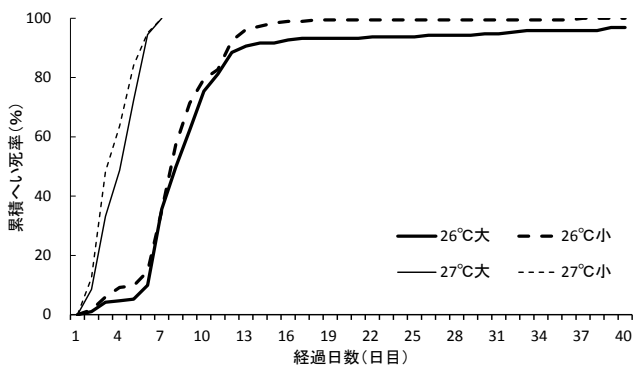


図12 26°C区と27°C区の大サイズ区および小サイズ区における日別の累積へい死率の推移

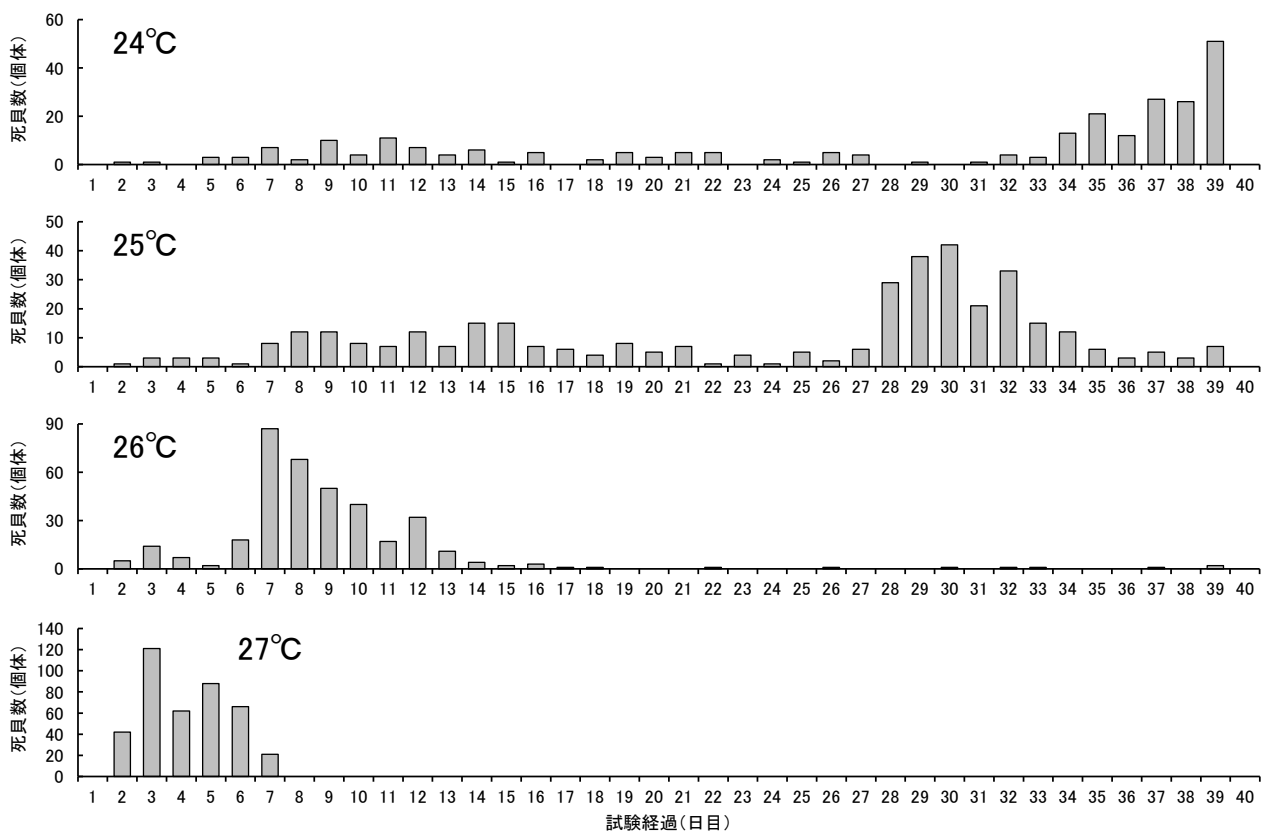


図13 24℃区～27℃区における日別の死貝数の推移

(3) 殻長等の測定データ

試験開始時の殻長と試験終了時の各試験区の殻長、全重量、軟体部重量および中腸腺重量の測定結果を図14～17に示した。なお、25℃区と26℃区については測定個体が1、2個体しかなく、統計学的に検定を行うことができなかつたため、試験区間での比較を行わなかつた(図の白抜き部分)。

大サイズについて試験開始時と比較すると、殻長と全重量は明瞭な差は見られなかつたが、軟体部重量と中腸腺重量は全ての試験区で減少していた。小サイズでは、殻長は20℃区の安静・酸欠無区、23℃区の酸欠有区、24℃区の流速負荷・酸欠有区と安静・酸欠無区で大きかつた。全重量は20℃区の流速負荷・酸欠有区と安静・酸欠無区、23℃区の流速負荷区と安静・酸欠有区、24℃区の流速負荷・酸欠有区で増加していた。軟体部重量は20℃区と24℃区の流速負荷・酸欠無区で減少し、20℃区の安静区で増加していた。

試験開始時と比較して大サイズ区では稚貝の成長が見られなかつたのに対し、小サイズ区の一部の試験区では成長が見られた。この要因として、本試験で給餌した餌の量が大きサイズ区では稚貝が成長するためには少なかつたのに対し、小サイズ区では稚貝が成長できる量であつたことが考えられた。また、稚貝は水温が23℃以下では成長する²⁾ことから、本試験で用いた *Chaetoceros gracilis* 単一種のみでは陸奥湾の夏季と同程度に設定したクロロフィルa濃度(0.3～0.4 μg/l)は、天然下の餌料環境を反映しておらず、餌の供給量が少なかつたことが考えられた。

一方、従来⁷⁾の知見から①ホタテガイの貝柱および中腸腺は、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、④呼吸や摂餌に關与する鰓の繊毛運動は、水温が22℃～23℃に到達すると極

度に減少する⁹⁾こと、⑤ホタテガイ稚貝の日間成長量は、水温が23℃を超えると減少し、25℃になると成長が停止する²⁾ことが明らかとなっている。これらのことから、軟体部重量や中腸腺重量の減少は、水温の影響により鰓の繊毛運動が減少し、ホタテガイが成長と呼吸に必要なエネルギーを摂餌によって十分に確保できず、成長が停止し、特に、高いへい死率を示した24℃区、25℃区および26℃区でその影響が大きかったため、ホタテガイが衰弱してへい死したものと考えられた。

また、流れの負荷と酸欠負荷の有無で差が見られなかったが、前述のへい死率で述べたとおりの要因によるものと考えられた。

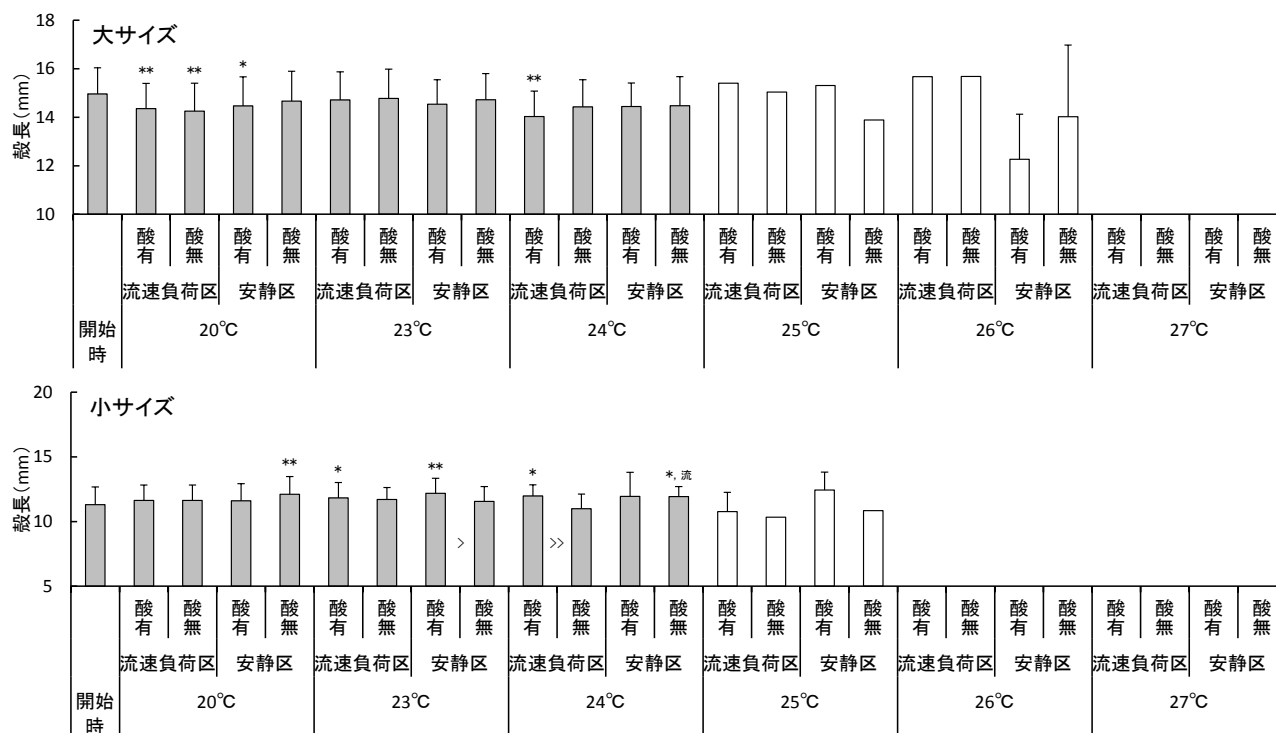


図14 試験開始時と終了時の殻長 (バーは標準偏差、*は開始時と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、流は流速負荷区を安静区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、>は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、>>は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

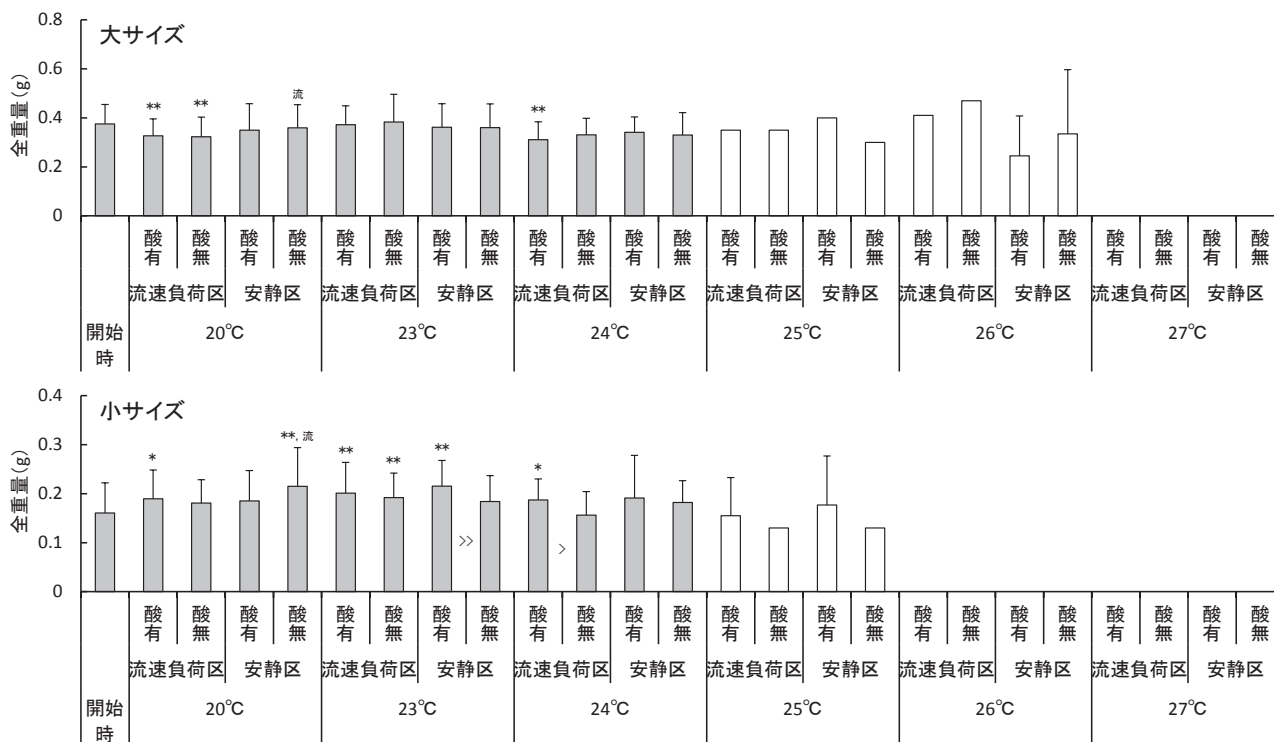


図15 試験開始時と終了時の全重量 (バーは標準偏差、*は開始時と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、流は流速負荷区を安静区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、>は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、>>は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

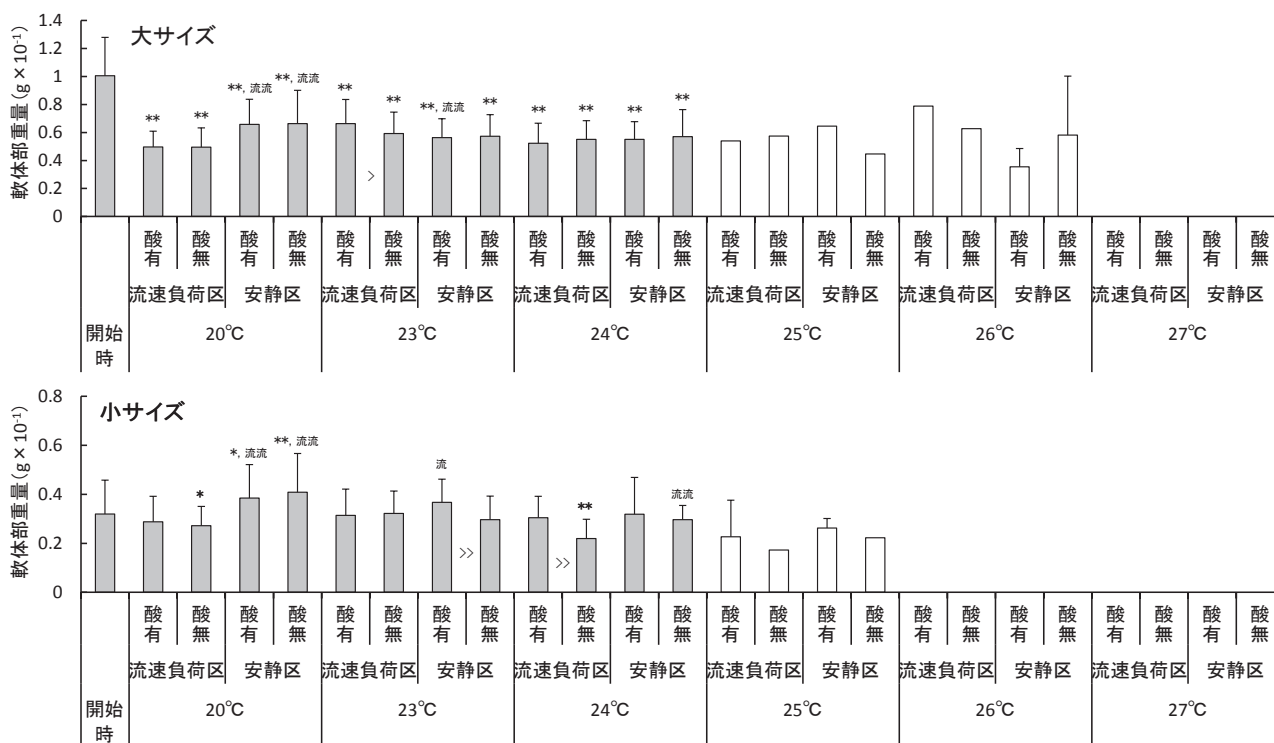


図16 試験開始時と終了時の軟体部重量 (バーは標準偏差、*は開始時と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、**は開始時と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、流は流速負荷区を安静区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、流流は流速負荷区を安静区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、>は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、>>は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

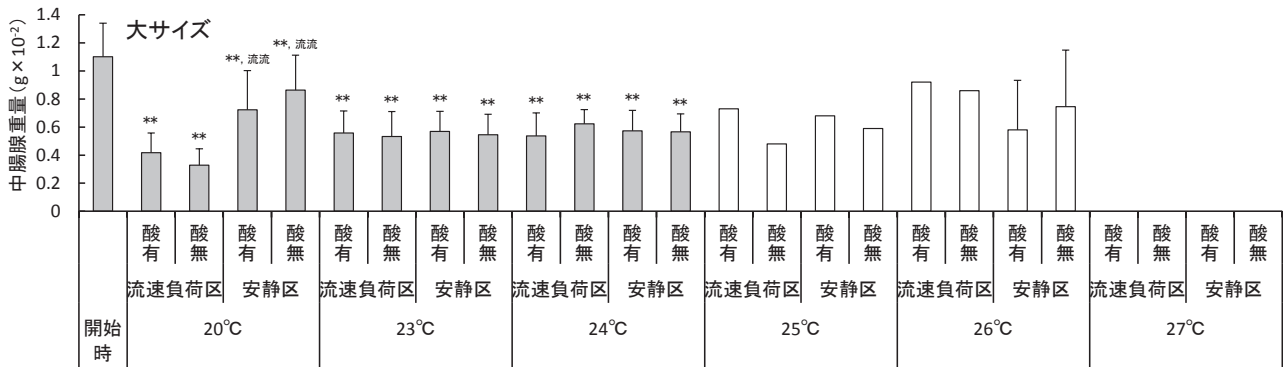


図17 試験開始時と終了時の中腸腺重量 (バーは標準偏差、*は開始時と比べてp<0.05で有意差あり、**は開始時と比べてp<0.01で有意差あり、流流は流速負荷区を安静区と比べてp<0.01で有意差あり)

2. 屋外試験

(1) へい死亡率

本試験開始時における予備試験終了時の20°C区と23°C区の各試験区のへい死亡率を図18に示した。

へい死は、20°C区では9.0%~15.0%、23°C区では50.0%~78.0%で、いずれの試験区も20°C区よりも23°C区で高い値を示した。

本試験終了時における20°C区と23°C区の各試験区のへい死亡率を図19に示した。

へい死は、20°C区では20.0%~27.5%、23°C区では45.0~86.0%で、いずれの試験区も20°C区よりも23°C区で高い値を示した他、酸欠有区のへい死亡率が酸欠無区よりも上回っていた。このことから、①ホタテガイ稚貝は、高水温や酸欠の負荷の影響を複合的に受けるほどへい死亡率が増加する、②夏季の高水温の影響は秋の稚貝分散後に表れると考えられた。

また、サイズ別の比較では、20°C区の酸欠有区以外では大サイズ区のへい死亡率が小サイズ区よりも上回っていた。この要因として、大サイズの稚貝は小サイズの稚貝よりも、①パールネット内の密度が高く、潮の流れや波浪の影響による貝同士のぶつかり合いが起りやすかったこと、②成熟が進み、生理的に不安定な状態にあったことが考えられた。

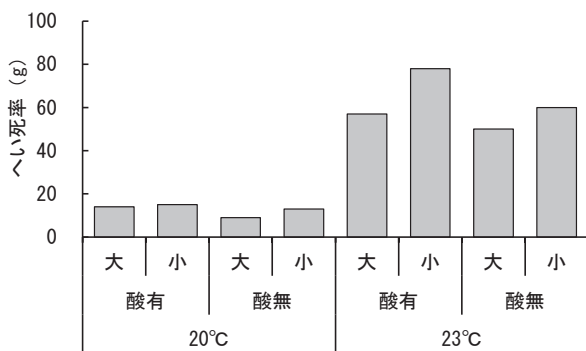


図18 予備試験終了時の20°C区および23°C区の各試験区のへい死亡率

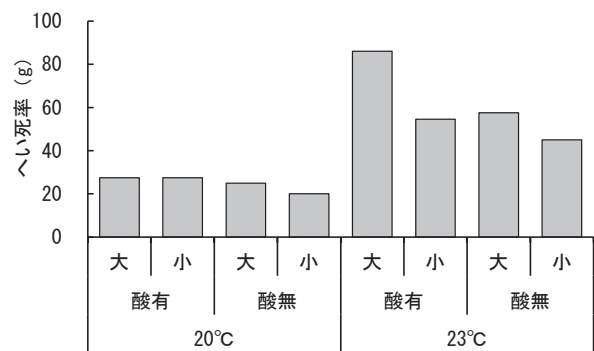


図19 本試験終了時の20°C区および23°C区の各試験区のへい死亡率

(2) 殻長等の測定データ

本試験開始時における20°C区と23°C区の各試験区の殻長、全重量、軟体部重量の測定結果として、室内試験の試験終了時の20°C区と23°C区の安静区内のデータを図20、図22、図24に示した。

測定値は、サイズ別で比較するといずれも大サイズ区の値が小サイズ区よりも大きかったが、水温別、

酸欠の負荷の有無で比較すると明瞭な差は見られなかった。

本試験終了時における20℃区と23℃区の各試験区の殻長、全重量、軟体部重量の測定結果を図21、図23、図25に示した。

水温区間で比較すると、殻長は20℃区の酸欠無・大サイズ区で大きかった。全重量および軟体部重量は、20℃区の酸欠有・大サイズ区で軽く、20℃区の酸欠無区で重かった。酸欠有区と酸欠無区を比較すると、20℃区の酸欠無・大サイズ区と23℃区の酸欠有・大サイズで大きかった。全重量及び軟体部重量は20℃区の酸欠無区で重かった。また、サイズ別で比較すると、殻長は20℃区の酸欠無区と23℃区の酸欠有区で大サイズの方が大きかったが、全重量および軟体部重量は明確な差が見られなかった。

これらのことから、①ホタテガイ稚貝は、高水温や酸欠の負荷の影響が少ないほど成長がよくなる、②夏季の高水温の影響は秋の稚貝分散後に表れると考えられた。なお、高水温や酸欠の負荷の影響の最も大きい23℃区の酸欠有・大サイズ区の成長が、高水温や酸欠の負荷の影響の最も小さい20℃区の酸欠無・大サイズ区とほぼ同じであった要因として、へい死率が86.0%と高かったことから、パールネット内の収容密度が低下し、餌環境がよくなったことで成長が促進されたためと考えられた。

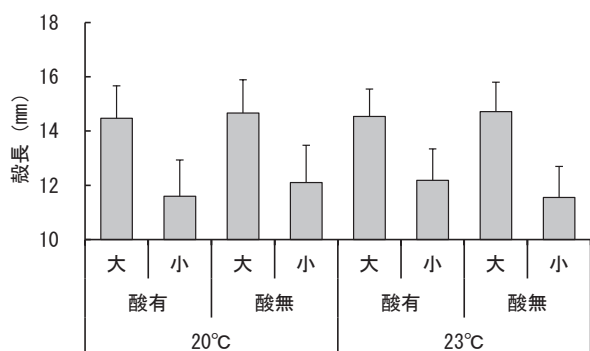


図20 本試験開始時における各試験区の殻長

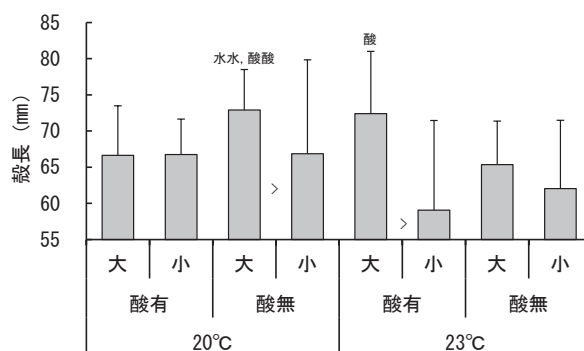


図21 本試験終了時における各試験区の殻長(バーは標準偏差、水水は20℃区を23℃区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、酸は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、酸酸は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、>はさい大サイズ区を小サイズ区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり)

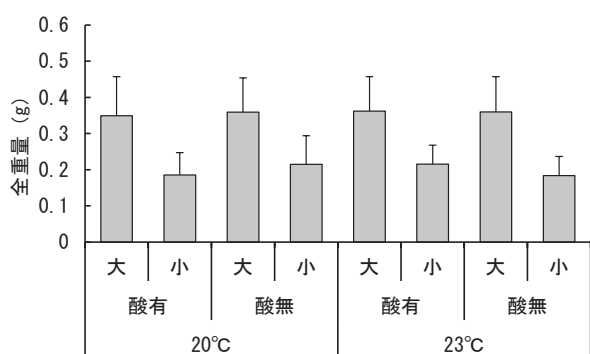


図22 本試験開始時における各試験区の全重量

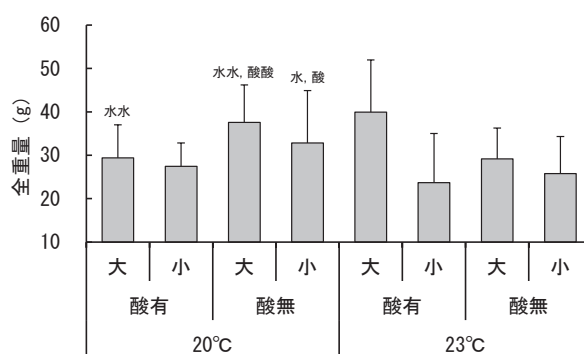


図23 本試験終了時における各試験区の全重量(バーは標準偏差、水は20℃区を23℃区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、水水は20℃区を23℃区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり、酸は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.05$ で有意差あり、酸酸は酸欠有区を酸欠無区と比べて $p < 0.01$ で有意差あり)

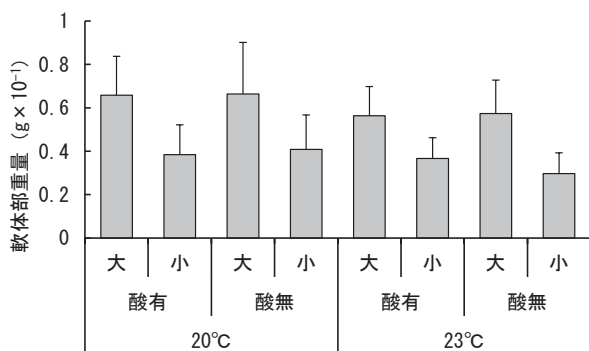


図24 本試験開始時における各試験区の軟体部重量

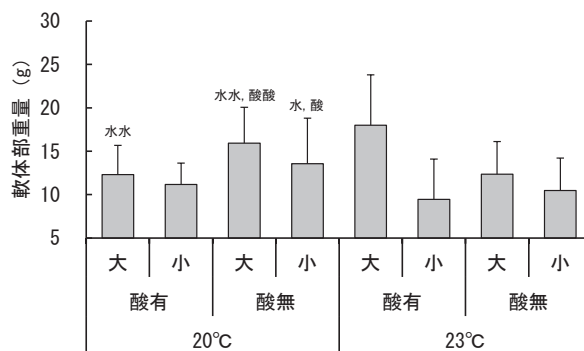


図25 本試験終了時における各試験区の軟体部重量 (水は20°C区を23°C区と比べてp<0.05で有意差あり、水水は20°C区を23°C区と比べてp<0.01で有意差あり、酸は酸欠有区を酸欠無区と比べてp<0.05で有意差あり、酸酸は酸欠有区を酸欠無区と比べてp<0.01で有意差あり)

3. ホタテガイ稚貝の耐性

ホタテガイ稚貝の水温に対する耐性については、これまで水温が23°C以上になると成長が鈍化し、25°C以上になると成長が停止し、26°C以上になるとへい死する危険性が高まるとされてきたが、本試験の結果から、水温が23°C以上になると成長が鈍化し、24°C～25°C台になると成長停止と貝の衰弱が見られ、26°C以上になるとへい死する危険性が高まり、27°C以上では急死することが明らかとなった(図26)。

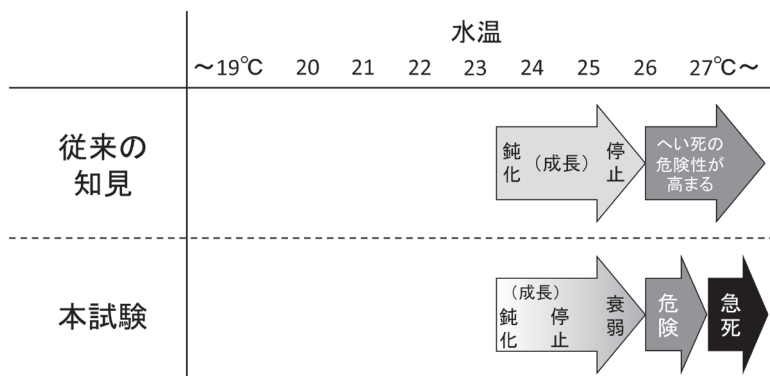


図26 ホタテガイ稚貝の水温耐性

また、1年貝と同様に一定の方向・強さの流れに対する耐性に強いことが明らかとなった。なお、波浪による上下動の影響を室内試験で確認することはできないが、フィールド試験では波浪の影響により生残率や成長が低下することが明らかになっている^{10)~12)}ことから、高水温との複合的負荷でへい死率が高まる可能性が考えられた。

引用文献

- 1) 小谷健二・田中淳也・吉田達・工藤敏博・松尾みどり・川村要 (2012) 平成22年夏季から秋季に発生した養殖ホタテガイ大量へい死について. 平成22年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 374-393.
- 2) 関野哲雄・須川人志 (1992) 高水温下におけるホタテガイ稚貝の成長. 平成2年度青森県水産増殖センター事業報告, 21, 81-84.
- 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.
- 9) 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.
- 10) 吉田達・工藤敏博・山田嘉暢・小谷健二・川村要 (2011) 海面養殖業高度化事業(ホタテガイ養殖技術モニタリング事業). 平成21年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 294-319.
- 11) 吉田達・工藤敏博・松尾みどり・小谷健二・川村要 (2012) 海面養殖業高度化事業(ホタテガイ養殖技術モニタリング事業). 平成22年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 337-373.
- 12) 東野敏及・吉田達・伊藤良博・小谷健二・小倉大二郎・川村要 (2013) 海面養殖業高度化事業(ホタテガイ養殖技術モニタリング事業). 平成23年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 447-471.