

VI-2. 中課題 3－1 泥分が多い場所での移植技術の開発

/佐賀県佐賀市諸富地先

目次

VI-2. 中課題3－1 泥分が多い場所での移植技術の開発	327
1 技術開発の概要	327
1.1 背景	327
1.2 実施場所と実験区の配置	328
1.3 技術開発ロードマップ	329
1.4 技術開発フロー	330
1.5 過年度までに得られた成果と残された課題	331
1.6 小課題ごとの令和3年度成果と課題	335
1.7 令和3年度成果に対する意見・評価および令和4年度における実施対応	336
1.8 令和4年度の目標、仮説、検証項目	337
1.9 技術開発工程	338
1.10 使用機器	339
2 環境調査結果	342
2.1 地盤高調査	342
2.2 流況、波高および水質調査	343
3 稚貝確保技術の開発（小課題3-1-1）	355
3.1 採苗したアサリの成長追跡（小課題3-1-1A）	355
3.2 漁獲の実証（小課題3-1-1B）	357
3.3 仮説の検証	360
4 稚貝移植技術の開発（小課題3-1-2）	361
4.1 秋季に移植したアサリの成長追跡（小課題3-1-2A）	361
4.2 移植密度選定（小課題3-1-2B）	363
4.3 仮説の検証	366
5 離底技術の開発（小課題3-1-3）	367
5.1 現場観察（小課題3-1-3A）	367
5.2 数値シミュレーション（小課題3-1-3B）	369
5.3 水槽実験（小課題3-1-3C）	374
5.4 仮説の検証	380
6 中課題としての成果と課題	381
6.1 適用条件	381
6.2 作業性	382
6.3 経済性の推定	383
6.4 作業スケジュール	386
6.5 実用性の検討を踏まえた成果と今後の課題	387
参考文献	388
電子格納データ	389

VI-2. 中課題3-1 泥が多い場所での移植技術の開発

1 技術開発の概要

1.1 背景

1.1.1 背景と目的

有明海の湾奥部の干潟は、筑後川をはじめとする大小様々な河川から土砂等が流入することで、泥分の多い泥質干潟となり、潮流も速い。そのような場所では、着底したアサリの稚貝は、泥で埋没あるいは潮流や波浪等で逸散し、生息が制限される。一方、佐賀県佐賀市諸富地先のように一部の場所では、高密度にアサリが生息する場所（高密度着底・集積域）が確認されている。しかし、当該地先のアサリは、密度効果で成長が制限され、漁獲サイズまで成長せず、商業化に至っていない。密度効果への対策として、近隣への移植による密度調整が有効とされるが、泥分の多い場所では泥による埋没のリスクがあり、移植適地とならない。このように、高密度にアサリが生息するものの、泥分の多い場所では、漁獲対象になり得るまでの生残と成長は困難であり、安定したアサリの生産が厳しい状況にある。

1.1.2 本実施場所の問題点・特徴

当該地先では、アサリの高密度集積域が平成30年度から令和元年度まで確認され、その生息密度は2,000個体/m²を超えていた。しかし、令和2年度以降では、アサリの高密度集積域は消失し、現地盤からアサリの稚貝を確保することが困難となった。また、アサリの初期稚貝の着底が春季および冬季に例年確認されるものの、泥による埋没および潮流等による逸散で生残できていない。さらに、9月からの海苔養殖に伴い、秋季から冬季にかけて当該地先の潮流が遅くなることで、この時期の泥の堆積は顕著となる。

1.1.3 中課題の目的

本中課題では、泥分が多く、アサリの生息に不適な場所であっても、稚貝を確保でき、その生残率と成長量を向上させる技術を開発し、有明海におけるアサリの生産性向上に寄与することを目的とした。

1.1.4 年間の目標

当該地先では、令和元年度および令和2年度において、採苗器などは、廃材コンポーズを筏状に組み、干潟底面から離底することで（以降、離底技術とする）、泥による埋没および堆積の影響を緩和し、少なからず稚貝を確保できることが確認された。また、平成29年度から平成30年度において、高密度集積域から移植したアサリは、泥分が多い場所でも離底技術を用いることで生残率と成長量が向上し、砂場へ移植した時と同等の漁獲額が得られることが確認された。令和3年度では、当該地先における採苗手法を改良し、稚貝の確保、保護育成を向上させるとともに、離底技術のメンテナンス手法の確立および離底技術を適用することで生じる効果のメカニズムを示すことを目標とした。

1.2 実施場所と実験区の配置

実施場所は、早津江川と筑後川の河口から約 3km 沖合に位置する佐賀県佐賀市諸富地先(諸富区 1022 号)とした。なお、実験区の規模および配置は、佐賀県有明海漁業協同組合と調整の上で決定した。

実験区の配置は、泥分率が異なる「泥分 20%~40%の泥混じり砂場」と「泥分 15%未満の砂場」の 2 通りの実験区を設定し(図1)、環境要因によるデータの偏りが生じないように各実験区には反復を 3 区画ずつ設けた。

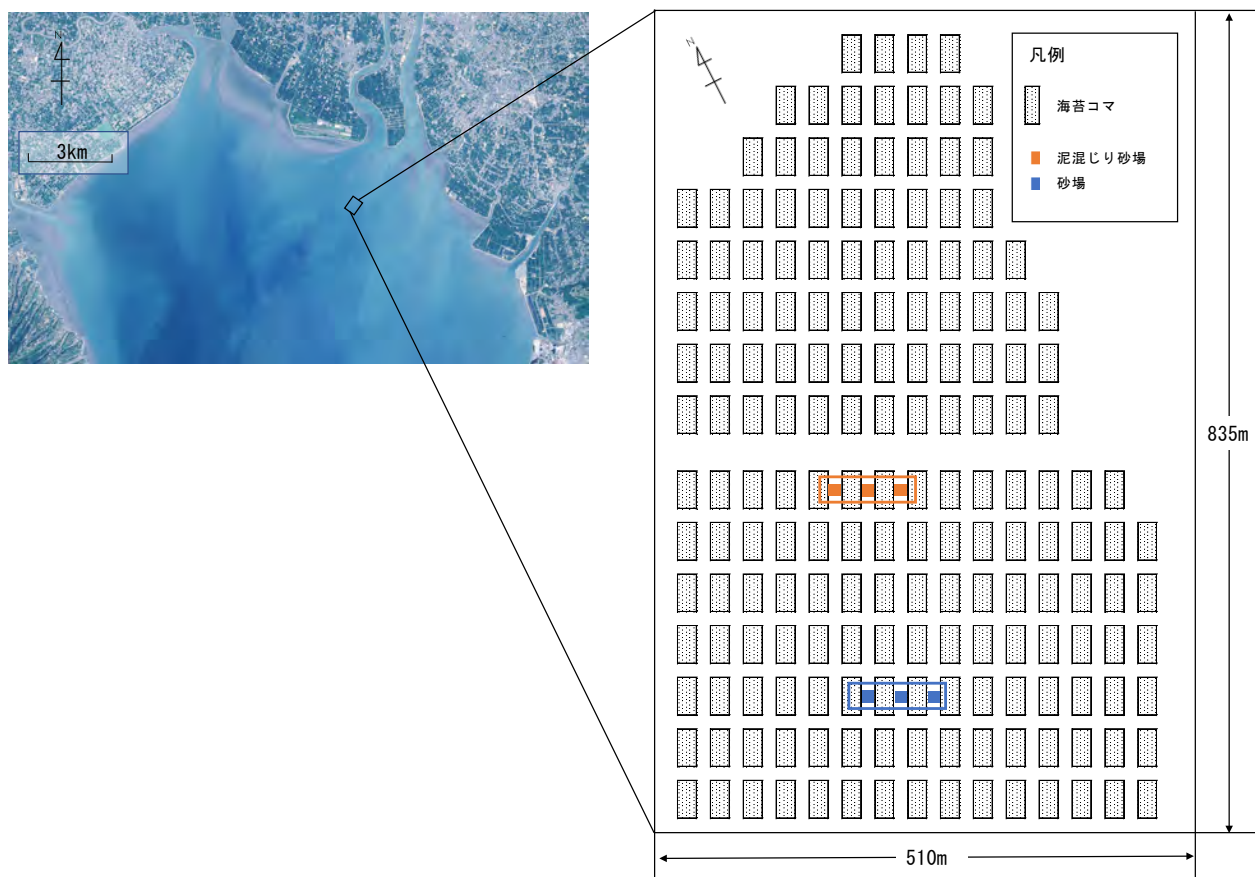


図1 実施場所と実験区の配置

航空写真は国土地理院より一部引用

1.3 技術開発ロードマップ

本中課題では、事業5年目に泥分が多い場所でも漁獲額/コストが1.0以上となる技術開発を最終目標とした。技術開発ロードマップを図2に示した。

平成30年度では、前フェーズで確立された技術を泥分の多い当該地先でも適応できるか確認した。

令和元年度では、当該地先に対応させるための技術改良を試みた。

令和2年度では、移植サイクル確立に先駆けて、移植における離底技術の有効性と漁獲額が最大となる時期を確認した。

令和3年度では、令和2年度で検証した採苗技術の再検討と離底技術のメンテナンス手法の確立およびメカニズム把握を目指した。

令和4年度では、これまでに確立できた技術をもとに、その再現性および実用性を確認し、漁獲額/コストが1.0以上となることを検証した。

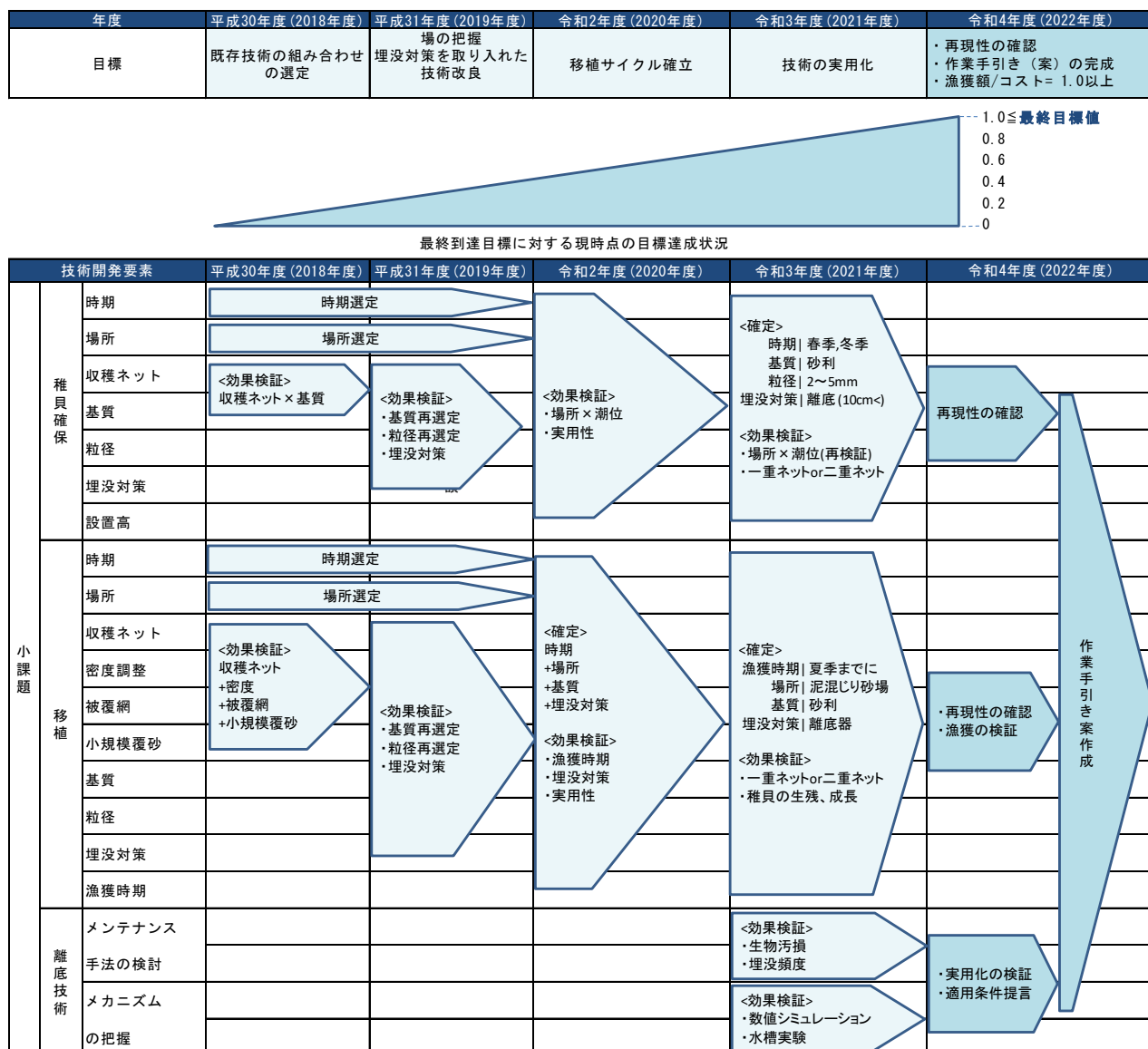


図2 技術開発ロードマップ

1.4 技術開発フロー

本中課題における5か年の技術開発フローを図3に示した。

事業年度		平成30年度(2018年度)	平成31年度(2019年度)	令和2年度(2020年度)	令和3年度(2021年度)	令和4年度(2022年度)
小課題	各年度の目標	既知技術の組み合わせ	① 場の特性把握 ② 泥土対策の確立	移植サイクル確立	① 他県移植確立 ② 離底メカニズム把握	① 技術の実用化 ② 作業手引き案の作成 ③ 漁獲増加量/コスト=1.0以上
	仮説の設定					
	着生域での分級軽石+8mm目合網袋による採苗が有効。	収穫ネット+分級軽石 評価：×	砂利+2~5mm 評価：○			
	採苗に用いる基質とそのサイズは、砂利の2~5mmが適している。		設置高10cm以上 評価：○			
	採苗する際の設置高さは、底面から10cm以上が適している。			設置高C.D.L+1.4m 評価：△	設置高+10cm 評価：△	
	確保される初期稚魚の数は、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				一重ネット 評価：○	
	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)よりも稚魚を確保し、生残率と成長量も向上する。					今年度検証
稚魚確保技術の開発	前年4月に採苗したアサリの漁獲量は、翌年の4月から7月のうち、大雨のリスクを避けられる6月に漁獲することで最大となる。					
	覆砂による底質改善と併せて、適切な密度と食害・造散対策を行えば、泥場でも生残、成長が可能になる。	移植(泥場)+密度調整+被覆網+覆砂 評価：×				
	生息密度を2,500個体/m ² から500個体/m ² に下げた稚魚と初期成貝は、泥分少ない砂場へ移植することで、泥分の多い泥場よりも生残と成長が向上する。		移植(砂場)+密度調整+直置 評価：○			
	稚魚と初期成貝は、泥分が多い泥場でも、砂場を基質として入れ、コンボーズで底面から離底すれば、生残と成長が直置きよりも向上する。		移植(泥場)+密度調整+離底 評価：○			
	4月から砂場へ移植したアサリの漁獲増加量は、6月から11月のうち、高い温度環境となる直前の7月に漁獲することで最大となる。			移植(泥場)+密度調整+離底+7月漁獲 評価：△		
	泥分が多い場所でも、泥土対策としてコンボーズによる離底、砂利(2~5mm)、収穫ネットを組み合わせることで、その漁獲増加量は「砂場(直置)」の結果と同等となる。			砂場(直置)=泥場(離底) 評価：○		
	当該地先の「泥混じり砂場」へ移植した際には「離底」を施すことで、「砂場」と同等の生残率および成長量を確保することができる。				砂場(直置)=泥場(離底) 評価：○	
稚魚移植技術の開発	採苗器に収容するアサリの密度は150~200個体/袋が実用的である。					今年度検証
	年に1度の頻度でメンテナンスすることで、離底器の機能を維持できる。				メンテナンス年1回 評価：○	
	離底器及び設置した採苗器近傍で微小な渦が生じるとともに、離底器の底を通過する水流で泥粒子が押し出されることで泥の堆積を予防できる。ただし、流速が50cm/secでは漂砂に伴う地形変化で埋没する。				本技術の適用条件の明確化 評価：○	
離底技術の開発	離底器は、海域の主流に対して斜めに設置することで、泥土等の埋没を最も低減できる。					今年度検証

備考：○ 目標達成；△ 目標一部達成；× 目標不達成

図3 技術開発フロー

1.5 過年度までに得られた成果と残された課題

1.5.1 稚貝確保技術開発

1.5.1.1 平成30年度

泥分が多い場所でも稚貝を確保できる技術を確立するため、採苗器に収容する基質の種類間における稚貝の着底数および生残状況を比較した。前事業で稚貝が確保できた実績を持っていた「軽石（分級した榛名軽石）」が砂利に代わる新たな採苗の基質として期待されたことから、本実験では、「軽石」、「砂利」、「現地盤の砂」の3種類を網袋へ各々収容し、袋中の初期稚貝および稚貝を計数し、比較した。

成果：当該地先では、網袋に基質を詰めた採苗器は干潟底面に設置すると、基質の内容にかかわらず泥で埋没することが確認され、埋没による稚貝への影響が明らかとなった。比較した基質のなかでも砂利では僅かな数であるものの、稚貝の着底が確認でき、当該地先に用いることができる基質の候補として期待された。

課題：埋没による稚貝の着底を低減するために、少なからず泥土対策を講じる必要があった。また、今回の検証において用いた軽石および砂利は基質の粒径が統一されていなかったことから、基質の効果を純粹に見出すことも難しく、実験デザインも見直す必要があった。

1.5.1.2 平成31年度

当該地先の泥土の堆積状況を勘案して、採苗において泥土対策を講じるとともに、採苗に適した基質および粒径を選定する実験を行なった。泥土対策では、当該地先において秋季から冬季にかけて泥土が10cm程度積もることが確認できていたことから、コンポーズを干潟に立て、それに採苗器を干潟底面から10cmの高さで設置した。本実験では「ボラ土（5～13mm）」、「ボラ土（2～5mm）」、「砂利（5～13mm）」、「砂利（2～5mm）」の4種類を網袋へ各々収容し、先の泥土対策を講じた上で春季および秋季に袋中の初期稚貝を計数し、比較した。

成果：コンポーズに採苗器を干潟底面から10cm高い位置に設置したことで、採苗器は春季および秋季で埋没することなく、泥土対策は成功した。また、基質および粒径の選定では、基質は「砂利」、粒径は「2～5mm」で良好な結果が示され、当該地先で採苗するための基質および粒径を決定できた。

課題：今回の手法で、泥分の多い場所でも稚貝を確保できる期待が得られつつあったものの、より採苗効率を向上させるため、設置高さについてより詳細に検証していく必要があった。また、本手法で確保できた稚貝が漁獲サイズまで生残、成長できるかについても検証していく必要があった。

1.5.1.3 令和2年度

確保できる稚貝の数をより多くするため、基準面からの高さに基づいて採苗器の設置高さを検証した。本実験では、設置高さを「C.D.L+1.1m」、「C.D.L+1.4m」、「C.D.L+1.7m」、「C.D.L+2.0m」の4種類とし、それらの高さに粒径2～5mmの砂利を収容した網袋を取り付け、春季および秋季に採苗器中の初期稚貝を計数し、比較した。

成果：春季および秋季で、基準面からの高さに基づいた設置高さは、C.D.L+1.1m から C.D.L+1.4m で稚貝が確保でき、特に C.D.L+1.4m で良いとされた。また、C.D.L+1.7m 以上の高さでは、現場でコンポーズの動揺に伴う採苗器の揺さぶりや大雨後の網袋の破れも確認され、コンポーズに設置する際の高さは、高い場合で採苗器に不適な様子も確認できた。

課題：本実験手法では、基準面からの高さに基づき設置高さを設定したものの、現場の様子も鑑みると干潟底面からの高さの要因も稚貝の着底に影響することが考えられ、それも踏まえらる実験デザインとすることが望ましいとされた。

1.5.1.4 令和3年度

(1) コンポーズに採苗器を設置する手法において、稚貝の着底および保護に係る要因は基準面からの高さなのか、あるいは干潟底面からの高さなのかを見出すため、それらを同時に比較できるよう設定して設置高さの再実験を行った。本実験法では、粒径2～5mmの砂利を収容した網袋を各C.D.L.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)で揃えてコンポーズに取り付け、採苗器中の初期稚貝を計数、比較した。

(2) 採苗器の耐久性および稚貝の着底数を向上させるため、採苗器に用いる網袋を一重と二重で比較した。本実験では、離底器上に「一重で制作した砂利入り網袋」と「二重で制作した砂利入り網袋」を設置し、各々の採苗器中の稚貝を計数するとともに、その殻長と湿重量を追跡して比較した。

成果：(1) 採苗器中に確認された初期稚貝の数は、有意差はないものの、基準面からの高さよりも干潟底面からの高さの方が多かった。また、効果量(η^2)の値を比較すると、干潟底面からの高さの効果量は、基準面からの高さの効果量の3.8倍であったことから、コンポーズに採苗器を設置する手法においては、採苗器への稚貝の着底には干潟底面からの高さがより寄与していることが示された。
(2) 採苗器中の稚貝の着底数および成長は、一重で制作した砂利入り網袋で有意に良好であり、翌年には漁獲サイズにまで成長することがモデル予測でも示唆された。

課題：(1) コンポーズに採苗器を設置する手法では、数多くのコンポーズを干潟に立たせる必要があり、海苔養殖の区画である当該地先では船舶の安全な航行に支障を来すおそれがあった。本手法の適用は、船舶の航行が少ない場所が望ましい。
(2) 採苗器の耐久性の向上には至らず、より強度のある網袋の使用を検討していく必要があった。また、令和3年度事業中では、当該地先において「採苗から漁獲まで」を確認できなかったため、次年度でも継続してアサリの成長を追跡していく必要があった。

1.5.2 稚貝移植技術開発

1.5.2.1 平成30年度

泥分が多い場所でも稚貝を移植できる技術を確立するため、前事業で稚貝保護および泥分の低減に有効とされた手法を用いて、当該地先におけるアサリの高密度集積地から泥場へアサリを移植した。本実験では、高密度集積地で確保された殻長27mm前後のアサリを泥場へ「密度（500個体/m²）」および「密度（2000個体/m²）」で移植し、「被覆網（18mm目開き）」および「高地盤覆砂」を組み合わせることで保護後、アサリの生残・成長状況を追跡、比較した。

成果：移植したアサリは、有意差は確認されなかったものの、生残および成長が「密度（2000個体/m²）」よりも「密度（500個体/m²）」で良好であった。しかしながら、被覆網には河川由来の木片等が引っかかるほか、8月の移植から5か月後の平成31年1月には実験区に15cm以上の泥が堆積し、実験に供したアサリは全て斃死した。

課題：当該地先は筑後川や早津江川の河口に位置することから、それら由来のゴミがアサリを保護する資材に引っかからない工夫が必要となった。また、当該地先でアサリの実験をする上で、秋季から冬季にかけて堆積する泥の対策が必須であることが明らかとなり、前事業で開発された技術は当該地先では適用できず、新しい技術開発が必要となった。さらに、本事業では稚貝移植が課題ではあったものの、当時の高密度集積地には稚貝がほとんどおらず、稚貝の確保も急務となった。

1.5.2.2 平成31年度

当該地先の潮流は速く、撒いたアサリは逸散することが予見されたため、稚貝は網袋で保護することとした。また、当該地先では秋季から冬季にかけて、泥の堆積が顕著となることから、廃材コンポーズを筏状に組み上げて（以後、離底器とする）その上に採苗器を載せ干潟底面から底上げすることで、泥分影響の緩和を試みた。本実験では、高密度集積地から「殻長25mm」、「殻長20mm」および「殻長15mm」のアサリを抽出し、20個体ずつ現地砂を収容した網袋に入れることで保護したうえ、「砂場（泥分15%未満）」、「泥混じり砂場（泥分20～40%）」、「泥場（泥分90%以上）」の干潟底面に直置き後、それらの生残・成長を追跡し、比較した。加えて、泥場では「離底器」で網袋を干潟底面から底上げし、泥分影響を緩和させたものも同時に検証した。

成果：直置きした網袋におけるアサリの生残・成長は、砂場が最も良好となり、泥場で生残率の顕著な低下が確認された。特に、殻長15mmのアサリでは生残率が0%となった。また、殻長20～25mmのアサリでは移植から5か月経過後に平均殻長が漁獲サイズである30mmを超えた。加えて、泥場においても離底器を用いることで、殻長15mmのアサリの生残率は砂場同様となり、泥分影響の緩和効果も確認できた。

課題：本実験は、小規模であったため、実用的な収容密度で実験を行うことができなかった。また、離底することで生残率は直置よりも良好になったが、砂場と比べて成長に時間がかかった。また、規模の拡大を想定したときに数多くのコンポーズおよび人員が必要となり、作業性の問題も挙がった。

1.5.2.3 令和2年度

平成 31 年度の実施結果を踏まえ、泥分影響を緩和した移植技術を用いて、移植規模の拡大(実用規模の 1/6)とともに生産性向上に効果的な漁獲時期を絞り込むことを検討した。本実験では、当該地先の現地盤から採集されたアサリを「砂場」および「泥混じり砂場」へ移植し、泥混じり砂場では粒径 2~5mm の砂利を詰めた網袋と離底器を用いた泥土対策(離底)を施した。なお、当該地先の高密度集積域は本年度で消失し、現地盤には殻長 30mm 程度に成長したアサリ成貝が低密度に分布するのみで、殻長 20mm 未満の個体を採集するのは不可能であった。このため、殻長 30mm 前後のアサリを実験に用いることとした。

成果：移植したアサリは、移植時点で殻長 30mm ほどであったものが 3 か月後の 7 月には砂場で殻長 33mm、泥混じり砂場(離底)で殻長 32mm と着実な成長を両移植場所で見せし、泥混じり砂場でも泥土対策を施すことで移植場所になり得ることが明らかとなった。また、4 月の移植から 7 月まで網袋中の湿重量も着実に増大していった。しかしながら、「令和 2 年 7 月豪雨」によって当該地先では海域の塩分が低下し、10 日間以上の低塩分が続いたことで実験に供したアサリは全て斃死した。

課題：「令和 2 年 7 月豪雨」の影響を受け、移植実験は半ば中断することになった。夏季には大雨のリスクがあり、特に当該地先は筑後川や早津江川の河口に位置することから、それを採苗および移植実験において念頭に置く必要が生じた。また、稚貝の移植実験を実施する上で、当該地先の現地盤では実験に対応できる数量の稚貝を確保できなくなったことから、採苗による稚貝確保あるいは他県から移植することによる稚貝確保の必要性も生じた。

1.5.2.4 令和3年度

当該地先の現地盤では、実験に対応できる数量の稚貝を確保することが難しく、JV 他社の協力を得て、春と秋に県外からのアサリ移植を試みた。春季の移植では、6 月に殻長 14mm 程度の稚貝を福岡県の 10 号地区から採集し、粒径 2~5mm の砂利を詰めた網袋へ 60 個体/袋の密度で収容した。また、秋季の移植では 11 月に殻長 24mm 程度のアサリを長崎県小長井地先から採集し、粒径 2~5mm の砂利を詰めた網袋へ 50 個体/袋の密度で収容した。春季および秋季の移植の両方で、当該地先の砂場および泥混じり砂場へ移植し、泥混じり砂場に移植したアサリについては離底器による泥土対策も施した。

成果：春季の移植については、「令和 3 年の 8 月の大雨」で実験に供したアサリは斃死し、9 月には生残したアサリは 1/10 程度となった。大雨後でも生残したアサリは、12 月には平均殻長が 28mm 程度となり、着実な成長も確認できた。秋季の移植については、移植後でも着実な生残および成長を示し、次年度で漁獲サイズに至ることが期待できた。

課題：春季の移植においては、前年度の実験と同様に夏季のリスクに晒されることから、夏季を避けた移植方法も検討すべきとした。また、秋季の移植においては夏季のリスクを避けられることから、泥土対策を施せば確実な移植手段になり得ると考えられ、漁獲サイズに至るまでの生残と成長の追跡を必要とした。

1.6 小課題ごとの令和3年度成果と課題

小課題ごとの令和3年度成果と課題を表1に示した。

表1 各小課題における令和3年度成果と課題一覧

小課題	成果	課題
稚貝確保技術の開発	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。	(1) 令和3年4月に採苗で確保できた稚貝の生残、成長の推移の把握 (2) 漁獲実績の提示。
稚貝移植技術の開発	生残率では、泥混じり砂場(離底)と砂場(直置)は有意差が確認されなかったことから同等であるとみなせた。また、成長量では、泥混じり砂場(離底)は砂場(直置)よりも有意に成長量が大きい月もあり、同等以上であるとみなせた。	(1) 秋季に移植したアサリの生残、成長の推移の把握。 (2) B/Cが1.0以上となる移植密度の設定。
離底技術の開発	採苗器および離底器の埋没は、洗堀および漂砂で生じることが示された。また、離底器と底面の間に水流が吹き抜ける構造があることで粒子の堆積を低減できることも示された。	(1) 離底器の設置向きの検証。

1.7 令和3年度成果に対する意見・評価および令和4年度における実施対応

令和3年度成果に対する意見・評価および令和4年度における実施対応を表2に示した。

表2 令和3年度成果に対する意見・評価および令和4年度における実施対応

令和3年度意見・評価	令和4年度における実施対応
個々の漁場は夏季の過酷な環境を回避できれば、砂場を中心に効率的なアサリの生産が可能な地区である事が推定された。このためにも、夏期の過酷な環境をどのように回避するか、例えば夏期の低塩分や高水温などの過酷な環境でも耐性が高いと思われる未成熟の稚貝を中心に試験を実施するなどの工夫も必要と思われる。仮に夏場の生残が悪いとしても、秋以降の移植でどこまで良い成績を示すことができるか、健闘を期待する。	今年度では、昨年度の秋季に長崎県の小長井地先で確保したアサリを実験に用いることで、秋以降の移植の成績を示すとともに、具体的な移植方法および移植のスケジュールを提案することを目指す。
課題担当者自身が述べているように、諸富地先の利用目的は稚貝確保や短期育成などの一部に絞り込むのが、現実的。	短期育成の例として、秋季および春季におけるアサリの移植実験を実施し、それぞれの実験における生残、成長状況を追跡することで、短期育成の有用性を示すことを目標とする。
コンポーズのメンテナンスや埋没防止の手法の改善・確立が望まれる。	今年度においては、海域の主流に対するコンポーズの設置向きに着目し、メンテナンスや埋没防止の手法のさらなる改善を目指す。

1.8 令和4年度の目標、仮説、検証項目

各小課題における令和4年度の目標、仮説、検証項目一覧を表3に示した。

表3 各小課題における令和4年度の目標、仮説、検証項目一覧

小課題	目標	仮説	検証項目
3-1-1 稚貝確保技術の開発	実用的な採苗スケジュールの提案	前年4月に採苗したアサリは、翌年の4月から7月に漁獲サイズまで成長する。	(1) 採苗器中のアサリの個体数、殻長、湿重量
	漁獲実績の明示	前年4月に採苗したアサリの漁獲量は、翌年の4月から7月のうち、大雨のリスクを避けられる6月に漁獲することで最大となる。	(1) 採苗器中の漁獲サイズのアサリの湿重量
3-1-2 稚貝移植技術の開発	実用的な秋季移植のスケジュール提案	前年11月に移植したアサリは、翌年の4月から7月に漁獲サイズまで成長する。	(1) 採苗器中のアサリの個体数、殻長、湿重量
	B/Cが1.0以上となる移植密度の選定	移植時に採苗器へ収容するアサリの密度は、殻長24mmでは200個体/袋とすることでB/Cが1.0以上を超える。	(1) 採苗器中のアサリの個体数、殻長、湿重量
3-1-3 離底技術の開発	離底器の設置向き の選定	離底器は、海域の主流に対して斜めに設置することで、泥土等の埋没を最も低減できる。	(1) 現場の埋没状況 (2) 数値シミュレーション (3) 水槽実験

1.9 技術開発工程

令和4年度中課題の技術開発工程を表4に示した。

表4 技術開発工程

内容		令和4年(2022年)										令和5年(2023年)		
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
小課題														
稚貝確保技術の開発	成長追跡/令和3年から継続	●	●	●	●									
	漁獲実証	●	●	●	●									
稚貝移植技術の開発	成長追跡(秋季移植)/令和3年から継続	●	●	●	●									
	移植密度選定(春季移植)		○	●	●	●	●							
離底技術の開発	現場観察				○	●								
	数値シミュレーション			●	●	●								
	水槽実験							●	●	●				
共通項目調査		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
物理	地盤高測量			●										
	流向, 流速	○												
	波高	○												
水質	水温、塩分	○												
	蛍光強度(Chl-a), 濁度	○												
	Chl-a	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
	D0	○												
底質	粒度組成, 含水率, IL, COD,			●		●		●		●				
	T-S, Chl-a			●		●		●		●				
生物	初期稚貝調査	●	●	●	●			●	●	●	●			
	アサリ生息状況調査		●			●		●		●				

備考: ■ は連続観測機器の設置および回収、ならびに○は採苗器の設置、●は採取および分析を示した。

1.10 使用機器

1.10.1 地盤高調査

令和4年6月にストラクチャスキャンソナーHDS-10（LOWRANCE 社製）を用いて、実験区を含んだ当該海域の地盤高測量を行った。得られた測量データは、解析ソフト ReefMaster PRO（ReefMaster Software 社製）を用いて地盤の等高線を作図した。

1.10.2 物理環境および水質環境調査

流況、波高および水質調査における使用機器と観測時の設定詳細を表5および図4に示す。

令和4年4月から令和5年3月に「砂場」および「泥混じり砂場」で以下の機器を設置し、年間の連続観測を行った。このとき、流速計で測得されたデータは、オープンソースソフトウェアであるTS-editor ver4.21およびTS-master ver6.6を用いて、移流成分と波動成分に分離した。

機器の回収時にバンドーン採水器等により採水し、SS、VSS、クロロフィルaおよびフェオフィチンについて表6の方法で水質分析を行い、蛍光度からクロロフィルaへ数値変換するための検量線を作成した。

表5 環境調査における機器観測のデータ習得条件

項目	製造形式	精度	設定条件		写真
流向・流速	Infinity-EM (JFE アドバン テック社製)	○流速 測定範囲：0～±500cm/s 精度：±1cm/s	バースト時間(分)	60	
			サンプリング間隔(秒)	0.5	
			サンプリング回数(個)	600	
		○方位 測定範囲：0～360° 精度：±2°	設置高	底上10cm	
波高	Compact-WH (JFE アドバン テック社製)	○水圧 測定範囲：0～25m 精度：±0.3%FS	バースト時間(分)	60	
			サンプリング間隔(秒)	0.5	
			サンプリング回数(個)	1200	
			設置高	底上10cm	
水温・塩分	Infinity-CT (JFE アドバン テック社製)	○水温 測定範囲：-3～45℃ 精度：±0.05℃	バースト時間(分)	10	
			サンプリング間隔(秒)	1	
			サンプリング回数(個)	5	
		○電気伝導度 測定範囲：0.5～70mS/cm 精度：±0.05 mS/cm	設置高	底上10cm	
濁度・クロロフィル	Infinity-CLW (JFE アドバン テック社製)	○クロロフィル 測定範囲：0～400ppb 精度：非直線性±1%FS	バースト時間(分)	10	
			サンプリング間隔(秒)	1	
			サンプリング回数(個)	30	
		○濁度 測定範囲：0～1,000FTU 精度：±0.3FTU	設置高	底上20cm	

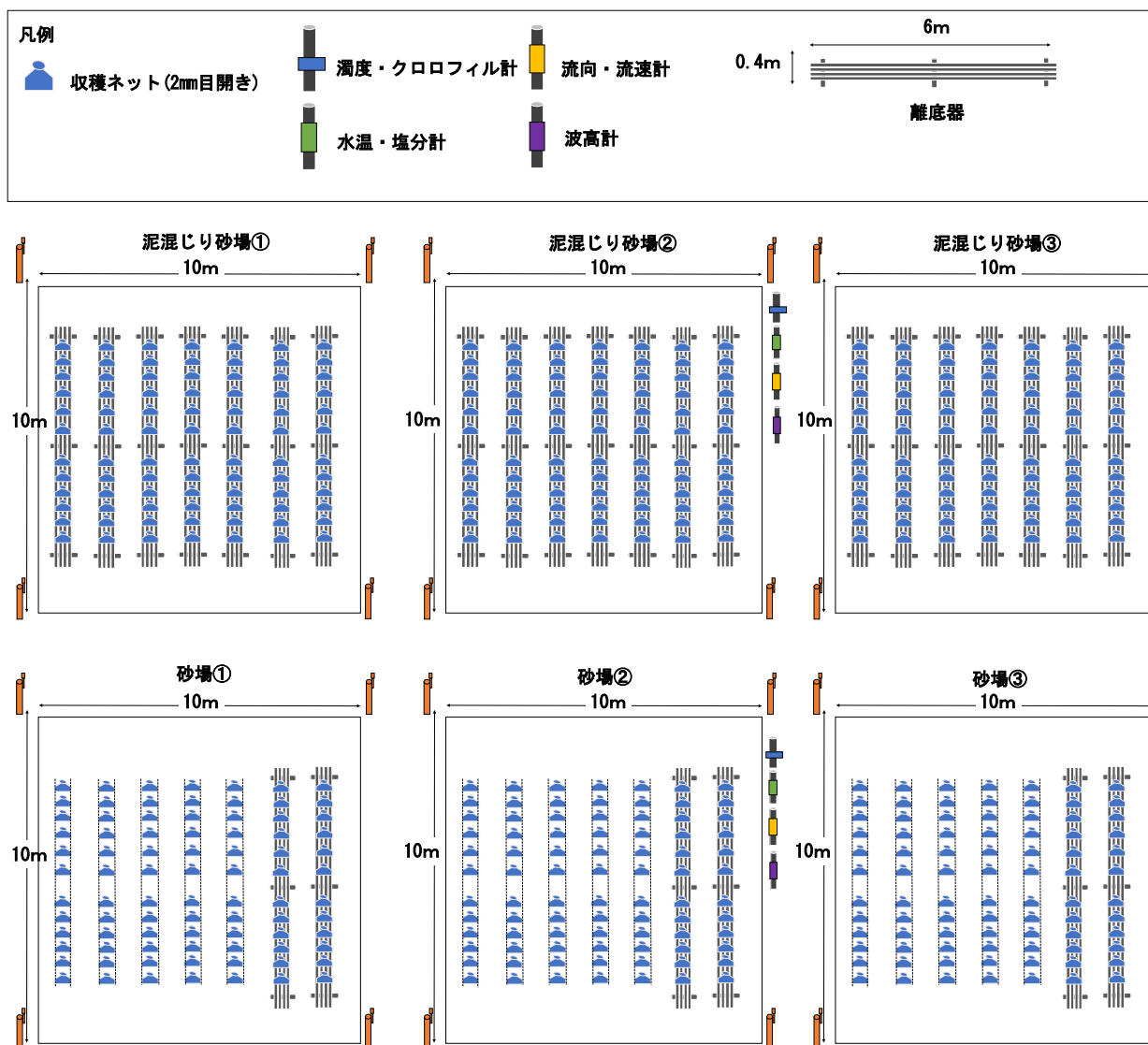


図4 機器の配置

表6 水質分析方法

分析項目	分析方法
SS	JIS K 0102(2008) 14. 1
VSS	JIS K 0102(2008) 14. 5
クロロフィルa	海洋観測指針 (1999) 6. 3 に準拠
フェオフィチン	海洋観測指針 (1999) 6. 3 に準拠

1.10.3 底質・生物調査

1.10.3.1 底質調査

令和4年6月、8月、10月、12月に「砂場」および「泥混じり砂場」の各実験区の3箇所の現地盤で採泥し、分析室に運搬後、粒度組成、強熱減量、硫化物、COD、含水率、クロロフィルaおよびフェオフィチンを表7に従って測定した。なお、採泥方法は、粒度では10cm 方形枠、その他では内径50mmのコアを表層2cm貫入させて採取した試料を分析に供した。

表7 底質分析方法

分析項目	分析方法
粒度組成	JIS A 1204 (2009)
強熱減量	底質調査方法 (H24 環水大水発第 120725002 号) II. 4. 2
硫化物	底質調査方法 (H24 環水大水発第 120725002 号) II. 4. 6
COD	底質調査方法 (H24 環水大水発第 120725002 号) II. 4. 7
含水率	底質調査方法 (H24 環水大水発第 120725002 号) II. 4. 1
クロロフィルa	海洋観測指針 (1999) 6.3 に準拠

1.10.3.2 初期稚貝調査（初期稚貝・稚貝）

令和4年4月、5月、6月、7月、10月、11月、12月および令和5年1月に、各実験区の3箇所の現地盤で内径50mmのコアを深さ10mm以上貫入させて採取し、ホルマリンで固定したものを分析に供した。分析では、試料中の初期稚貝を抽出後、その個体数および個体ごとの殻長を測定した。

1.10.3.3 生物調査（稚貝・成貝）

令和4年5月、8月、10月、12月に、各実験区の3箇所の現地盤から20cm 方形枠（深さ10cm）で採泥し、1mm 目の篩に残ったアサリの個体数および個体ごとの殻長の測定した。なお、殻長が25mmを超えた成貝は、殻高、殻幅および軟体部重量も測定した。

2 環境調査結果

2.1 地盤高調査

地盤測量の結果を図5に示した。

海苔養殖区画である1022号において、本実験区の地盤高は、「泥混じり砂場」付近でC.D.L+0.7m前後であった。また、「泥混じり砂場」付近から南に向かって地盤高は高くなり、「砂場」付近では、地盤高がC.D.L+0.9m前後であった。

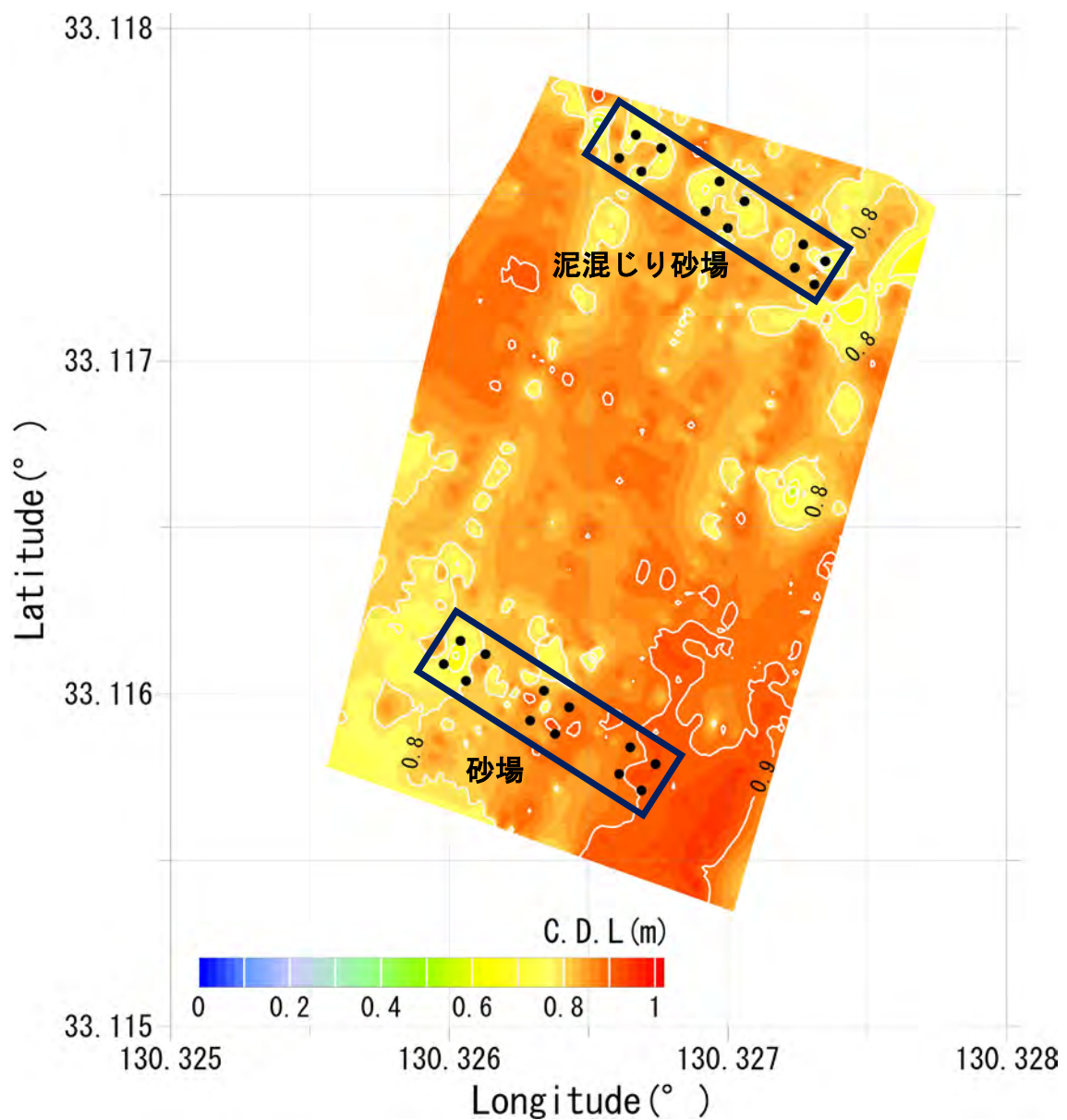


図5 実験区の位置と地盤高

2.2 流況、波高および水質調査

2.2.1 物理観測（夏季）

2.2.1.1 泥混じり砂場

「泥混じり砂場」における夏季の物理環境の観測結果を図6、図7および図8に示した。

観測期間中の1/3波高の値は0.1～28.7cm、波動流速振幅の値は1.3～22.9cm/s、流れによる底面せん断応力 τ_c の値は0.001未満～0.232N/m²、波浪による底面せん断応力 $\tau_{w1/3}$ の値は0.003～0.412N/m²、両者を合成した底面せん断応力 $\tau_c + \tau_{w1/3}$ の値は0.006～0.412N/m²の範囲を示した。

τ_c および $\tau_{w1/3}$ の値は、観測期間中の多くの期間で、殻長1mmアサリの移動限界0.035N/m²および底質(基質)の移動限界0.157N/m²を超え、特に令和4年7月18日、21日および令和4年8月2日～8月8日の間でそれらを超えていた。

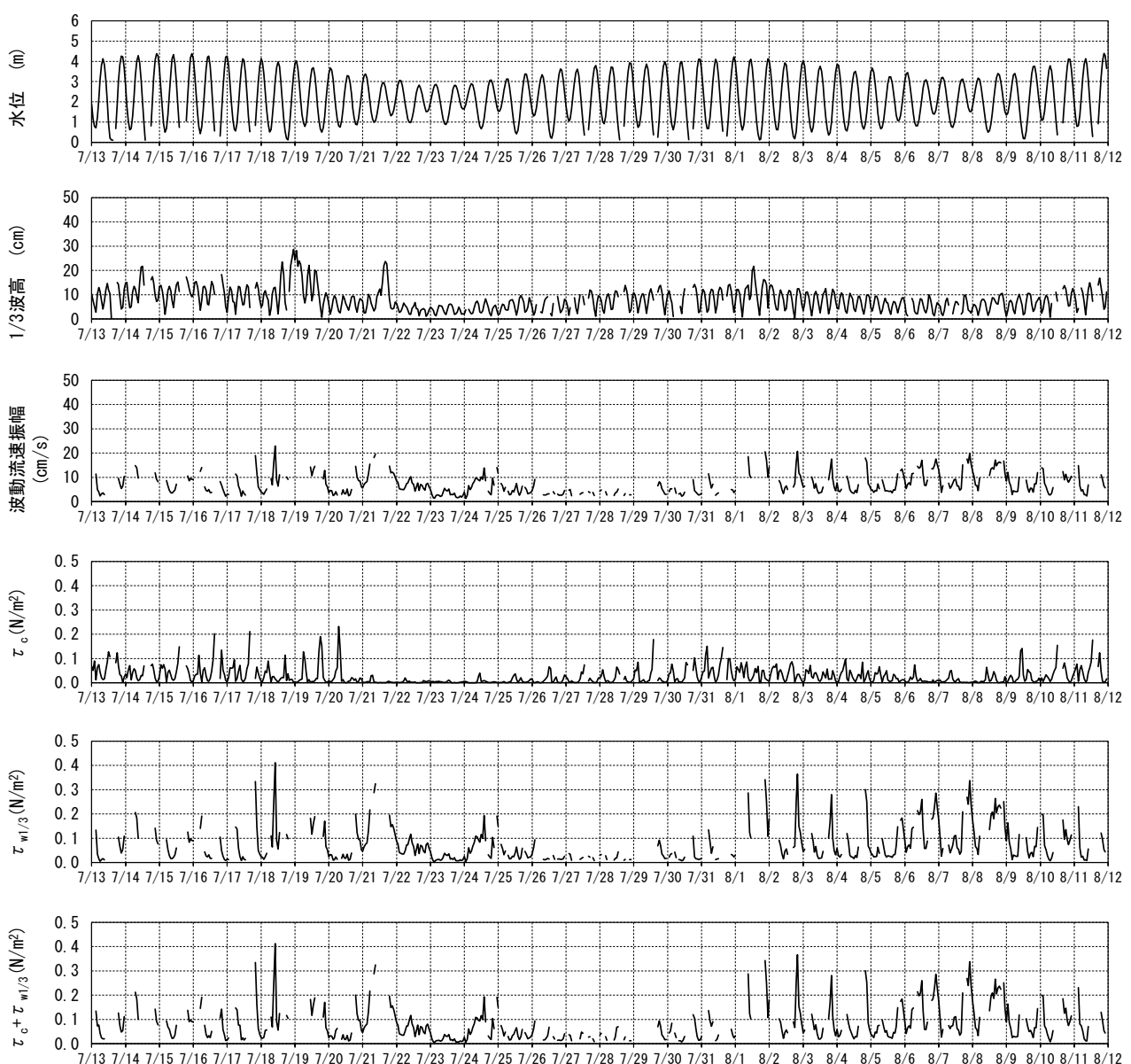


図6 泥混じり砂場における物理環境の連続観測結果(令和4年7月13日～令和4年8月12日)

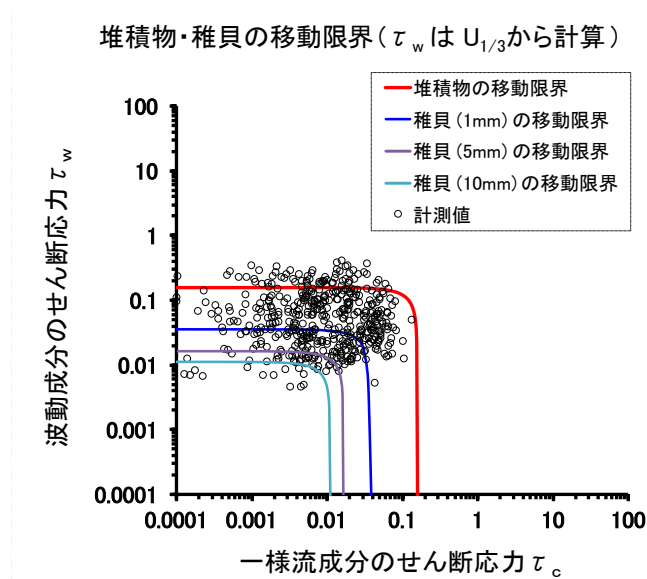


図7 泥混じり砂場における堆積物・稚貝の移動限界 (令和4年7月13日～令和4年8月12日)

条件設定: 海水密度 1.025g/cm³; 底質の中央粒径 0.180mm; 底質の密度 2.693g/cm³;

稚貝 (1mm, 5mm, 10mm) の密度 1500kg/m³

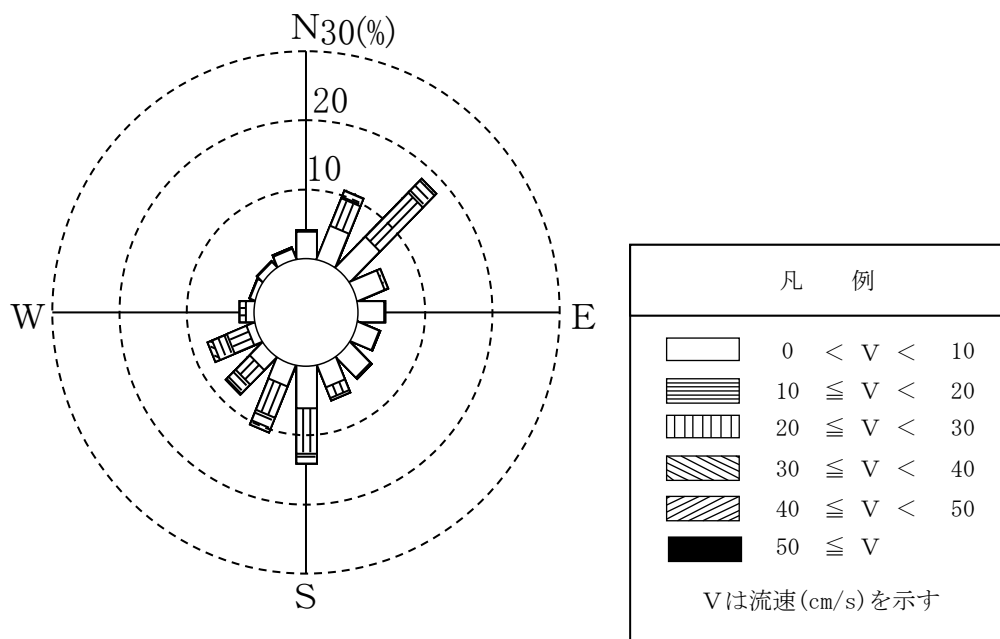


図8 泥混じり砂場における流向・流速 (令和4年7月13日～令和4年8月12日)

2.2.1.2 砂場

「砂場」における夏季の物理環境の観測結果を図9、図10および図11に示した。

観測期間中の1/3波高の値は0.3～30.3cm、波動流速振幅の値は1.3～26.9cm/s、流れによる底面せん断応力 τ_c の値は0.001未満～0.276N/m²、波浪による底面せん断応力 $\tau_{w1/3}$ の値は0.004～0.553N/m²、両者を合成した底面せん断応力 $\tau_c + \tau_{w1/3}$ の値は0.007～0.553N/m²の範囲を示した。

τ_c および $\tau_{w1/3}$ の値は、観測期間中の多くの期間で、殻長1mmアサリの移動限界0.045N/m²および底質(基質)の移動限界0.174N/m²を超え、特に令和4年7月18日、21日および令和4年8月2日～8月8日の間でそれらを超えていた。

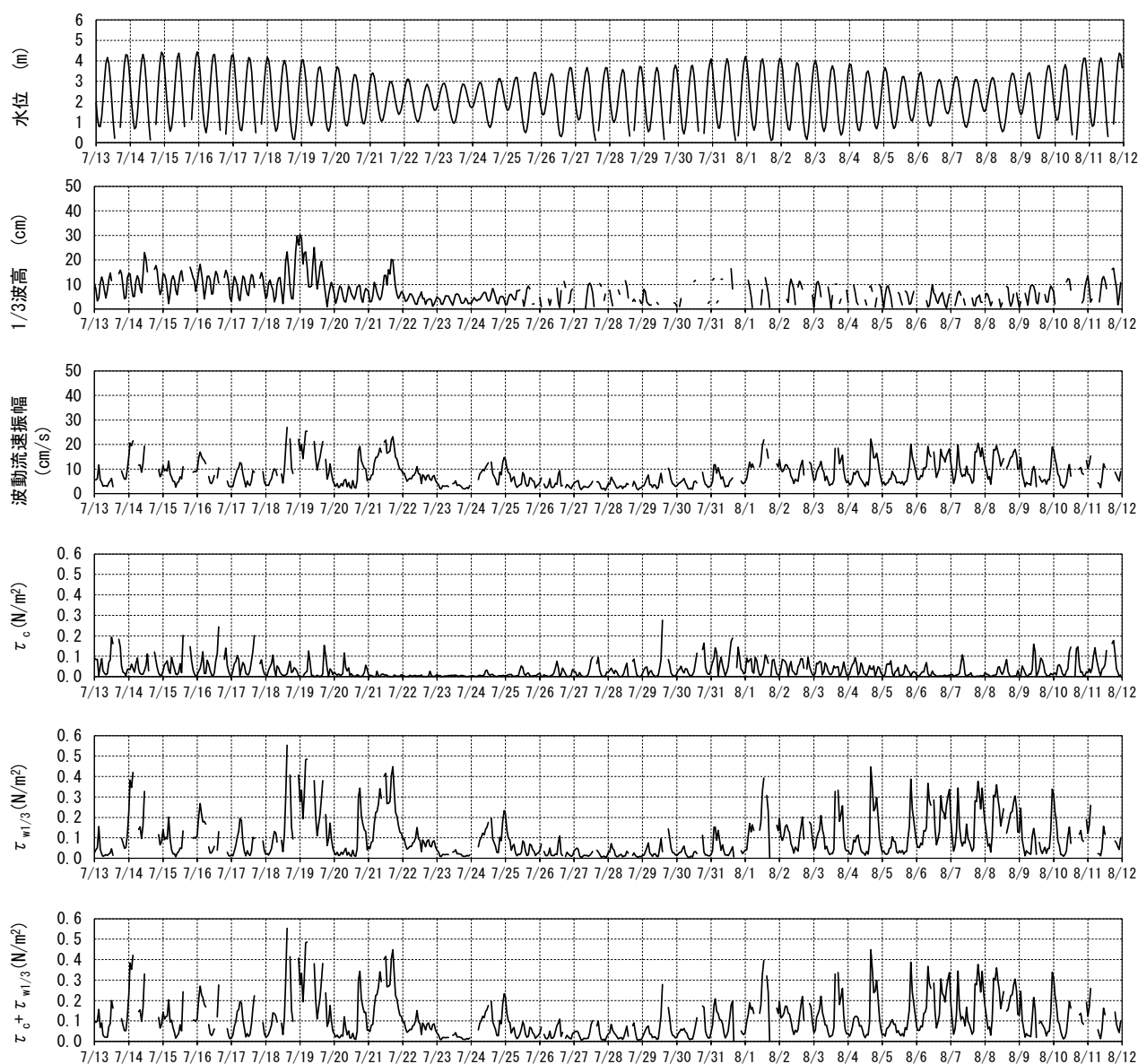


図9 砂場における物理環境の連続観測結果(令和4年7月13日～令和4年8月12日)

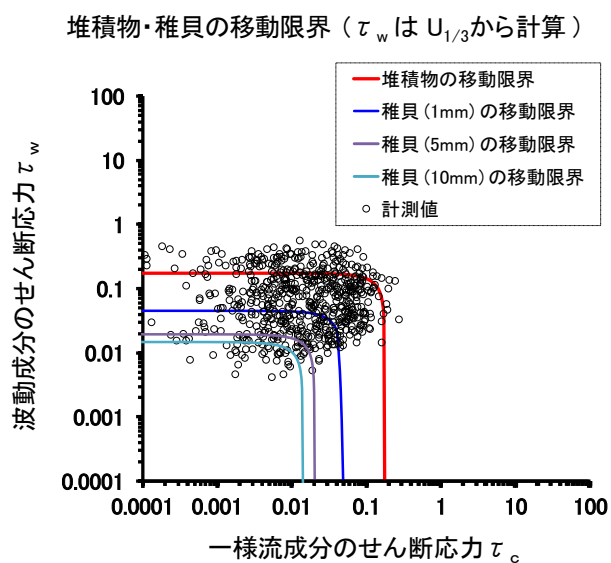


図 10 砂場における堆積物・稚貝の移動限界 (令和 4 年 7 月 13 日～令和 4 年 8 月 12 日)

条件設定: 海水密度 1.025g/cm³; 底質の中央粒径 0.237mm; 底質の密度 2,699g/cm³;

稚貝 (1mm, 5mm, 10mm) の密度 1500kg/m³

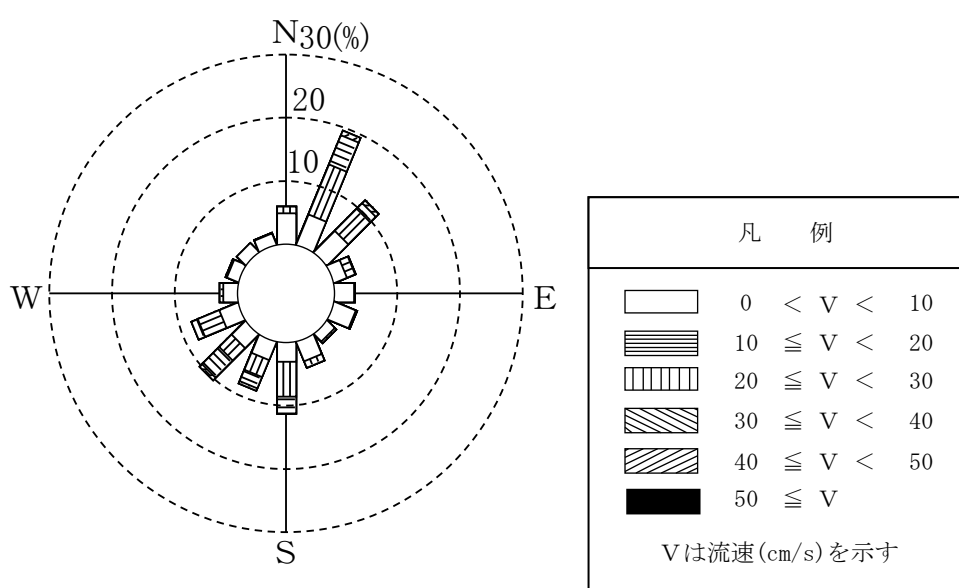


図 11 砂場における流向・流速 (令和 4 年 7 月 13 日～令和 4 年 8 月 12 日)

2.2.2 物理観測（冬季）

2.2.2.1 泥混じり砂場

「泥混じり砂場」における冬季の物理環境の観測結果を図 12、図 13 および図 14 に示した。

観測期間中の 1/3 波高の値は 0.2～41.1cm、1/3 波動流速振幅の値は 0.7～16.3cm/s、流れによる底面せん断応力 τ_c の値は 0.001 未満～0.225N/m²、波浪による底面せん断応力 $\tau_{w1/3}$ の値は 0.001 未満～0.225 N/m²、両者を合成した底面せん断応力 $\tau_c + \tau_{w1/3}$ の値は 0.002～0.305N/m²の範囲を示した。

τ_c および $\tau_{w1/3}$ の値は、殻長 1mm アサリの移動限界 0.032N/m²、底質（基質）の移動限界 0.156N/m² 示し、計測値が堆積物の移動限界の範囲に収まっているものの、多くの期間でアサリの移動限界を超えていた。

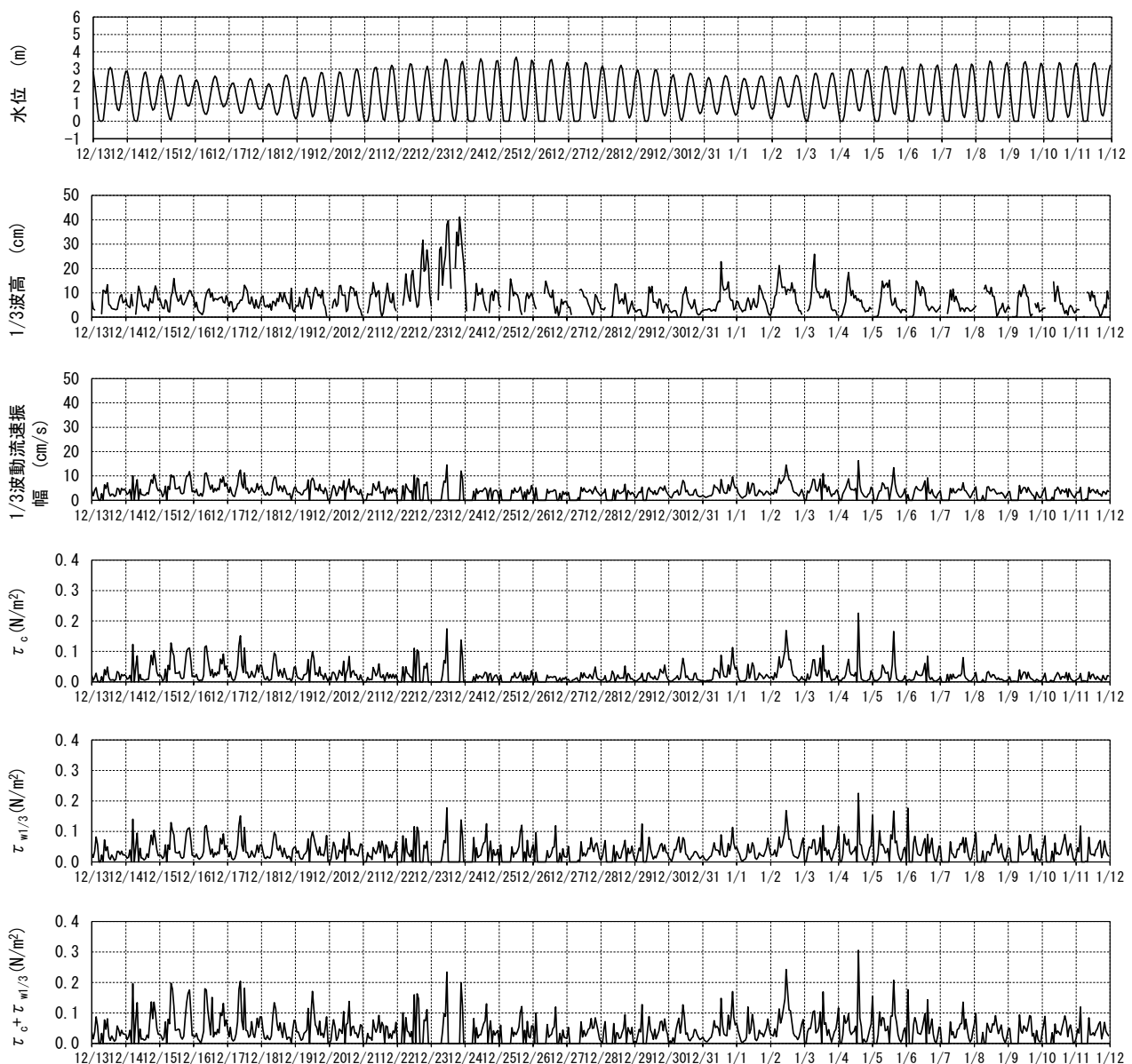


図 12 泥混じり砂場における物理環境の連続観測結果（令和 4 年 12 月 13 日～令和 5 年 1 月 12 日）

堆積物・稚貝の移動限界 (τ_w は $U_{1/3}$ から計算)

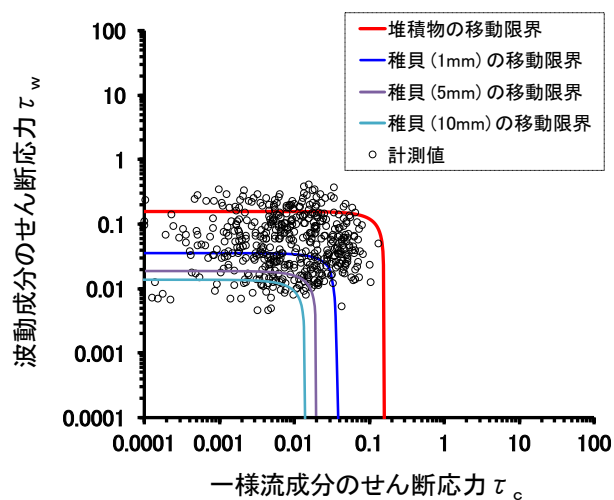


図 13 泥混じり砂場における堆積物・稚貝の移動限界 (令和 4 年 12 月 13 日～令和 5 年 1 月 12 日)

条件設定 : 海水密度 1.025g/cm³; 底質の中央粒径 0.148mm; 底質の密度 2.701g/cm³;

稚貝(1mm, 5mm, 10mm) の密度 1500kg/m³

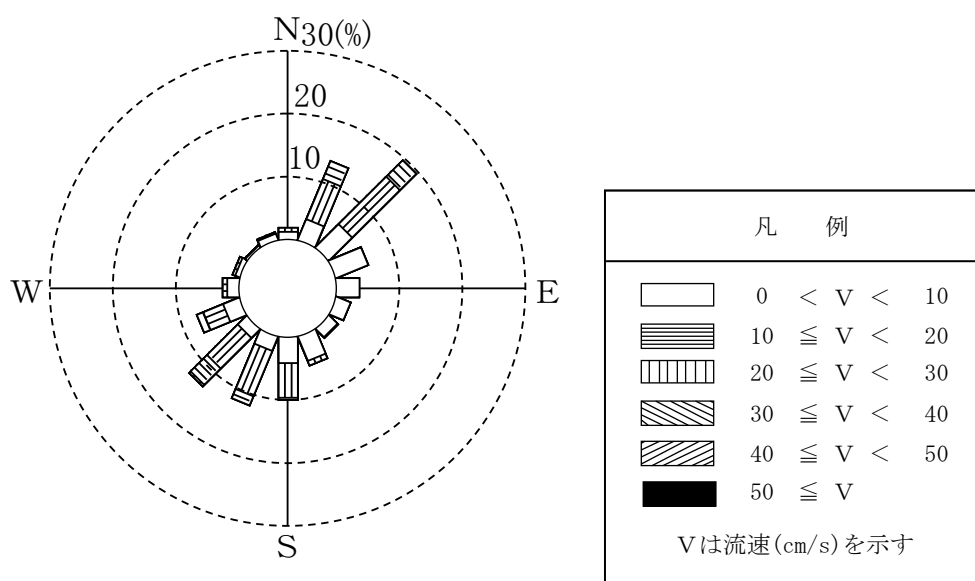


図 14 泥混じり砂場における流向・流速 (令和 4 年 12 月 13 日～令和 5 年 1 月 11 日)

2.2.2.2 砂場

「砂場」における冬季の物理観測結果を図 15、図 16 および図 17 に示した。

観測期間中の 1/3 波高の値は 0.1～38.5cm、1/3 波動流速振幅の値は 0.5～17.5cm/s、流れによる底面せん断応力 τ_c の値は 0.001 未満～0.283N/m²、波浪による底面せん断応力 $\tau_{w1/3}$ の値は 0.001～0.256 N/m²、両者を合成した底面せん断応力 $\tau_c + \tau_{w1/3}$ の値は 0.001～0.258N/m²の範囲を示した。

τ_c および $\tau_{w1/3}$ の値は、殻長 1mm アサリの移動限界 0.011N/m²、底質(基質)の移動限界 0.157N/m² 示し、計測値が堆積物の移動限界の範囲内に収まっているものの、多くの期間でアサリの移動限界を超えていた。

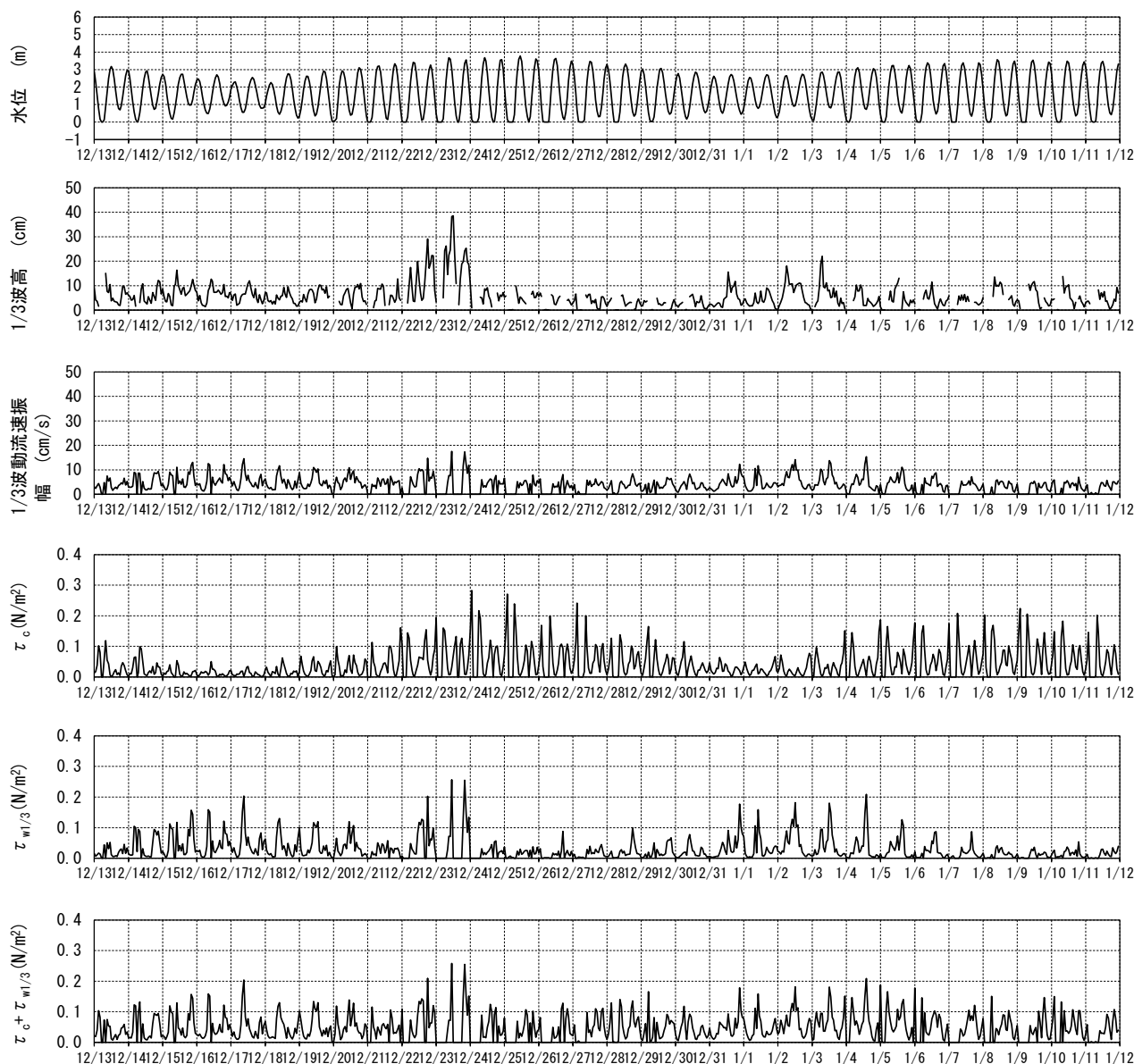


図 15 砂場における物理環境の連続観測結果(令和4年12月13日～令和5年1月12日)