

3 稚貝確保技術の開発（小課題2－1－1）

3.1 設置高さの比較実験

3.1.1 方法

令和3年5月に泥混じり砂場および砂場で2～5mmの砂利を収穫ネット（以降、採苗器とする）に収容し、各採苗器を基準面からの高さ（+1.1m、+1.2m、+1.3m、+1.4m、+1.6m、+1.8m）、および各底面からの高さ（+10cm、+20cm、+30cm、+40cm、+50cm、+70cm）で揃え（図20）、底面から1m程度突出させたコンポーズに設置した（図21）。設置から一か月後の令和3年6月に各採苗器中の基質をプラスチック製筒（内径29mm）で5回採取（採取面積0.0033 m²）し、混合した試料中に含まれるアサリを計数および殻長を測定した（n = 3）。

統計解析では、採苗器の設置高さについて、基準面と底面からの設置高さのどちらが初期稚貝の確保に起因するかを確認するため、基準面からの高さでは+1.2mと+1.4m、底面からの高さでは+10cmと+30cmから得られた平均初期稚貝数を用いて、それぞれ「繰り返しのある二元配置分散分析」を実施し、効果量（ η^2 ）を求めた。なお、各設置場所の設置高さごとの比較には「Tukey法」を用いた。

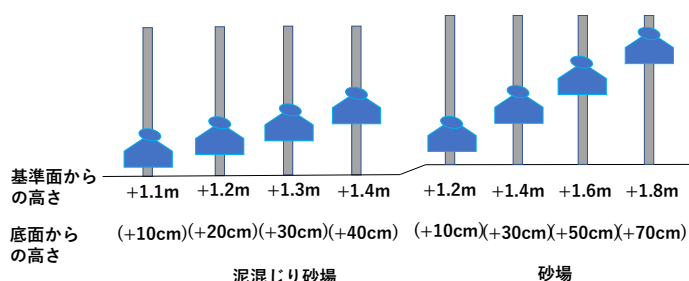


図20 設置高さの比較における設置イメージ

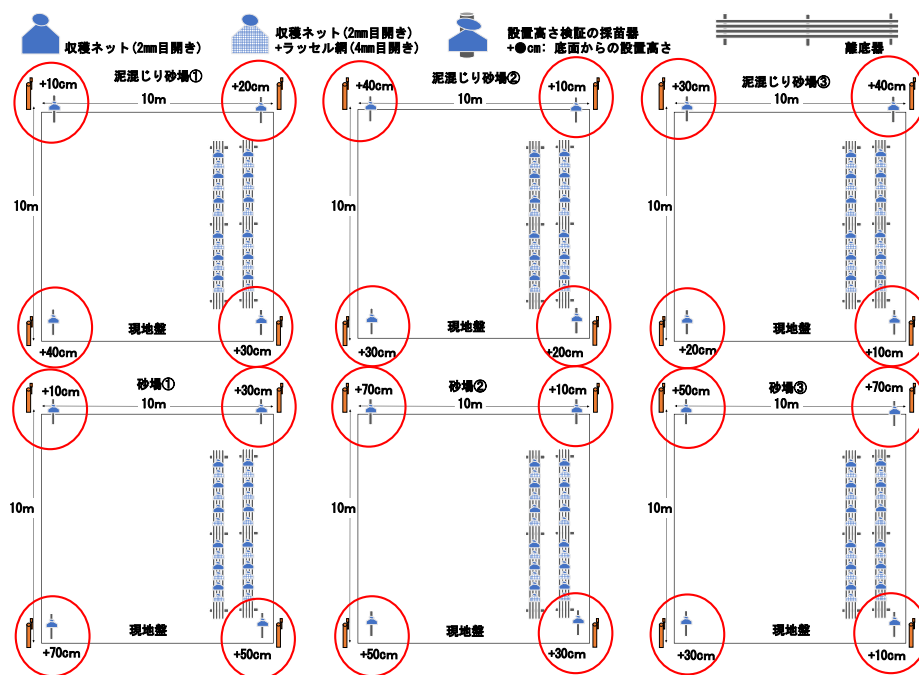


図21 設置高さの比較実験における採苗器の設置位置

○：本実験における採苗器の位置を示した。

3.1.2 結果

設置場所および設置高さにおける採苗器あたりの平均初期稚貝数 ($n = 3$) をに図 22 示した。

設置場所の比較では、平均初期稚貝数は泥混じり砂場よりも砂場で多かった (繰り返しのある二元配置分散分析, $p < 0.05$)。

設置高さの比較では、有意差が確認されなかったものの、平均初期稚貝数は底面からの高さが基準面の高さよりも多かった (繰り返しのある二元配置分散分析, $p > 0.05$)。

効果量 (η^2) は、基準面からの高さでは 0.06、底面からの高さでは 0.23 であり、底面からの高さが基準面からの高さに比べて 3.8 倍大きかった (表 11)。また、各設置場所の設置高さごとの比較では、泥混じり砂場および砂場の平均初期稚貝数は、有意差が確認されなかったものの、離底した低い設置高さで多く、高い設置高さで少なかった (Tukey 法, $p > 0.05$)。

設置場所および設置高さにおける交互作用の比較において、有意差は、基準面からの設置高さでは確認されず (繰り返しのある二元配置分散分析, $p > 0.05$)、底面からの設置高さでも確認されなかった (繰り返しのある二元配置分散分析, $p > 0.05$)。

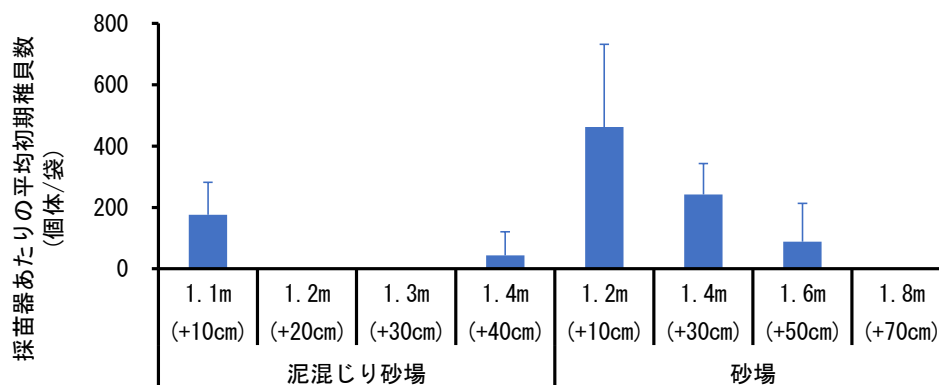


図 22 設置場所および設置高さにおける採苗器あたりの平均初期稚貝数 ($n = 3$)

表 11 各設置高さにおける分散分析結果および効果量 (η^2)

基準面からの高さによる比較						
変動要因	平方和	自由度	平均平方	分散比	p	η^2
場所	371712	1	371712	17.89	0.003	0.61
基準面からの高さ	36300	1	36300	1.75	0.223	0.06
交互作用	36300	1	36300	1.75	0.223	0.06
繰り返し誤差	166254	8	20782			
合計	610566	11				

底面からの高さによる比較						
変動要因	平方和	自由度	平均平方	分散比	p	η^2
場所	209088	1	209088	8.86	0.018	0.40
底面からの高さ	117612	1	117612	4.98	0.056	0.23
交互作用	1452	1	1452	0.06	0.810	0.00
繰り返し誤差	188760	8	23595			
合計	516912	11				

3.1.3 考察

(1) 当該地先の環境

アサリの浮遊幼生は、水深3～5m層で出現のピークが確認されている^{1,2,3)}。アサリの浮遊幼生の塩分の嗜好性は、成長段階に応じて変化するとされ、水槽実験によるとアサリの受精卵は29～36psuの高塩分層に沈降し、トロコフォア期には18-24psuの低塩分層、D型期には一時的に29psu程度の比較的高塩分層に移動した後、アンボ期からフルグロウン期にかけて次第に21～23psuの低塩分層に浮上する傾向があることが示されている⁴⁾。早津江川河口から当該地先付近の間では、水深0～4m層で22～28程度の塩分が確認されている(図23⁵⁾、図24⁵⁾)。有明海におけるアサリの産卵期は、初夏と初冬の年2回であり^{6,7)}、当該地先でもこの時期に初期稚貝が数多く確認されている^{8,9,10)}。満潮時に水深3～4mとなる当該地先は^{8,9,10)}、筑後川河口の沖合に位置することで、着底直近のアサリの浮遊幼生が集積しやすい塩分環境を有していると考えられる。

(2) 設置高さ

当該地先では、干潟底面に直置きした採苗器は砂および泥で埋没し、稚貝が確保できないことから、採苗器を底面から離すことが有効であるとした^{8,9,10)}。基準面の高さで採苗器の設置高さを揃えた令和2年度の実験¹⁰⁾では、採苗器一袋あたりの初期稚貝の平均個体数は、5月の泥混じり砂場および砂場においてC.D.L+1.1mで最も多く、C.D.L+1.4m、C.D.L+1.7m、C.D.L+2.0mと高くなるにつれて少なくなった。また、令和2年度12月の実験¹⁰⁾でも、同実験区においてC.D.L+1.1mで多く、C.D.L+1.4mで少なかった。さらに、今年度の結果においても、同様の傾向を得た(図22)。コンポーズに採苗器を設置する手法では、採苗器の設置高が高くなるにつれて稚貝確保が困難となり、この傾向については過年度の結果も踏まえて再現性が確保されたと考えられる。

令和2年度までの実験では、採苗器の設置高さを基準面の高さで揃えていたため、底面からの高さについて検証することができなかった。今年度の実験では、基準面の高さで底面からの高さについて両実験パターンを設け、どちらかがアサリの稚貝確保に寄与できるかを検証できるようにした。今年度の実験結果では、底面からの高さが基準面の高さよりも効果量(η^2)が4倍高かった。現地では、コンポーズが風や潮流で大きくしなっていたことが観察され、増子が実施した棒の共振実験¹¹⁾における木の角柱の振幅の様子(高い位置で振幅が大きく、低い位置で振幅が小さい)と非常に似ていた。加えて、採苗器を設置していたコンポーズには6月頃からフジツボの付着が確認され、付着生物と採苗器が擦れることで採苗器の網地が破れた原因にもなっていた¹⁰⁾。設置高が高いほど、設置した採苗器はコンポーズの振幅の影響を受け、採苗器の揺れおよび採苗器とコンポーズとの擦れが生じ、確保できた稚貝の消失を招くと考えられる。

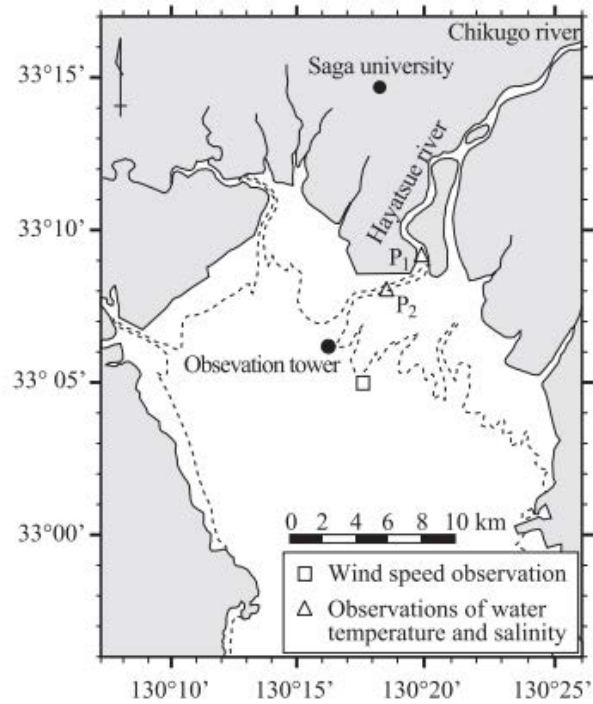


図 23 筑後川エスチュアリーと観測点図

伊藤ら(2012)より一部引用⁵⁾

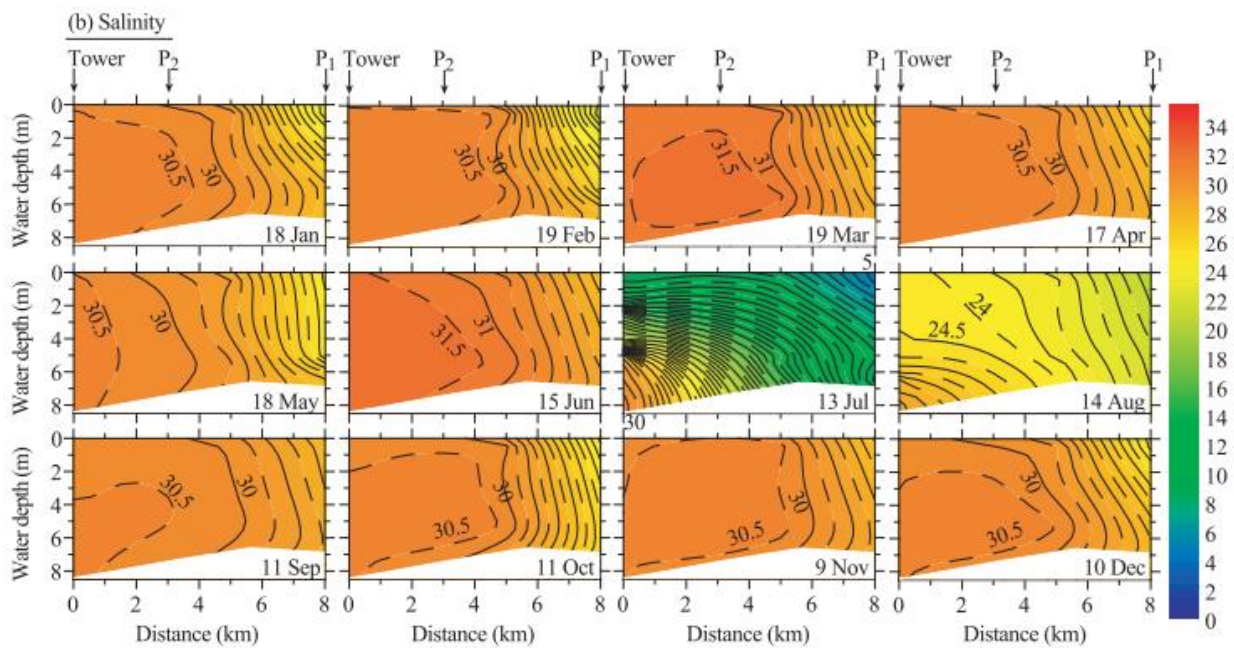


図 24 2007 年における観測タワーから早津江川河口（地点 P1）までの大潮満潮時の塩分の分布

伊藤ら(2012)より一部引用⁵⁾

3.2 保護方法の比較実験

3.2.1 方法

令和3年4月に泥混じり砂場と砂場で、2～5mmの砂利を収容した2mm目開きの収穫ネット(以降、一重ネットとする)および4mm目開きのラッセル網で包んだ一重ネット(以降、二重ネットとする)を離底器とともに設置した(図25)。令和3年5月と6月に一重ネットおよび二重ネットの基質をプラスチック製筒(内径29mm)で5回採取後(採取面積0.0033 m²)、試料中に含まれるアサリの個体数および殻長を測定した。このとき、測定を終えたネットはもとの場所に再設置した。また、令和3年7月～12月の各月に一重ネットおよび二重ネットを回収後、ネット中のアサリの個体数および殻長を測定した。

統計解析では、各保護方法の有効性を確認するため、各調査期で一重ネットおよび二重ネット内の平均個体数を「t検定」で比較した。また、各保護方法によるアサリの成長速度を比較するため、非線形最小二乗法で生物の成長を示す一般モデルである「von Bertalanffyの成長曲線式」を作成し、それぞれの成長速度を「F検定」で比較した。

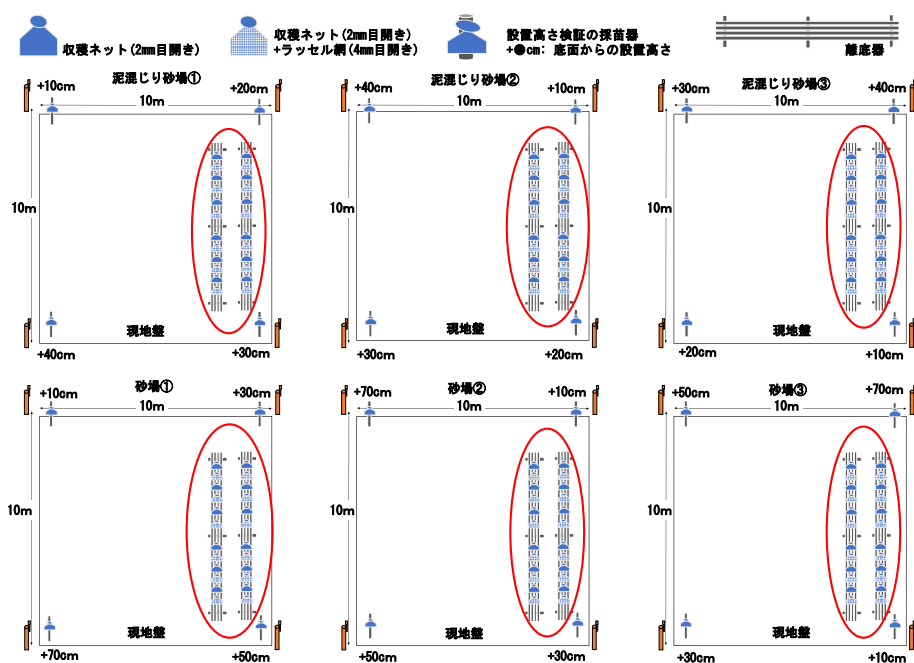


図25 保護方法の比較実験における採苗器の設置位置

○: 本実験における採苗器の位置を示した。

$$SL_t = SL_{\infty}(1 - e^{-k(t-c)}) \dots \text{von Bertalanffy の成長曲線式}$$

SL_t : t 時点でのアサリの殻長

t: 採苗器の設置経過月

SL_{∞} : 理論上のアサリの最大殻長

k: 成長速度

c: 成長開始時点

3.2.2 結果

(1) 初期稚貝

各保護方法における平均初期稚貝数を図 26 に示した。

泥混じり砂場では、平均初期稚貝数は令和 3 年 6 月に一重ネットが二重ネットよりも有意に多かった(t 検定, $p < 0.05$)。

砂場では、いずれの保護方法でも平均初期稚貝数に差はみられなかった(t 検定, $p > 0.05$)。

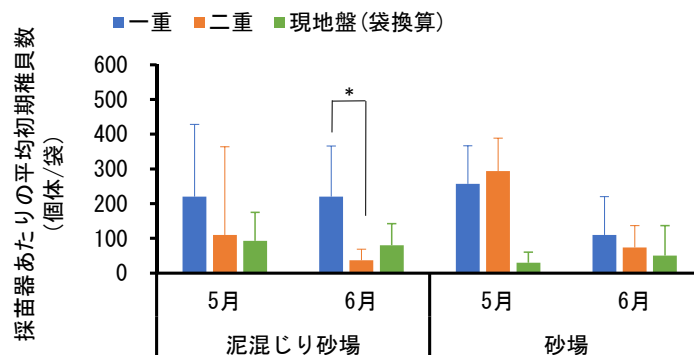


図 26 各保護方法における平均初期稚貝数 (n = 3)

エラーバーは標準偏差を、*は有意差 ($p < 0.05$) があることを示した。

(2) 稚貝・成貝

a) 個体数

各保護方法における稚貝および成貝の平均個体数を図 27 に示した。

泥混じり砂場では、いずれの保護方法でもアサリの平均個体数に差はみられなかった(t 検定, $p > 0.05$)。

砂場では、アサリの平均個体数は令和 3 年 7 月、9 月および 11 月に一重ネットが二重ネットよりも有意に多かった(t 検定, $p < 0.05$)。

現地盤では、令和 3 年 7 月から 12 月まで稚貝および成貝はほぼ確認されなかった。

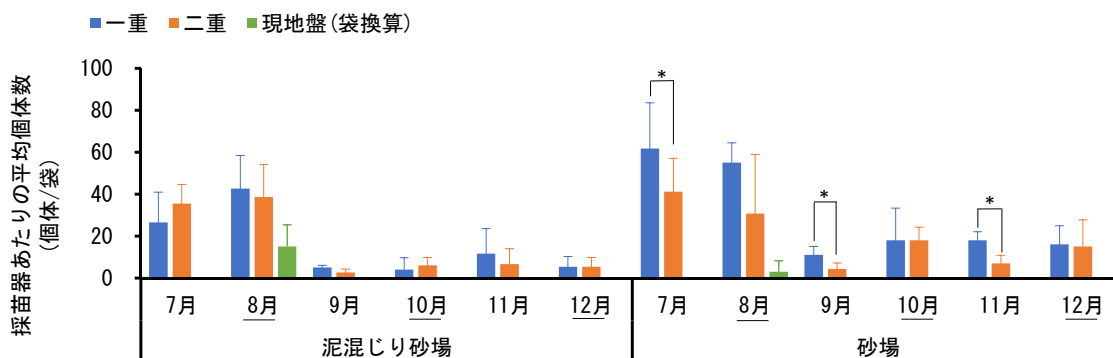


図 27 各保護方法における稚貝および成貝の平均個体数 (n = 3)

調査月の下の線は現地盤のアサリ生息調査実施月を、エラーバーは標準偏差を、*は有意差 ($p < 0.05$) があることを示した。

b) 殻長

各設置場所および各保護方法における稚貝の殻長組成を図 28 に示した。

泥混じり砂場におけるアサリの平均殻長の比較では、令和 3 年 7 月、11 月および 12 月に二重ネットよりも一重ネットで平均殻長は有意に大きく (t 検定, $p < 0.05$)、令和 3 年 12 月には一重ネットで 30.2mm、二重ネットで 25.8mm となった。

砂場におけるアサリの平均殻長の比較では、すべての調査月において二重ネットよりも一重ネットで平均殻長は有意に大きく (t 検定, $p < 0.05$)、令和 3 年 12 月には平均殻長が一重ネットで 31.6mm、二重ネットで 25.0mm となった。

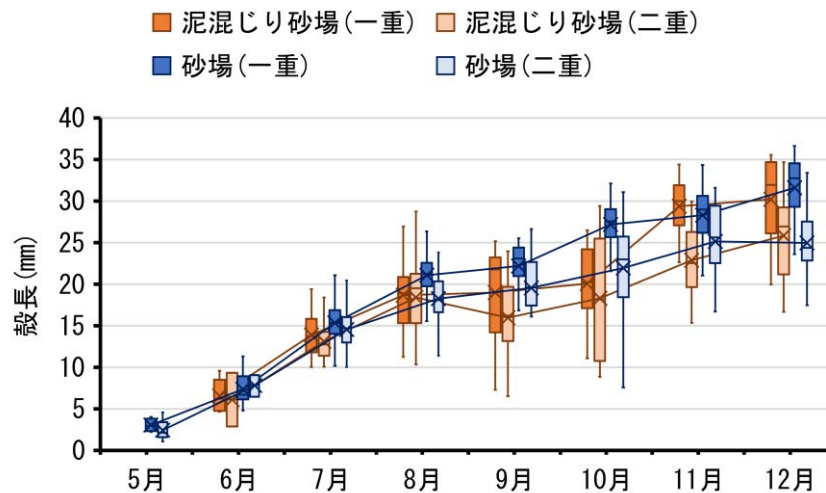


図 28 各設置場所および各保護方法における稚貝の殻長組成 (各 3 袋)

b) 成長速度

von Bertalanffy の成長曲線における保護手法ごとの係数を表 12、各設置場所および各保護方法におけるアサリの成長モデルを図 29 に示した。

泥混じり砂場における保護方法の比較では、von Bertalanffy の成長曲線におけるアサリの成長速度(k)は一重ネットで 0.151、二重ネットで 0.144 となり、一重ネットが二重ネットよりも 1.05 倍高かった (F 検定, $p < 0.05$)。

砂場における保護方法の比較では、von Bertalanffy の成長曲線におけるアサリの成長速度(k)は一重ネットで 0.171、二重ネットで 0.152 となり、一重ネットが二重ネットよりも 1.13 倍高かった (F 検定, $p < 0.05$)。

表 12 von Bertalanffy の成長曲線における保護手法ごとの係数

採苗器設置場所	保護手法	von Bertalanffyの成長曲線における各係数		
		SL_{∞}	k	c
泥混じり砂場	一重ネット	45.4	0.151	0.663
	二重ネット	43.6	0.144	0.615
砂場	一重ネット	44.3	0.171	0.717
	二重ネット	43.2	0.152	0.637

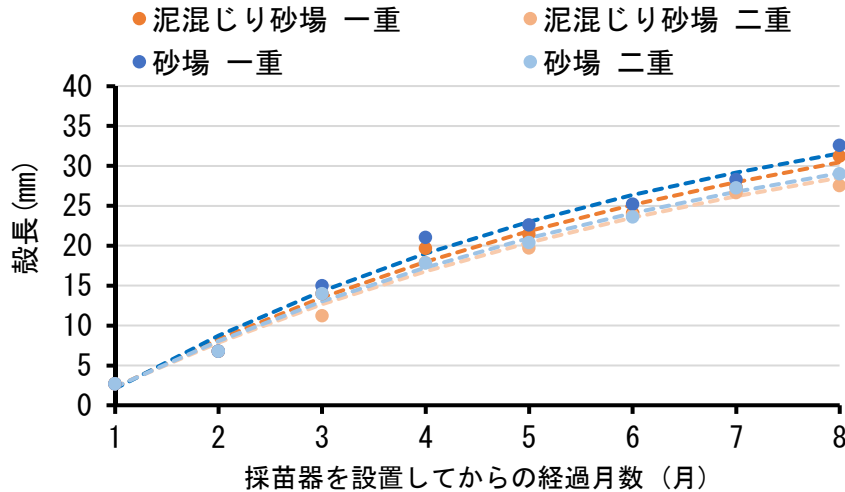


図 29 各設置場所および各保護方法におけるアサリの成長モデル

3.2.3 考察

(1) 一重ネットと二重ネットの比較

本実験の二重ネットは、令和2年度に熊本県岱明地先で実施された稚貝確保実験における「収穫ネット入ラッセル袋⁹⁾」と同様の構造である。熊本県岱明地先の実験では、収穫ネット入ラッセル袋の方よりも二重収穫ネットで多くアサリが採取された¹⁰⁾。一方、移植後のアサリの成長は二重収穫ネットよりも収穫ネット入ラッセル袋で大きい傾向があった¹⁰⁾。この結果は、今年度の本結果の傾向と異なった。本稿の「6.2 水槽実験Ⅰ」において、粒子画像流速測定法(PIV)で水中の粒子を観察したところ、収穫ネットの周囲に漂う粒子は、ネット内に入ると動きが小さくなった(図 30)。粒子の挙動が小さくなったことは、ネット内の水流が遅いことを示唆し、粒子の多くがネットの表面で弾かれる様子も観察された。本実験の二重ネットと熊本県岱明地先の実験における収穫ネット入ラッセル袋の違いは、離底器の有無である。本実験の二重ネットでは砂および泥による埋没を低減するために離底器の上に設置した。これに対して、熊本県岱明地先の実験における収穫ネット入ラッセル袋では、周囲の底質中に生息するアサリの転がり込みを見込み、干潟底面に直置きした。このとき、直置きした収穫ネット入ラッセル袋には砂で膨満するものが確認されていた¹⁰⁾。採苗器の二重構造は、取り込んだ砂およびアサリの流失を予防できるものの、水中のアサリ浮遊幼生の確保には望ましくないと考えられる。

アサリの成長と生息場所の海水の流速との間には正の相関があるとされており^{12,13)}、アサリの成長に及ぼす流速と網目の影響を調べた研究では、流速の大きい水槽外縁部に垂下した容器内でアサリの成長が速く、流速の小さな水槽中心部では成長が遅かった¹⁴⁾。アサリは入水管から海水を取り入れ、水中の植物プランクトン、付着珪藻および有機懸濁物等を鰓の繊毛で濾過して食べる¹⁵⁾。伊藤ら¹⁴⁾は、アサリ直上を通過した海水量が多いことから餌供給量も多くなり、成長が促進されたとした。また、網蓋の目合が小さくなるほど、目詰まりしやすく、飼育していたアサリの殻長と湿重量の値も低くなったことから、餌不足や生息環境等でストレスが生じたとした。今年度の実験で用いた二重ネットでは、ネット内の流速が遅くなることで、餌料の供給が一重ネットと比べてより少なくなり、アサリの成長に影響を及ぼしたと考えられる。

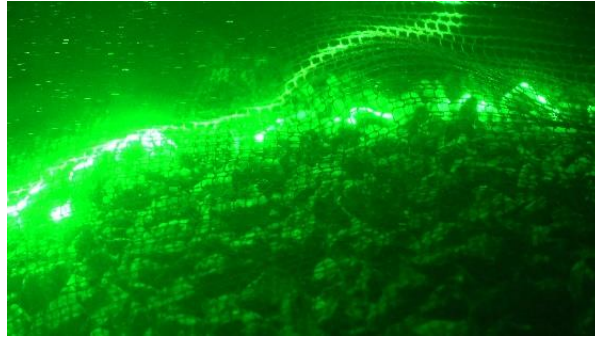


図 30 収穫ネットを通過する粒子(10 μ m)
小課題 2-1-4 の成果から引用

(2) 当該地先における採苗

平成 31 年度に当該地先の泥混じり砂場(泥分 20~40%)および泥場(泥分 90%以上)で実施した稚貝確保実験の結果⁹⁾では、採苗器(一重ネット)を泥土対策として離底器上に設置する方法により、5 月設置 8 月回収で 128~185 個体/袋、6 月設置 9 月回収で 292~312 個体/袋、7 月設置 10 月回収で 170~366 個体/袋の稚貝が確認された。一方、同様の方法を実施した今年度の結果では、4 月設置 7 月回収で 60 個体/袋程度の稚貝が確認され、採苗を実施した年によって、確保できる稚貝の数に大きな違いがあった。アサリの採苗に影響したイベントとして、「令和 2 年 7 月豪雨¹⁶⁾」が挙げられる。当該地先では、令和 2 年度の長期観測の結果¹⁰⁾において、「令和 2 年 7 月豪雨」による著しい塩分の低下が記録され、令和 2 年 7 月 6 日から 7 月 17 日までに記録された塩分の値は 10 を下回っていた。「平成 24 年北九州北部豪雨」のデータをもとに、有明海の淡水流動特性をシミュレーションした神崎ら¹⁷⁾によれば、豪雨による出水の発生から 1 日程度経過すると有明海沿岸に沿って 10psu 以下の低塩分水塊が形成され、4 日経過すると有明海のほぼ全体が 10psu 程度の低塩分水塊に覆われるという。今回の豪雨でもこれと同様の現象が生じ、さらに 7 月中の主な風向が南南西及び西南南西であったことも確認されていた¹⁸⁾。低塩分環境下におけるアサリは、塩分の比重が 15 以下になると長期飼育に影響を及ぼし、特に淡水下において 3~8 日間で 100%死亡、淡水で数時間で死亡するとされている^{19, 20, 21, 22)}。また、アサリは 10psu を下回ると外界からの海水や酸素供給を遮断するため疲弊し、2~3 日間で斃死すると考えられている²³⁾。令和 2 年度の夏季から秋季では、当該地先の低塩分解消には時間を要し、それらがアサリ斃死の主要因であったと考えられた。今年度の実験においても、当該地先では 8 月から 9 月にかけて「令和 3 年 8 月の大雨²⁴⁾」が発生し、海域の淡水化は数日間確認され(図 18、図 19)、採苗したアサリの数も 9 月以降に著しく低下した。したがって、当該先で採苗するには、夏季の大雨リスクを考慮しなければならない。

生残したアサリの成長は良く、4 月に設置した一重ネットで同年 12 月には、殻長が漁獲サイズ(殻長 32mm 以上)に達した個体も確認された。林²⁵⁾が作成した春発生群、秋発生群アサリの成長モデルによれば、春発生群アサリは 5 月中頃に殻長 1mm 程度としたものが翌年 7 月以降に殻長 30mm 程度となる予測となっている。また、山口県では殻長 30mm 以上となるには満 1 年半~満 2 年²⁶⁾、東京湾の盤洲干潟でもおよそ同様の時間を要する²⁷⁾。クロロフィルが 2 μ g/Q を下回ると成長が停滞することが報告されている²⁸⁾。当該地先は、初夏から初冬の間でクロロフィル a 濃度が 2 μ g/L を常に越え、流速も 10~30cm/s と速い環境である。当該地先では 4 月に採苗してから 1 年未満で漁獲サイズに達することから、アサリの成育に良好な環境であると示唆される。

3.3 仮説の検証

稚貝確保技術の開発における仮説の検証結果を表 13 に示した。

表 13 稚貝確保技術の開発における仮説検証結果

仮説	項目	結果	判定
確保される初期稚貝の数は、基準面からの高さにおいて、C. D. L+1. 1m～+1. 8m のうち、C. D. L+1. 4m で最大となる。	初期稚貝数	(1) 稚貝確保に寄与する要因の推定 効果量(η^2)では、基準面からの高さよりも底面からの高さが稚貝確保に寄与すると推定された。 (2) 設置高さの選定 砂場の C. D. L+1. 4m (底面+30cm) の平均初期稚貝数は他の設置高さの平均初期稚貝数と有意な差は確認されなかった(Tukey 法, $p > 0.05$)。	仮説の破棄 理由：本実験の結果により、基準面からの高さは、稚貝確保に寄与するものではないことが示された。
新技術(砂利 2～5mm+二重ネット+離底器)では、現地盤および既往技術(砂利 2～5mm+一重ネット+離底器)よりも稚貝を確保し、生残率と成長量も向上する。	1) 初期稚貝数 2) 稚貝の個体数、殻長	(1) 初期稚貝 5 月および 6 月に確保できた初期稚貝の数は、一重ネット、二重ネット、現地盤の順で多かった(泥混じり砂場の 6 月では t 検定で $p > 0.05$)。 (2) 稚貝の個体数、殻長 7 月から 12 月に確保できた稚貝の数は、一重ネット、二重ネット、現地盤の順で多かった(砂場の 7 月、9 月、10 月では t 検定で $p > 0.05$)。また、一重ネットの成長率は二重ネットよりも有意に高かった(傾きの差の検定, $p < 0.05$)。	仮説の一部を支持 理由：既往技術に対する新技術の優位性は示されなかったものの、当該地先の現地盤よりも初期稚貝および稚貝の数は多かった。