

VI. 大課題 4 二枚貝等による貧酸素水塊軽減等の漁場への影
響評価

/佐賀県鹿島市地先

目次

1. 技術開発の概要	349
1.1 背景と目的	349
1.2 実施場所	350
1.3 5か年の目標	351
1.4 技術開発ロードマップ	352
1.5 今年度の実施概要および目標	353
1.6 技術開発工程	354
1.7 使用機器	355
2. カキ礁造成方法の開発	356
2.1 カキ礁造成方法の開発(着生材によるカキ礁造成技術)	356
2.1.1 方法	356
2.1.2 結果	359
2.1.3 考察	365
2.2 カキ礁造成方法の開発(カキ礁造成効果の評価)	370
2.2.1 方法	370
2.2.2 結果	371
2.2.3 考察	373
2.3 カキ礁造成方法の開発(環境調査等)	374
2.3.1 方法	374
2.3.2 結果	376
2.3.3 考察	379
3. カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証	381
3.1 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証	381
3.1.1 方法	381
3.1.2 結果	387
3.1.3 考察	390
4. 中課題としての成果と課題	392
4.1 目標の達成状況について	392
4.2 今年度の成果と今後の課題	394
参考文献	395
電子格納データ	396

VII-2. 中課題4-1 二枚貝等による貧酸素水塊等の漁場への影響評価

1. 技術開発の概要

1.1 背景と目的

有明海湾奥に位置する佐賀県鹿島市地先では、以前からカキ礁が存在し、明治半ばから昭和30年頃に行われていたカキ養殖のため、漁業者によって造成された「カキ床」がその起源とされている¹⁾。

カキ礁を構成するカキは、二枚貝の中でも濾水量が比較的大きく、植物プランクトン等の有機物を大量に摂取することから、海域の水質浄化機能が特に期待されている²⁾。また、カキ礁は有機物除去機能を有するほか、カキ以外の底生生物や魚類の生産力を増加させる効果や生物多様性の保全機能も合わせ持っていることから³⁾、長い間重要な水産資源として利用されており、有明海の水質浄化等に重要な役割を果たしてきたと考えられる。

しかし、戦後の1950年(昭和25年)以降、カキ垂下養殖技術の発展とともにカキ礁の利用が減少し、これと併せて赤潮や貧酸素水塊の発生が要因と考えられる漁業被害が報告されるようになった⁴⁾。佐賀県有明海域では、以前より地撒養殖漁業としてカキ礁が造成され、1977年(昭和52年)には546haのカキ礁が分布していたとされる³⁾。その後、ノリ養殖漁業振興等のため、特に、東部から中部海域にかけて多くのカキ礁が除去され、現在では、西部海域、筑後川河口域、および六角川河口域に限られており、その面積は161haに減少しているとされる³⁾。佐賀県有明海域のカキ生産量⁵⁾は、図1に示すとおりであり、1921年(大正10年)の約30,000t(養殖、天然が半数程度)を超える生産量をピークとして、その後は大幅に減少している状況にある。これらの減少したカキ礁を回復させることは、有明海湾奥部や諫早湾における貧酸素水塊の影響緩和につながるとともに、二枚貝類等の水産有用種の漁獲量向上が期待されると考えられる。

そこで、本技術開発では、有明海湾奥部での貧酸素水塊の発達を減少させるためのカキ礁造成に向けて、平成30年度から令和4年度にかけた実施された「有明海のアサリ等の生産性向上実証事業(以下、過年度事業と表記)」で実証した金網ロール式着生材を用いて、着生材の設置からカキ礁造成までの一連の方法を明示し、造成場所の環境に応じた具体的なカキ礁造成方法の開発を目的とした。また、着生材により造成したカキ礁の貧酸素水塊の軽減効果の把握に向けて、過年度事業で構築した物質循環モデルを用いて現状のカキ礁条件における貧酸素水塊の軽減効果の把握を目的とした。

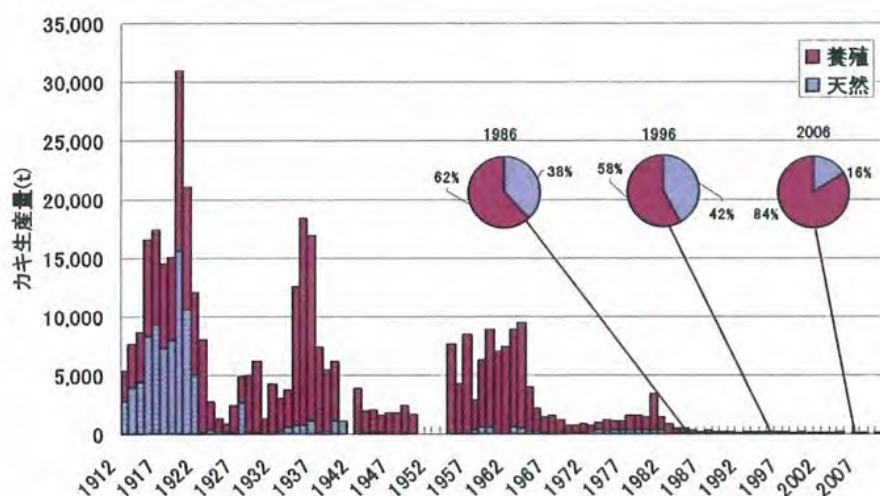


図1 佐賀県海域カキ生産量⁵⁾

1.2 実施場所

実施場所は、図 2 に示すとおりであり、実験区周辺の状況は、図 3 に示すとおりである。

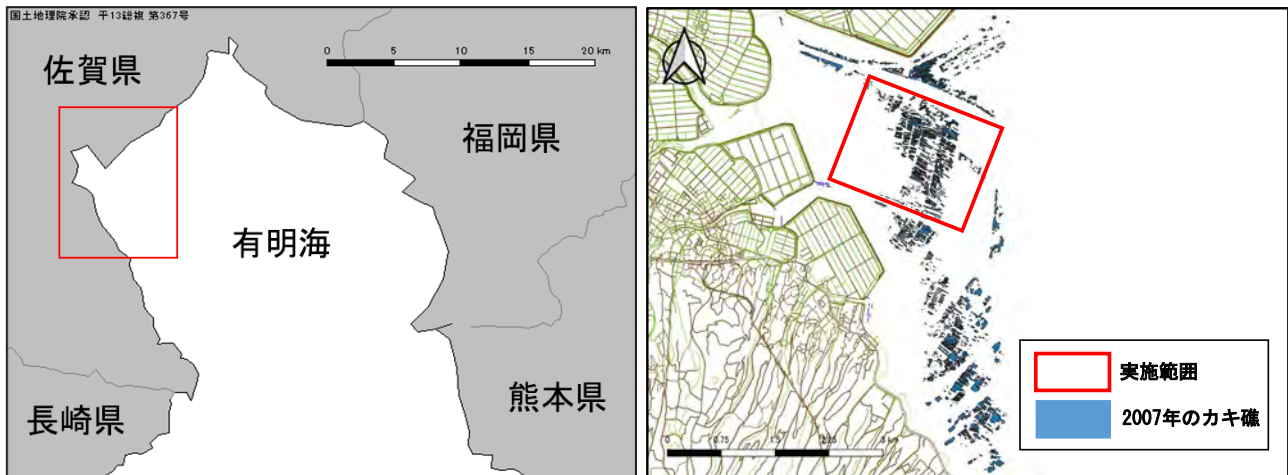


図 2 実施場所



図 3 実験区周辺の状況（佐賀県鹿島市沖の既存力キ礁）

1.3 5か年の目標

(1) カキ礁造成方法の開発

過年度事業では、経年的な現地測量とバイオマス調査により、理想的とされる浜川河口の既存カキ礁の平均的な形状（高さ、幅）とカキバイオマスを把握してきた。その結果、図4に示すとおり、浜川河口の既存カキ礁は、畝状で離散型（以降、畝上離散型と表記）の形状を成し、カキバイオマスは概ね $15\sim 20\text{kg}/\text{m}^2$ であることが把握できている。また、このような既存カキ礁の近傍には、「泥場」や「カキ殻混じり泥場」の底質パターンに区分される環境が存在し、既存カキ礁と比較すると、地盤高は低く、カキバイオマスも低い値であることが考えられる。したがって、当該海域でのカキ礁造成に向けては、「泥場」や「カキ殻混じり泥場」等の底質パターンに応じたカキ礁造成方法を開発するとともに、造成するカキ礁の評価軸は「カキ礁の形状、高さ」と「カキバイオマス」の観点から評価する必要があると考えられる。そこで、本技術開発では、過年度事業でカキの着生効果が認められた金網ロール式着生材を浜川河口のカキ礁に隣接する「泥場」と「カキ殻混じり泥場」に設置し、カキ礁の切れ目や欠損箇所の増幅・延長を目的としたカキ礁造成技術の開発および、漁業者への技術移転と普及を目的とした「着生材の設置からカキ礁造成までの作業手引き」の作成を5か年の目標として設定した。

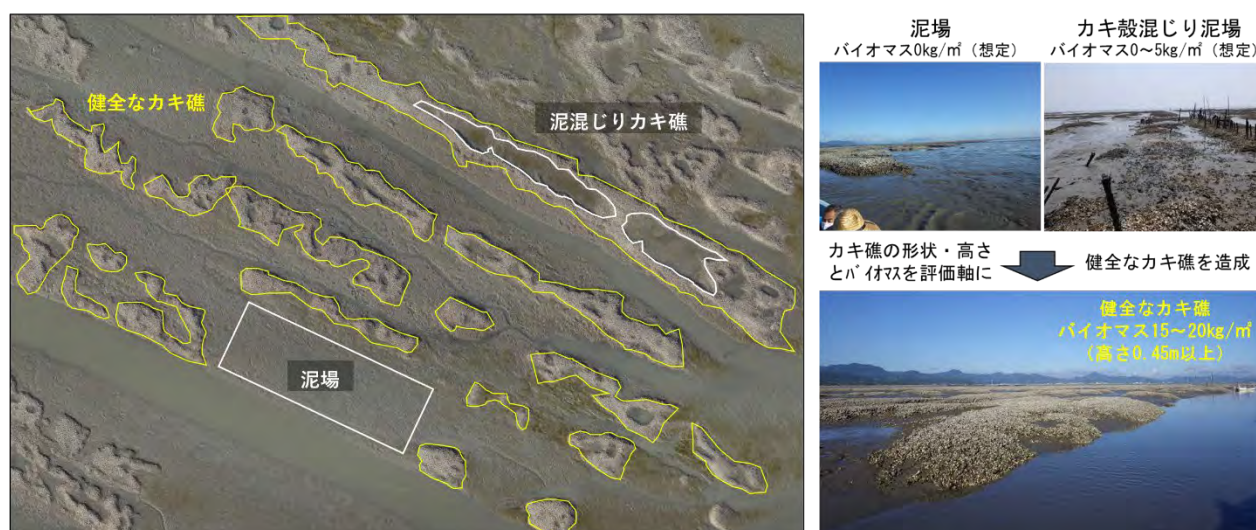


図4 浜川河口の畝上離散型カキ礁の底質パターンとカキバイオマス

(2) カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証

過年度事業では、カキによる植物プランクトン等の有機物の摂餌効果を考慮した物質循環モデルを設定し、カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果を推測してきた。その結果、当該海域のカキ礁造成可能範囲にカキ礁を造成した場合の貧酸素水塊の軽減効果の程度を把握し、2007年のカキ礁の分布条件に比べて貧酸素水塊の軽減効果の向上を予測した。また、カキ礁造成における作業性と貧酸素水塊の軽減効果の両観点から、優先してカキ礁を造成するエリアを推測した。一方で、過年度の貧酸素水塊の軽減効果予測では、当該海域のカキのバイオマス条件を全域一様に設定して計算を行っており、予測精度の向上に向けては、造成エリアごとのカキのバイオマス条件を変更した解析が必要であると考えられる。そこで、本技術開発では、当該海域のカキのバイオマス条件をカキ礁の造成エリアごとに変更し、より現地の実態に即した貧酸素水塊の軽減効果の把握を目標として設定した。

1.4 技術開発ロードマップ

本技術開発のロードマップは、図 5 に示すとおりである。5 か年の目標である「造成場所の底質パターンに応じた効率的なカキ礁の造成方法の開発」に向けて、令和 5 年度から令和 9 年度までのロードマップを設定した。小課題「カキ礁造成方法の開発」では、着生材を用いたカキ礁造成までの一連の技術を開発するとともに、カキ礁としての造成過程および造成後のカキバイオマスとカキ礁の形状や高さを評価する。小課題「カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証」では、当該海域のカキ礁造成可能範囲の各エリアに対応するカキバイオマスを設定し、物質循環モデルを用いて貧酸素水塊の軽減効果を予測する。それらの成果をもとに、令和 8～9 年度では、着生材の作成からカキ礁造成までの作業手引きを完成させる。

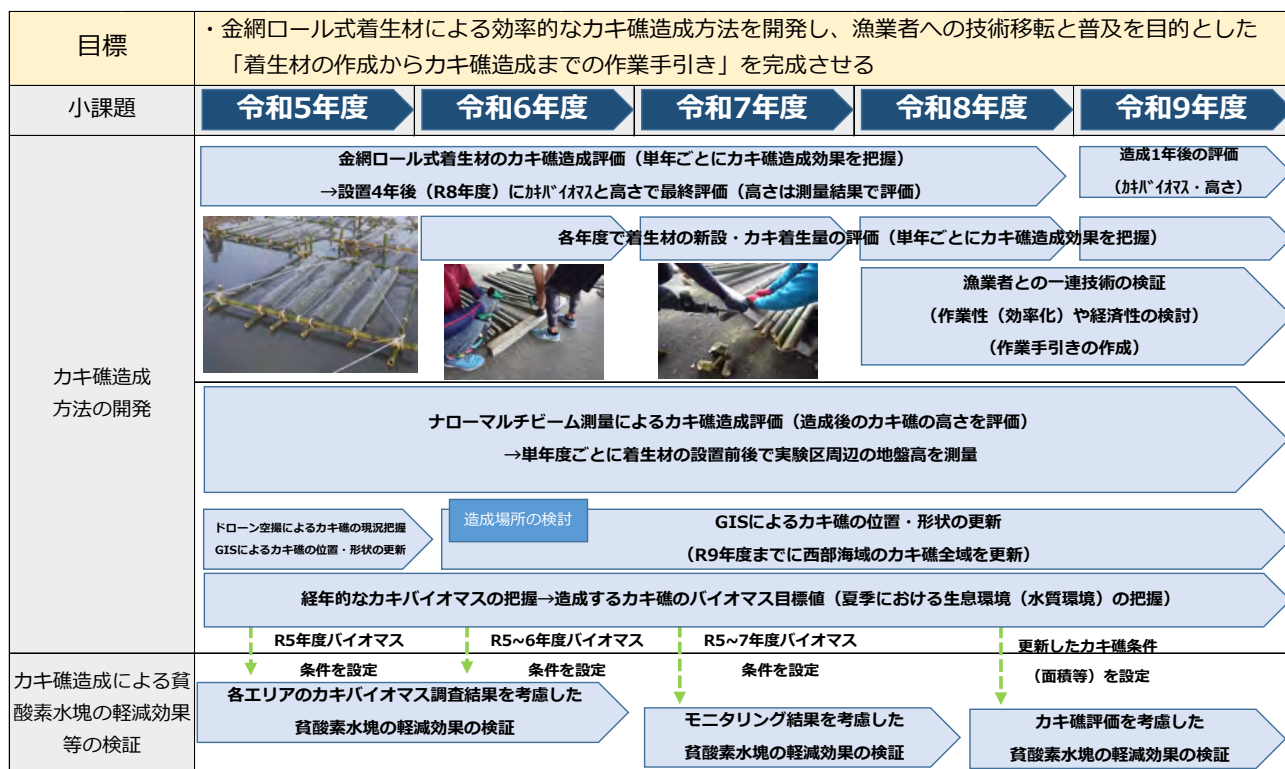


図 5 技術開発ロードマップ

1.5 今年度の実施概要および目標

過年度事業では、既存カキ礁のカキバイオマス（20 kg/m²）と同程度のカキが着生し、作業性と経済性の観点からも効果的な金網ロール式着生材を開発した。そこで、今年度の技術開発では、浜川河口の「泥場」と「カキ殻混じり泥場」の底質パターンごとに設置した金網ロール式着生材によるカキ礁造成までの一連の技術を開発するとともに、当該海域のカキ礁造成可能範囲の各エリアに対応するカキバイオマスを設定し、物質循環モデルを用いて、より実態に即した貧酸素水塊の軽減効果を予測した。

今年度は、「小課題 4-1 カキ礁造成方法の開発」と「小課題 4-2 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証」の2つの小課題を設定した。「小課題 4-1 カキ礁造成方法の開発」では、過年度事業でカキの着生効果が認められた金網ロール式着生材によるカキ礁造成技術の開発、着生材によるカキ礁造成効果を把握するためのナローマルチビーム測量によるカキ礁造成効果の評価、当該海域のカキ礁の位置や形状の更新、底質パターンごとのバイオマスの把握に向けた検証等を行った。「小課題 4-2 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証」では、当該海域の貧酸素水塊の軽減効果の予測として、既存カキ礁のエリアごとのバイオマスを見直した貧酸素水塊軽減効果を検討した。小課題ごとの今年度の目標は、表 1 のとおりである。

表 1 今年度の小課題ごとの目標

小課題		目標
4-1 カ キ 礁 造 成 方 法 の 開 発	【着生材によるカキ礁造成技術】 (1) 令和 4 年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング (2) 令和 5 年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング (3) カキ殻散布によるカキ礁造成手法の検討	(1) 金網ロール式着生材設置 2 年目の着生量の把握 (2) 泥場とカキ殻混じり泥場に設置した金網ロール式着生材の設置 1 年目の着生量の把握 (3) カキ殻散布後の残存の程度やカキ殻へのカキ着生量の把握
	【カキ礁造成効果の評価】 (1) ナローマルチビーム測量によるカキ礁造成効果の評価	(1) カキ礁造成の評価として、金網ロール式着生材を設置したことによる地盤高の経年的な変化の把握（造成したカキ礁の形状や高さの把握） →令和5年度は着生材設置前の現地盤の高さの把握の位置づけ
	【環境調査等】 (1) ドローン空撮によるカキ礁の位置・形状の更新 (2) 底質パターンごとのバイオマス調査	(1) ドローンによる空撮画像からカキ礁の位置や形状を GIS 上で更新 (2) 今年度の底質パターンごとのカキおよびその他生物のバイオマスの把握、夏季の水質環境（水温、塩分、D0）の把握
4-2 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証		当該海域（西部海域）のカキ礁をエリアごとに区分し、各エリアのバイオマス調査結果を考慮した貧酸素水塊の軽減効果を明らかにする。

1.6 技術開発工程

今年度の技術開発工程は、表6のとおりである。

表6 技術開発工程

内容	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
技術検討・評価委員会			○					○				○
地区協議会		○					○				○	
事前調査・現地調整・手続き												
小課題 4-1												
4-1-1 カキ礁造成方法の開発（着生材によるカキ礁造成技術） (1) 令和4年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング			○		○		○					
4-1-1 カキ礁造成方法の開発（着生材によるカキ礁造成技術） (2) 令和5年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング		○	○		○		○		○			
4-1-1 カキ礁造成方法の開発（着生材によるカキ礁造成技術） (3) カキ殻散布によるカキ礁造成手法の検討		○	○		○							
4-1-2 カキ礁造成方法の開発（カキ礁造成効果の評価）		○	○									
4-1-3 カキ礁造成方法の開発（環境調査等） (1) ドローン空撮によるカキ礁の位置・形状の更新			○									
4-1-3 カキ礁造成方法の開発（環境調査等） (2) 底質パターンごとのバイオマス調査					○		○					
小課題 4-2												
4-2-1 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証												
報告書作成												

※4-1-2 ナローマルチビーム測深器による測量は5～6月に実施、取得データの解析は7～11つきに実施

※4-1-3(1) ドローンによる空撮は7月に実施、取得データの解析は7～11月に実施

※4-1-3(2) 底質パターンごとのバイオマス調査は8月/10月に実施、水質連続観測は6～9月で実施

○ 計画
● 実績

1.7 使用機器

本中課題における使用機器は、表7のとおりである。

表7 使用機器

使用機器	
	【Sonic2022】 製造会社：sonic 社製 周波数：170kHz～450kHz 測深方式：ED/EA（等距離/等角度モード） 最大測深震度：約 450m ※カキ礁造成方法の開発（小課題 4-1-2）で使用
	【Phantom 4-PRO】 製造会社：DJI 社製 最大上昇速度：6m/s (Sモード) 最大下降速度：4m/s (Sモード) 最大速度：72km/h (Sモード) ※カキ礁造成方法の開発（小課題 4-1-3(1)）で使用
	【ワイパー式メモリー水温・塩分計】 製造会社：JFE アドバンテック社製 観測インターバル：0.5 秒 観測モード：バーストモード バースト時間：10 分 サンプル数：10（1 バーストごとに 5 秒間、データを取得） ※カキ礁造成方法の開発（小課題 4-1-3(2)）で使用
	【ワイパー式メモリーDO計】 製造会社：JFE アドバンテック社製 観測インターバル：0.5 秒 観測モード：バーストモード バースト時間：10 分 サンプル数：10（1 バーストごとに 5 秒間、データを取得） ※カキ礁造成方法の開発（小課題 4-1-3(2)）で使用

2. カキ礁造成方法の開発

本小課題では、「2.1 カキ礁造成方法の開発（着生材によるカキ礁造成技術）」、「2.2 カキ礁造成方法の開発（カキ礁造成効果の評価）」および「2.3 カキ礁造成方法の開発（環境調査等）」を実施した。

2.1 カキ礁造成方法の開発（着生材によるカキ礁造成技術）

過年度事業では、金網ロール式着生材の設置1年目のカキ着生量を確認し、設定した目標値（0.06 kg/m²）を十分に上回ることを把握した。また、耐久性やコスト面においても実用的と判断されたことから、カキ礁造成に向けた金網ロール式着生材の製作から設置までの作業手順を示した作業手引きを作成した。それらを踏まえ、今年度は金網ロール式着生材の設置2年目のカキ着生量を継続して確認するとともに、実験区周辺の底質パターンごとに新たに設置した金網ロール式着生材の設置1年目のカキ着生量を確認した。また、着生材によるカキ礁造成までの具体手法として、着生材下部へのカキ殻散布によるカキ礁造成の効果を確認した。

2.1.1 方法

(1) 令和4年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング

本小課題では、令和4年6月に浜川河口の既存カキ礁近傍に設置した金網ロール式着生材の設置2年目のカキ着生量を把握するために、着生材のカキおよびその他生物の着生量モニタリングを実施した。実施方法は、金網ロール式着生材の金網部を10 cm×10 cmの範囲で切り取り、付着生物を採取した。採取した試料は持ち帰り、目合1 mmの篩上に残存したカキおよびその他生物について、生物種、個体数、湿重量、殻高（ランダムに選出した50個体）を計測した。実施時期は、令和5年6月、8月、10月の3回とした。本小課題の概要は、図6に示すとおりである。



図6 令和4年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリングの概要

(2) 令和5年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング

本小課題では、令和5年6月に浜川河口の既存カキ礁近傍の底質パターンごとに設置した金網ロール式着生材の設置1年目のカキ着生量を把握するために、着生材のカキおよびその他生物の着生量モニタリングを実施した。実験区周辺の底質パターンは、「既存カキ礁」、「泥場」、「カキ殻混じり泥場」の3パターンに大きく区分できることから、「泥場」と「カキ殻混じり泥場」に金網ロール式着生材を3基ずつ設置し、着生量のモニタリングを行った。実施方法は、金網ロール式着生材の金網部を10 cm×10 cmの範囲で切り取り、付着生物を採取した。採取した試料は持ち帰り、目合1 mmの篩上に残存したカキおよびその他生物について、生物種、個体数、湿重量、殻高（ランダムに選出した50個体）を計測した。実施時期は、令和5年8月、10月、12月の3回とした。本小課題の概要は、図7に示すとおりである。

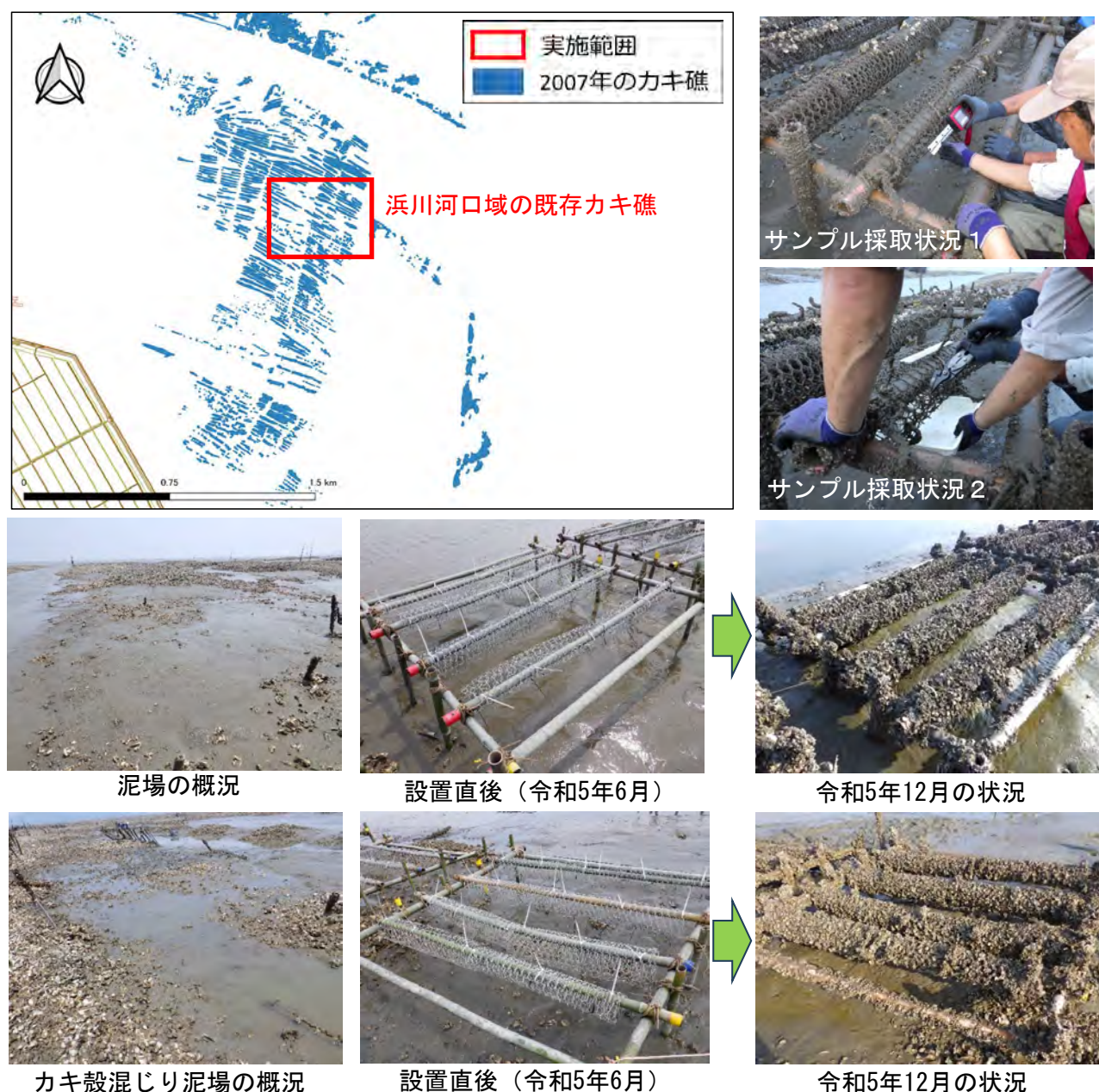


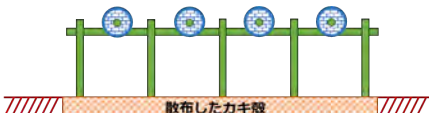
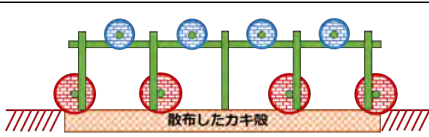
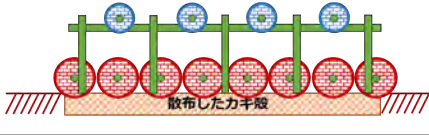
図7 令和5年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリングの概要

(3) カキ殻散布によるカキ礁造成手法の検討

金網ロール式着生材によるカキ礁造成までの展望および本小課題の概要は、図 8 に示すとおりである。過年度事業では、金網に着生したカキを人為的に叩き落とし、叩き落したカキが堆積し成長することでカキ礁を造成する手法を検討していたものの、叩き落したカキの流出が懸念され、効率的なカキ礁造成技術としては課題が残されていた。そこで、図 8 に示すように、着生材の設置から 1 年スパンで金網を新設し、カキが着生した既設の金網は着生材の下部に移動するサイクルを 4 年間繰り返す造成手法を立案した。本手法では、着生材の設置から 4 年目に既存カキ礁と同程度の「形状や高さ」と「バイオマス」に達する可能性が見込まれ、造成後も竹材を使用した枠組みを残すことで、エイ類の食害防止効果も発揮されるものと考えられた。

金網ロール式着生材を用いたカキ礁造成は、浜川河口のカキ礁に隣接する「泥場」や「カキ殻混じり泥場」の底質パターンを想定している。このような環境では、着生材設置 2 年目に既設の金網を着生材下部に移動させた際の泥への埋没が懸念される。そこで、金網の埋没防止に向けては、着生材下部へのカキ殻の散布が有効であると考え、本小課題を実施した。

本小課題では、着生材下部に散布したカキ殻のその後の残存の程度や、散布したカキ殻へのカキの着生量を把握するために、金網ロール式着生材の枠組みのみを設置した実験区を設け、カキ殻を散布した。実施方法は、令和 5 年 6 月に浜川河口の「泥場」と「カキ殻混じり泥場」に設置した実験区（着生材枠組みのみ）にカキ殻を約 100 kg/基を散布し、その後、8 月に方形枠を用いてカキ殻散布箇所のカキおよびその他生物を採取した。また、「泥場」と「カキ殻混じり泥場」それぞれでカキ殻を散布しない対照区を設定し、実験区と同様に方形枠を用いてカキおよびその他生物を採取した。採取した試料は持ち帰り、生物種、個体数、湿重量、殻長（ランダムに選出した 50 個体）を測定した。なお、散布したカキ殻は、当該実験区周辺で漁業者が採取したものを使用した。

着生材の設置からカキ礁造成までの4年間		備考
1 年 目		金網ロール式着生材を設置する。 設置した着生材の下部にカキ殻等の 基質を散布する。
2 年 目		1年目に設置した金網ロールを着生材 下部に移動させ、新たな金網ロール を上部に設置する
3 年 目		2年目と同様に金網ロールを着生材下 部に移動させ、新たな金網ロールを 上部に設置する。
4 年 目		着生材の設置から4年目に「バイオマ ス」、「形状・高さ」とともに目標と するカキ礁が完成する



カキ殻散布状況



サンプル採取状況

図 8 カキ礁造成までの展望（左）およびカキ殻散布によるカキ礁造成手法の検討の概要（右）

2.1.2 結果

(1) 令和4年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング

1) カキ着生量

令和4年度設置の金網ロール式着生材のカキ着生量は、図9に示すとおりである。設置2年目の令和5年6月は28.5 kg/m²、8月は23.6 kg/m²、10月は17.6 kg/m²であった。設置1年目以降の着生量の増減をみると、令和4年8月から10月で0.8 kg/m²の増加、12月までに7.4 kg/m²の増加、さらに令和5年6月までに20.3 kg/m²増加する結果となった。その後、令和5年6月以降は減少する結果となり、8月までに4.9 kg/m²の減少、さらに10月までに6.0 kg/m²が減少した。

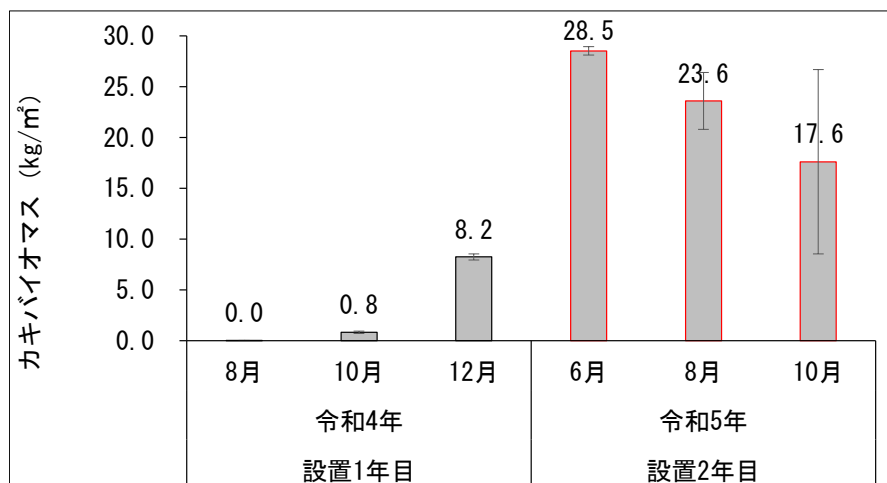


図9 令和4年度設置 着生材のカキ着生量

設置2年目の令和5年における殻高ごとの個体数割合および殻高41～50 mmの着生量は、図10に示すとおりである。図10(左)より、殻高0～10 mmでは、6月で5%、8月で65%、10月で40%、殻高11～20 mmでは、6月で17%、8月で8%、10月で30%、殻高21～30 mmでは、6月で37%、8月で11%、10月で14%、殻高31～40 mmでは、6月で36%、8月で13%、10月で7%、殻高41～50 mmでは、6月で4%、8月で4%、10月で9%であった。図10(右)より、殻高41～50 mmの着生量は、6月で2.6 kg/m²、8月で2.6 kg/m²、10月で5.3 kg/m²となり、8月から10月で約2倍増加した。

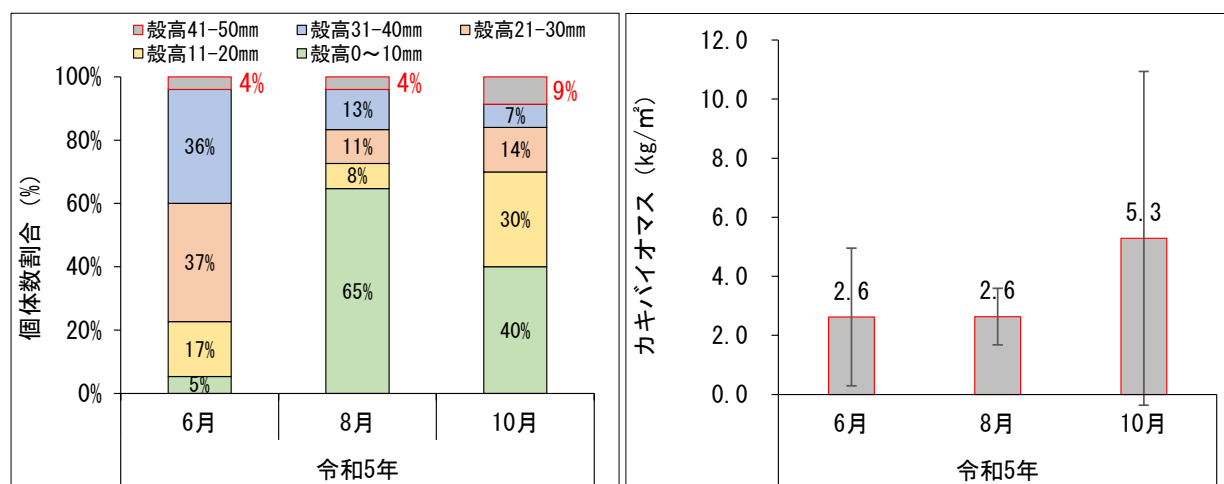


図10 (左) 殻高ごとの個体数割合、(右) 殻高41～50 mmの着生量

2) その他生物のバイオマス

令和4年度設置の金網ロール式着生材のカキ以外のその他生物のバイオマスは、図11に示すとおりである。設置2年目の令和5年6月は3.7 kg/m²、8月は1.6 kg/m²、10月は4.9 kg/m²であった。設置1年目以降のバイオマスの増減をみると、令和4年8月から10月で0.1 kg/m²の増加、さらに12月までに5.6 kg/m²増加した。その後、令和5年6月までに2.0 kg/m²の減少、さらに8月までに2.1 kg/m²減少し、10月には3.3 kg/m²増加した。

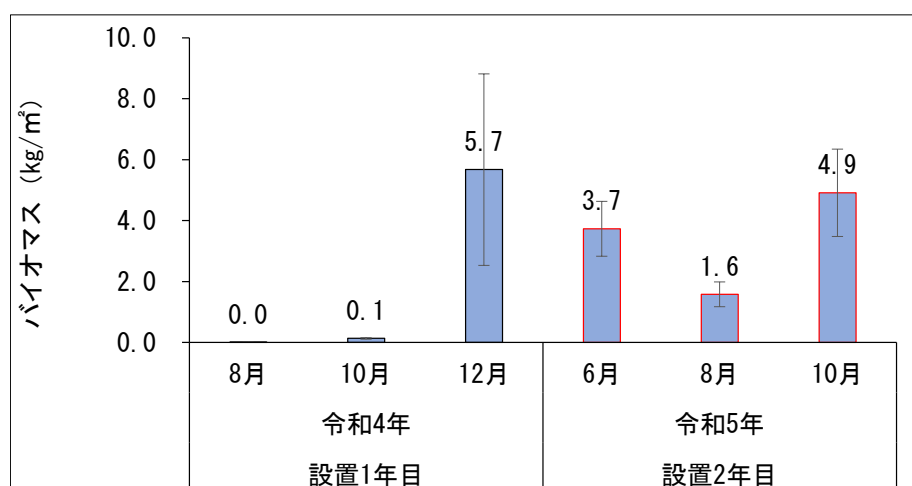


図11 令和4年度設置 着生材のその他生物のバイオマス

設置2年目の令和5年におけるカキ以外のその他生物のバイオマス優占種は、表2のとおりである。各月ともに、最も優占した種はシロスジフジツボであり、次いで、ドロフジツボであった。カキを除くその他生物の全重量に対する重量割合では、シロスジフジツボが6月で59%、8月で63%、10月で81%、ドロフジツボが6月で40%、8月で28%、10月で15%となり、各月ともに優占2種で90%を超える結果となった。

表2 令和4年度設置 着生材のその他生物のバイオマス優占種

優占	令和5年								
	6月			8月			10月		
	種名	湿重量 (kg/m ²)	割合※	種名	湿重量 (kg/m ²)	割合※	種名	湿重量 (kg/m ²)	割合※
1	シロスジフジツボ	2.2	59%	シロスジフジツボ	1.0	63%	シロスジフジツボ	4.0	81%
2	ドロフジツボ	1.5	40%	ドロフジツボ	0.4	28%	ドロフジツボ	0.7	15%
3	カキウラクチレモトキ	0.1未満	—	タカノケサイカニ	0.1	6%	スナイコカイ	0.1	2%
4	Hemigrapsus属	0.1未満	—	カサシヨウカイ科	0.1未満	1%	マルウスラタマキヒ	0.1未満	1%
5	カサシヨウカイ科	0.1未満	—	マルウスラタマキヒ	0.1未満	1%	カサシヨウカイ科	0.1未満	1%

※割合はカキを除くその他生物の全重量に対する当該種の重量割合(%)を示す

(2) 令和5年度設置 金網ロール式着生材の着生量モニタリング

1) カキ着生量

令和5年度設置の金網ロール式着生材のカキ着生量は、図12に示すとおりである。泥場では、令和5年8月で0.1 kg/m²、10月で22.8 kg/m²、12月で31.1 kg/m²であった。カキ殻混じり泥場では、令和5年8月で0.1 kg/m²、10月で10.8 kg/m²、12月で31.9 kg/m²であった。設置場所によるカキ着生量の差について、泥場とカキ殻混じり泥場における8月と12月の着生量の差はそれぞれ0 kg/m²と0.8 kg/m²であり、設置場所のカキ着生量に有意な差は確認されなかった。一方、10月の泥場のカキ着生量はカキ殻混じり泥場より11.5 kg/m²多く、設置場所のカキ着生量に有意な差が確認された (Tukey test, $p < 0.05$)。

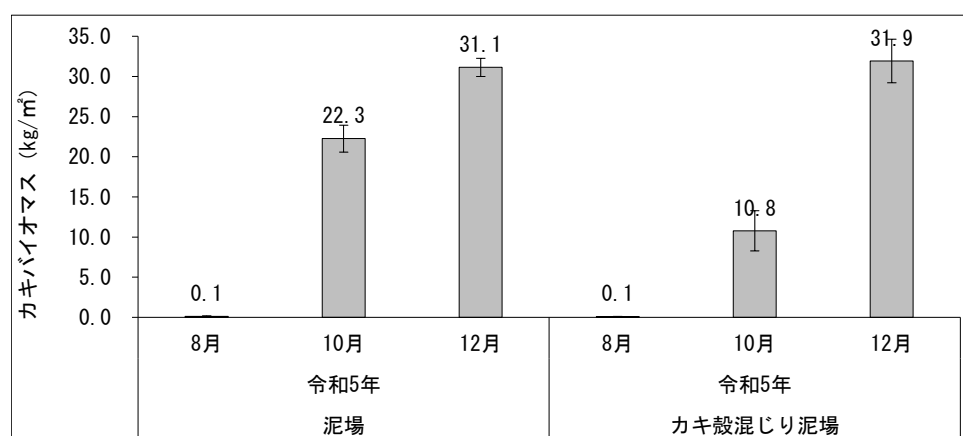


図12 令和5年度設置 着生材のカキ着生量

殻高ごとの個体数割合は、図13に示すとおりである。泥場の殻高0～10 mmでは、8月で97%、10月で37%、12月で31%、殻高11～20 mmでは、8月で3%、10月で38%、12月で33%、殻高21～30 mmでは、8月で0%、10月で23%、12月で21%、殻高31～40 mmでは、8月で0%、10月で1%、12月で14%、殻高41～50 mmでは、8月で0%、10月で0%、12月で1%であった。カキ殻混じり泥場 (図13右) の殻高0～10 mmでは、8月で99%、10月で43%、12月で38%、殻高11～20 mmでは、8月で1%、10月で37%、12月で29%、殻高21～30 mmでは、8月で0%、10月で17%、12月で16%、殻高31～40 mmでは、8月で0%、10月で3%、12月で17%、殻高41～50 mmでは、各月で0%であった。

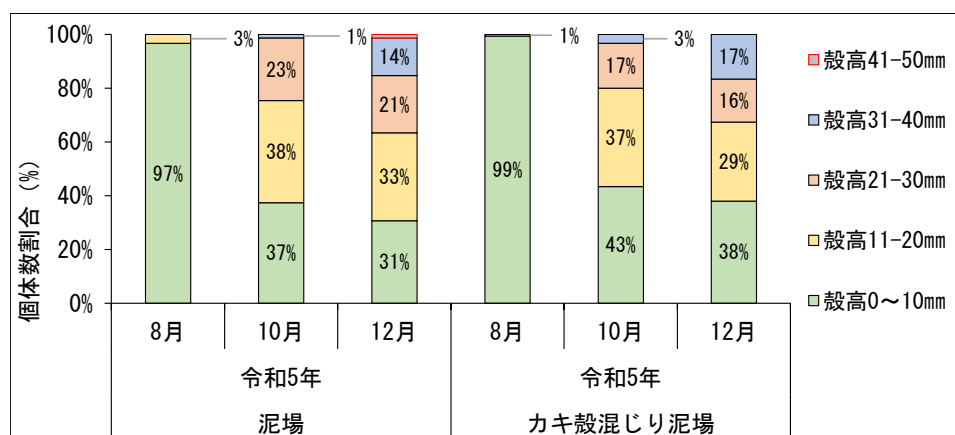


図13 殻高ごとの個体数割合

2) その他生物のバイオマス

令和5年度設置の金網ロール式着生材のカキ以外のその他生物のバイオマスは、図14に示すとおりである。泥場では、令和5年8月で0.3 kg/m²、10月で2.8 kg/m²、12月で8.3 kg/m²であった。カキ殻混じり泥場では、令和5年8月で0.1 kg/m²、10月で6.6 kg/m²、12月で2.6 kg/m²であった。バイオマスの増減をみると、泥場では令和5年8月から10月で2.5 kg/m²の増加、さらに12月までに5.5 kg/m²増加した。カキ殻混じり泥場では令和5年8月から10月で6.5 kg/m²の増加、その後12月までに4.0 kg/m²減少した。

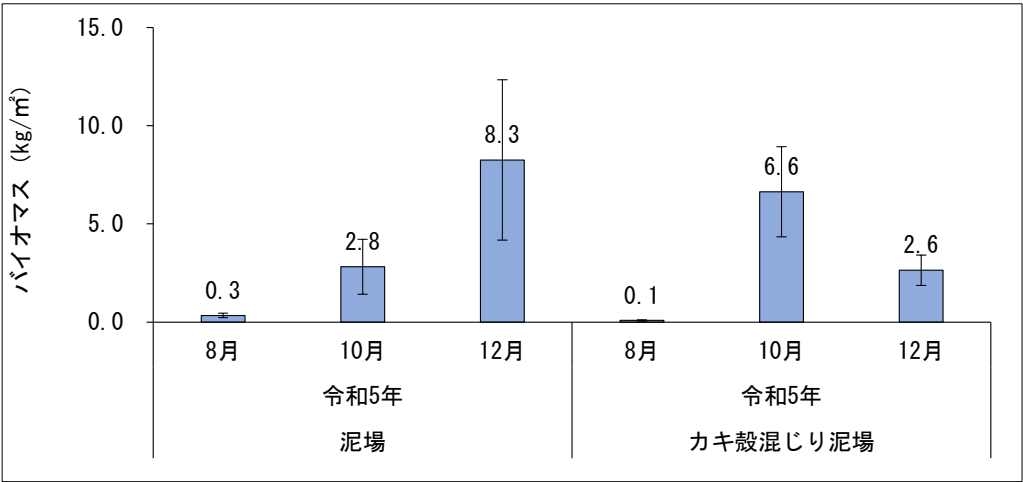


図14 令和5年度設置 着生材のその他生物のバイオマス

カキ以外のその他生物のバイオマス優占種は、表3のとおりである。泥場、カキ殻混じり泥場ともに、最も優占した種はドロフジツボであり、次いで、シロスジフジツボ、チャミドロモドキ科が優占した。バイオマスが1.0 kg/m²以上となった令和5年10月、12月に着目すると、カキを除くその他生物の全重量に対する重量割合では、泥場とカキ殻混じり泥場ともにドロフジツボ、シロスジフジツボ、アミメフジツボの3種で概ね90%を超える結果となった。

表3 令和5年度設置 着生材のその他生物のバイオマス優占種（上：泥場、下：カキ殻混じり泥場）

優占	令和5年								
	8月			10月			12月		
	種名	湿重量(kg/m ²)	割合※	種名	湿重量(kg/m ²)	割合※	種名	湿重量(kg/m ²)	割合※
1	ドロフジツボ	0.2	55%	ドロフジツボ	2.1	76%	ドロフジツボ	7.6	92%
2	チャミドロモドキ科	0.1	43%	シロスジフジツボ	0.3	12%	シロスジフジツボ	0.2	3%
3	シロスジフジツボ	0.1未満	2%	アミメフジツボ	0.1	5%	アミメフジツボ	0.1	2%
4				タカノケサイカニ	0.1	3%	タカノケサイカニ	0.1	2%
5				スライコカイ	0.1	2%	カキウラクチキモドキ	0.1	1%

優占	令和5年								
	8月			10月			12月		
	種名	湿重量(kg/m ²)	割合※	種名	湿重量(kg/m ²)	割合※	種名	湿重量(kg/m ²)	割合※
1	ドロフジツボ	0.1	80%	ドロフジツボ	6.0	91%	ドロフジツボ	1.8	67%
2	チャミドロモドキ科	0.0	20%	シロスジフジツボ	0.3	4%	シロスジフジツボ	0.5	20%
3				アミメフジツボ	0.3	4%	タカノケサイカニ	0.1	5%
4				スライコカイ	0.1未満	0%	カキウラクチキモドキ	0.1	2%
5				カキウラクチキモドキ	0.1未満	0%	アミメフジツボ	0.1	2%

※割合はカキを除くその他生物の全重量に対する当該種の重量割合（%）を示す

(3) カキ殻散布によるカキ礁造成手法の検討

1) カキ殻の残存

泥場とカキ殻混じり泥場へのカキ殻散布状況は、図 15 と図 16 にそれぞれ示すとおりである。令和 5 年 6 月に泥場とカキ殻混じり泥場それぞれに設置した実験区(着生材の枠組み)にカキ殻を約 100 kg 散布した。その後、令和 5 年 8 月に九州地方に上陸した台風 6 号の影響により、両実験区ともに、枠内表面のカキ殻は消失している状況が確認された。そこで、カキ殻を散布した実験区とカキ殻を散布していない対照区での枠取り調査を実施した。枠取り調査の結果、泥場実験区における 1 mm 目合の篩上へのカキ殻の残渣状況は、図 17 に示すとおりである。実験区では令和 5 年 6 月に散布したと思われる黄色みがかかったカキ殻が多く確認されたのに対し、対照区では黒みがかかったカキ殻が少量確認されたのみであり、実験区では枠内表面のカキ殻は消失していたものの、底質中には散布したカキ殻が残存していることが伺えた。



図 15 泥場実験区のカキ殻散布状況（左：散布前、中：散布直後、右：散布 2 か月後）



図 16 カキ殻混じり泥場実験区のカキ殻散布状況（左：散布前、中：散布直後、右：散布 2 か月後）



図 17 枠取り調査での篩残渣物（左：カキ殻散布区（泥場）、右：カキ殻未散布区（泥場））

2) カキバイオマス

泥場とカキ殻混じり泥場における実験区と対照区のカキバイオマスは、図 18 に示すとおりである。泥場のカキバイオマスは、実験区が 0.1 kg/m^2 、対照区が 0.3 kg/m^2 であり、対照区のカキバイオマスが 0.2 kg/m^2 多い結果となった。カキ殻混じり泥場のカキバイオマスは、実験区が 0.1 kg/m^2 、対照区が 0.2 kg/m^2 であり、対照区のカキバイオマスが 0.1 kg/m^2 多い結果となった。泥場とカキ殻混じり泥場ともに、実験区と対照区によるカキバイオマスの有意な差は確認されなかった (T test, $p < 0.05$)。

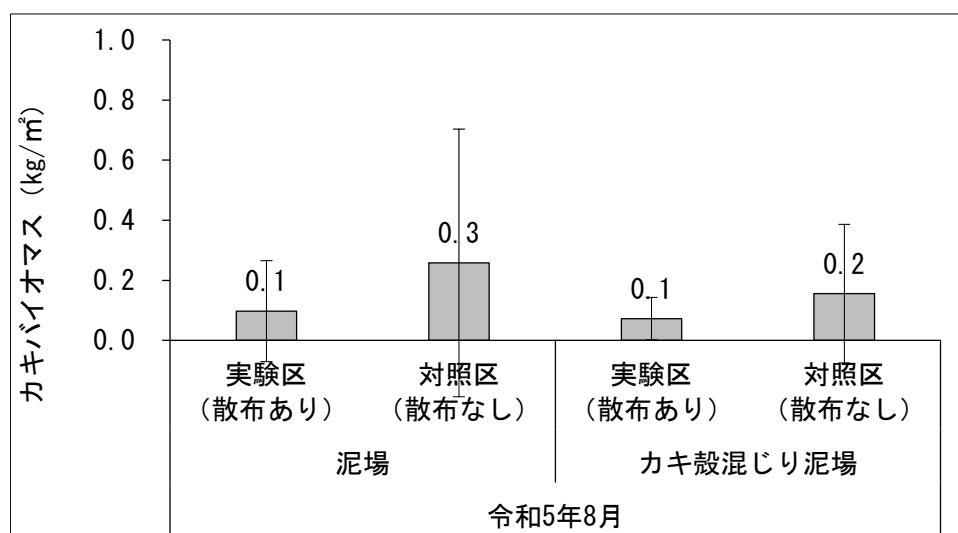


図 18 実験区と対照区のカキのバイオマス

3) その他生物のバイオマス

泥場とカキ殻混じり泥場における実験区と対照区のおもな生物のバイオマスは、図 19 に示すとおりである。泥場のバイオマスは、実験区が 0.2 kg/m^2 、対照区が 0.1 kg/m^2 であり、実験区のバイオマスが 0.1 kg/m^2 多い結果となった。カキ殻混じり泥場のバイオマスは、実験区が 2.7 kg/m^2 、対照区が 0.1 kg/m^2 であり、実験区のバイオマスが 2.6 kg/m^2 多い結果となった。

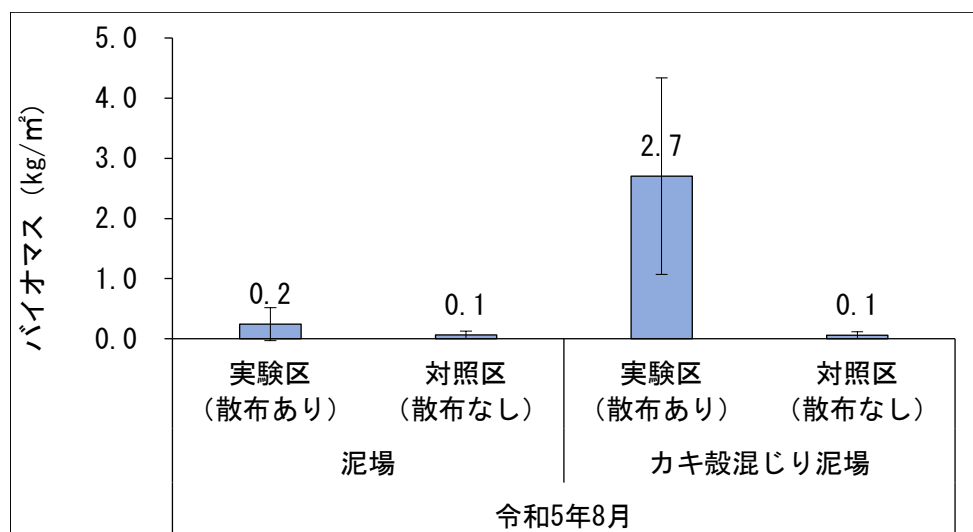


図 19 実験区と対照区のおもな生物のバイオマス

2.1.3 考察

(1) 着生材のバイオマスの推移

1) 令和4年度設置

今年度の検証により、令和4年度に設置した金網ロール式着生材は、設置2年目の令和5年6月にカキバイオマスは28.5 kg/m²となり、以降、令和5年8月、10月はカキバイオマスが減少したものの、周辺の既存カキ礁より高いカキバイオマスを維持する結果となった。令和5年6月以降のカキバイオマスの減少について、当該海域では令和5年7月上旬に数日間にわたる連続した低塩分化が確認されたものの、金網ロール式着生材に着生するカキの目立ったへい死は確認されておらず、実験区周辺における既存カキ礁でのカキのへい死も確認されなかった。また、令和5年度では、実験区周辺の貧酸素化も確認されなかったことから、水質環境の悪化以外の別な要因が存在すると考えられた。なお、令和5年度の塩分、溶存酸素濃度の観測結果および既存カキ礁のカキバイオマス調査結果は「2.3 カキ礁造成方法の開発（環境調査等）」に示した。

上記の水質環境の悪化以外に考えられるカキバイオマスの減少要因の一つとして、着生材の設置から時間の経過に伴う「カキ礁化」が挙げられる。カキ礁とは、図20に示すとおり、複数世代が付着し合った多重立体構造と表現され⁶⁾、ベントスが住み込み、生物多様性が向上するものとされている⁷⁾。

カキ礁の多重立体構造について、着生材設置2年目の殻高は図10に示したとおり、令和5年6月から8月にかけて殻高0～10 mmの新子の個体数割合が増加している。さらに、着生するカキ全体のバイオマスは6月から8月にかけて減少していることから、着生するカキの一部で世代交代が行われている可能性が考えられる。これら着生材におけるカキの世代交代については、金網に着生するカキのうち、第1世代のカキの一部はへい死し、そのカキ殻や生残するカキに第2世代の新たなカキが着生することで、立体構造を成すカキ礁へと順調に推移しているものと考えられた。これらの世代交代により、新子が着生し成長する6月以降で着生材に着生するカキのバイオマスは一時的に減少したのと考えられ、今後も第2世代の成長および第3世代の着生により、着生材のカキバイオマスは季節的な増減を繰り返すものと考えられた。

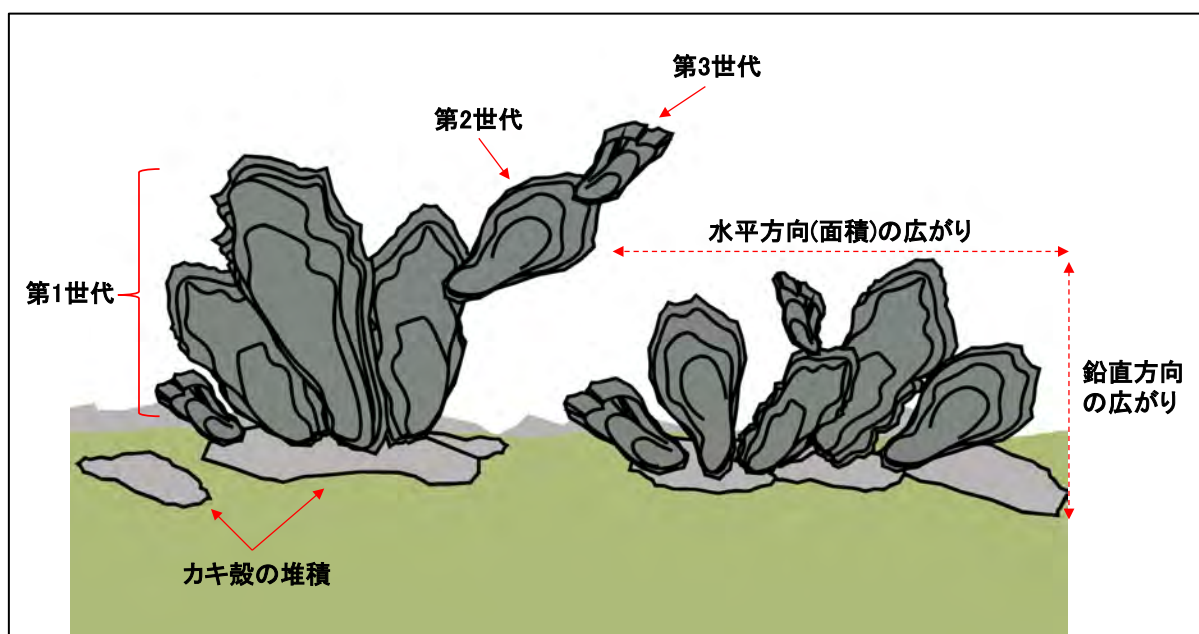
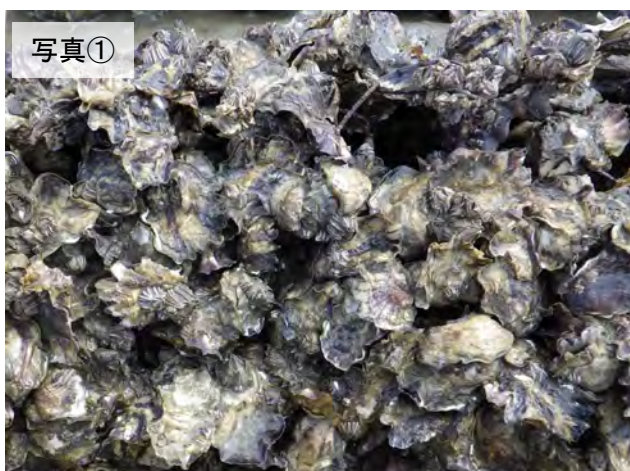


図20 カキ礁の立体構造イメージ

カキ礁の生物多様性について、着生材に着生するカキとそこに生息するその他生物は令和5年6月で8目8科9種、令和5年8月で7目8科10種、令和5年10月で12目12科17種となり、時間の経過に伴って生物種が増加していることが確認された。カキやフジツボ等の付着生物は季節的な変動により増減し、カニ類等の移動性の高い生物は杵取り調査のサンプリング場所によって多少の増減はあるものの、ゴカイ類の多毛綱は令和5年8月以降で大幅に増加していることが確認された。これらゴカイ類は砂泥質の底質中に生息するものであるが、上述したカキの世代交代により、へい死したカキ殻の中に泥が堆積し、そこに多くのゴカイ類が生息している状況が現地においても確認された。これらからも、令和4年度に設置した金網ロール式着生材は、設置2年目において着生するカキの一部で世代交代が行われ、へい死したカキ殻の隙間に泥が堆積することで生物多様性が向上し、時間の経過とともに周囲の既存カキ礁と同等の多重立体構造を成し、生物多様性が向上するものと考えられた。



写真①

令和5年6月時点の着生材に着生するカキ
殻高21～40mmのカキが個体数割合77%を占める
バイオマスはカキが大半を占める



写真②

写真②

令和5年8月時点の着生材に着生するカキ
殻高20mm以下のカキが個体数割合73%を占める
カキ以外にフジツボやその他生物が多く生息する



写真③

令和5年8月時点の着生材に生息するカキとカキの
隙間に生息するウナギやイソガニ類

図 21 着生材のカキ着生状況とその他生物の生息状況

2) 令和5年度設置

今年度の検証により、令和5年度に泥場とカキ殻混じり泥場に設置した金網ロール式着生材は、設置1年目の令和5年12月にカキバイオマスはそれぞれ 31.1 kg/m^2 、 31.9 kg/m^2 となり、令和4年度に設置した着生材の1年目にあたる令和4年12月のカキバイオマス (8.2 kg/m^2) よりも高い値となった。

令和4年度と令和5年度の設置1年目(12月時点)のカキバイオマスの差について、実験区周辺の水質環境は、令和4年度では夏季の低塩分化が確認されたものの、潮汐の変動に伴った断続的な低塩分であり、干潮時刻では塩分10を下回り、満潮時刻では塩分15程度まで回復する状況を繰り返した。溶存酸素濃度は、夏季の貧酸素が確認されたものの、連続的な貧酸素は確認されなかった⁸⁾。また、実験区周辺におけるカキのへい死は確認されなかったことから、低塩分や貧酸素による着生材のカキバイオマスへの影響は殆ど無かったと考えられる。令和5年度では7月上旬に数日間にわたる連続した低塩分化が確認された(2.3 カキ礁造成方法の開発(環境調査等)に記載)。一方、着生材のカキバイオマスは夏季以降で増加しており、実験区周辺におけるカキのへい死も確認されなかった。以上より、令和4年度と令和5年度の着生材のカキバイオマスの差は、設置期間中におけるカキの生息環境の悪化に起因するものではなく、年度によるカキ浮遊幼生量の差が要因の一つであると考えられた。また、令和4年度では着生材を実験区内のカキ礁近傍に設置しているのに対し、令和5年度ではカキ礁より地盤高の低い泥場環境に設置していることから、着生材の干出時間の差により、カキ浮遊幼生の着生機会および着生したカキの成長量にも差が生じている可能性が考えられた。

(2) 着生材によるカキ礁造成技術

1) カキ殻散布による金網の埋没緩和効果

今年度の検証によって、着生材設置場所の底質が泥場やカキ殻混じり泥場のような環境においても、設置1年目での十分な量のカキの着生を確認した。また、着生材直下に散布したカキ殻は、台風等による出水後においても底質中に残存していることを確認し、着生材1基あたり最大100kg程度のカキ殻を散布すれば十分であることを把握した。これにより、図22に示すとおり、底質中に残存したカキ殻によって、設置2年目に着生材下部に移動させた金網の底質への埋没を緩和させる効果が期待された。なお、泥場環境における設置2年目以降の検証については、次項に示す課題を踏まえ、今後も継続して実施していく必要があると考えられる。

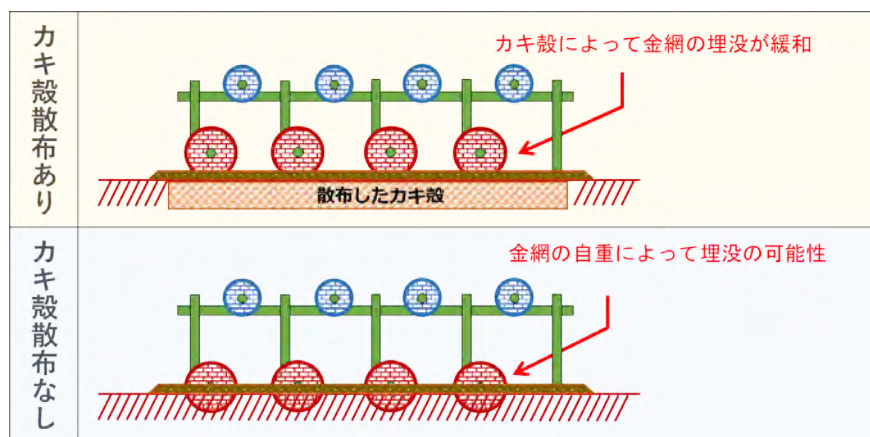


図 22 金網ロール式着生材のカキ殻散布の効果（設置2年目のイメージ）

2) 着生材設置1～2年目におけるカキ礁造成方法の見直し

金網ロール式着生材によるカキ礁造成計画のうちカキ殻の散布時期について、当初計画では着生材の設置と同じタイミングでカキ殻を散布する想定であった（図 8 参照）。これは、前述したカキ殻散布による金網の埋没緩和効果に加えて、散布したカキ殻へのカキの着生を副次的に狙ったものであった。その中で、令和5年8月に実施した杵取り調査の結果（図 18 参照）では、泥場とカキ殻混じり泥場ともに実験区と対照区のカキバイオマスの差は確認されず、散布したカキ殻へのカキの着生は行われなかったものと評価した。これらの要因としては、実験区杵内の表面には泥が堆積しており、散布したカキ殻の大半が泥に埋没していたことから、カキの着底基質となるカキ殻が底質表面にほとんど存在していなかったことが挙げられる。なお、令和5年8月と10月における泥場実験区の底質の堆積状況は、図 23 に示すとおり、杵内の泥の堆積状況に大きな変化はみられなかった。



図 23 泥場実験区の底質の状況（左：令和5年8月 右：令和5年10月）

散布したカキ殻へのカキの着生が確認されなかった一方で、底質中に残存するカキ殻が確認され、金網の埋没緩和効果が期待されたことから、本手法そのものの有効性は高いと考えられた。上述のとおり、着生材設置1年目のカキ殻散布は、散布したカキ殻へのカキの着生を副次的に狙ったものであったことから、着生材設置からカキ礁造成までの当初計画の一部を変更し、図 24 に示すとおり、着生材設置2年目の金網の移動および新設時にカキ殻を散布する計画案への変更が妥当と考えられた。

着生材の設置からカキ礁造成までの計画案		備考
1年目		金網ロール式着生材を設置する。
2年目		着生材の下部にカキ殻を散布する。 (着生材1基あたり100kg程度)
		カキ殻の散布後、1年目に設置した金網ロールを着生材下部へ移動させ、新たな金網ロールを上部に設置する。

図 24 着生材設置1～2年目におけるカキ礁造成方法の計画案

3) 着生材設置2年目以降におけるカキ礁造成方法の課題

今年度の検証では、図 25 に示すとおり、令和5年度に泥場に設置した着生材の一部で着生材直下への泥の堆積が確認された。本着生材は、潮汐の流れ方向に沿うように3基連続で設置しており、泥の堆積が確認された着生材は3基のうち中央に設置した着生材のみであった。このように、設置場所の底質と流況等の環境条件によって着生材直下に泥が堆積することから、着生材の設置2年目以降におけるカキ礁造成方法を図 26 に示すとおり再検討した。

ケース1は、着生材設置場所の底質が泥場であり、かつ設置2年目時点で着生材直下に泥の堆積が確認されない場合に該当する。図 24 に示す計画案どおり、着生材設置2年目にカキ殻を散布し、既設のカキが着生した金網を着生材下部へ移動させ、着生材上部に金網を新設する方法である。2年目以降は金網の移動と新設を繰り返す。ケース2は、カキ殻混じり泥場のような着生材直下へのカキ殻の散布が不要な底質環境が該当する。着生材下部へのカキ殻散布は行わず、ケース1と同様に2年目以降も既設の金網の移動と新設を繰り返す。ケース3は、設置2年目時点で着生材直下に泥の堆積が確認された場合に該当する。カキ殻の散布や、既設のカキが着生した金網の移動は行わず、2年目以降は着生材上部に積み上げていく形で金網の新設を行う。このように、着生材設置2年目以降においては、設置場所の条件に応じた具体的なカキ礁造成方法を検討する必要がある、これらの2年目以降における個別手法は今後の検証課題であると考えられる。



図 25 令和5年度設置 着生材直下の泥の堆積状況（左：令和5年6月 右：令和5年12月）

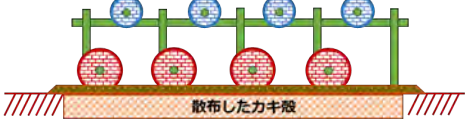
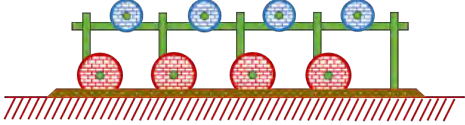
ケース①		◆着生材の設置場所が泥場環境に適用 (カキ殻散布+金網移動+金網新設) 着生材直下にカキ殻を100kg程度散布し、カキが着生した設置2年目の金網を着生材下部に移動させ、着生材上部に金網を新設する。以降は、設置4年目まで金網の移動と新設を繰り返す。
ケース②		◆着生材の設置場所がカキ殻混じり泥場環境に適用 (金網移動+金網新設) カキ殻は散布は行わず、カキが着生した設置2年目の金網を着生材下部に移動させ、着生材上部に金網を新設する。以降は設置4年目まで金網の移動と新設を繰り返す。
ケース③		◆着生材直下に泥が堆積した場合に適用 (金網新設) カキ殻散布やカキが着生した設置2年目の金網の移動は行わず、着生材上部に金網を新設する。以降は、設置4年目まで金網の新設を繰り返す。

図 26 着生材設置2年目以降におけるカキ礁造成方法の計画案

2.2 カキ礁造成方法の開発（カキ礁造成効果の評価）

過年度事業では、経年的な測量調査により当該海域のカキ礁の形状や分布状況を把握し、理想とするカキ礁の平均的な形状（高さ、幅、間隔、長さ）を定量的に把握した。また、当該海域に存在する畝状離散型の理想的なカキ礁造成に向けた着生材配置計画（配置、間隔）を作成した。それらを踏まえ、今年度以降は、着生材によるカキ礁造成の評価として、着生材設置前と設置以降の地盤高の変化を経年的に把握し、造成したカキ礁の形状と高さを評価する。なお、令和5年度は、着生材設置前の地盤の形状や高さを把握するための位置づけとし、次年度以降は着生材設置後の地盤高の変化を経年的に把握する。

2.2.1 方法

本小課題では、着生材によるカキ礁造成の評価軸のうちの一つである「カキ礁の形状、高さ」を定量的かつ経年的に把握するために、ナローマルチビーム測量によるカキ礁造成効果の評価を実施した。実施方法は、ナローマルチビーム測深器を用いて浜川河口に設置した着生材周辺のカキ礁の地盤高を測量した。測量範囲は概ね200m×300mとし、実施時期は着生材設置前の令和5年6月とした。測量結果から着生材設置場所の断面図等の情報図を作成し、着生材の設置からカキ礁造成までの経年的な地盤高の変化を確認した。本小課題の概要は、図27に示すとおりである。



図 27 カキ礁造成効果の評価の概要

2.2.2 結果

実験区におけるナローマルチビーム測量結果は、図 28 に示すとおりである。泥場とカキ殻混じり泥場の実験区を網羅するよう 200m×300m 程度の範囲で測量を実施した。測量範囲のうち、泥場実験区とカキ殻混じり泥場実験区を横断するように側線 A と側線 B の 2 側線の断面図を作成した。

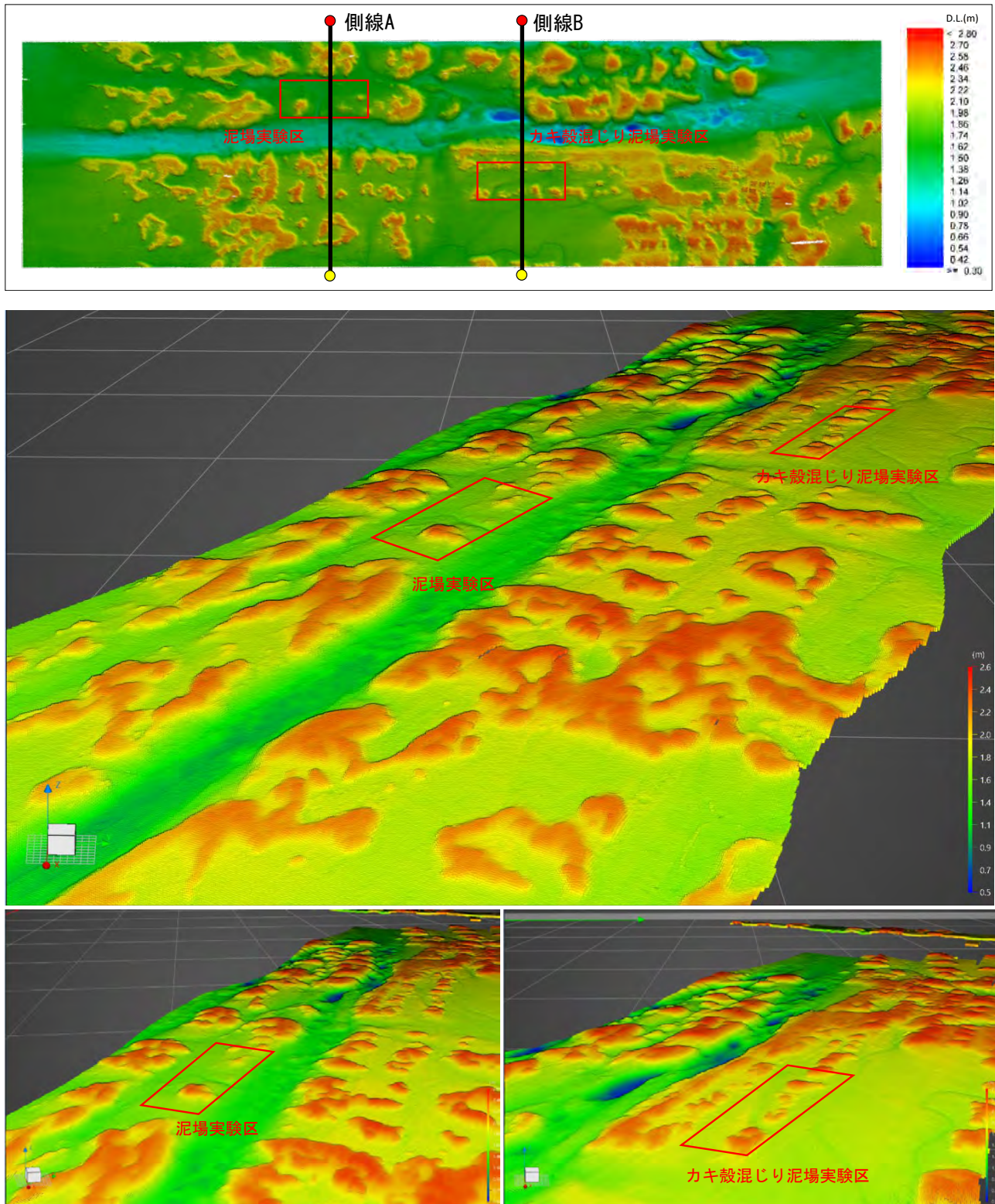


図 28 ナローマルチビーム測量結果

泥場実験区とカキ殻混じり泥場実験区の断面図は、図 29 に示すとおりであり、各実験区の地盤高等は、表 4 のとおりである。泥場実験区では、着生材を設置した地盤高は D.L. +1.6m 程度であり、泥場の幅は 14.0m 程度であった。泥場実験区に隣接するカキ礁は D.L. +2.0～2.4m 程度であり、カキ礁の幅は 13.0m 程度であった。カキ殻混じり泥場実験区では、着生材を設置した地盤高は D.L. +1.9m 程度であり、カキ殻混じり泥場の幅は 5.5m 程度であった。カキ殻混じり泥場実験区に隣接するカキ礁は D.L. +2.2m 程度であり、カキ礁の幅は 4.0m 程度であった。

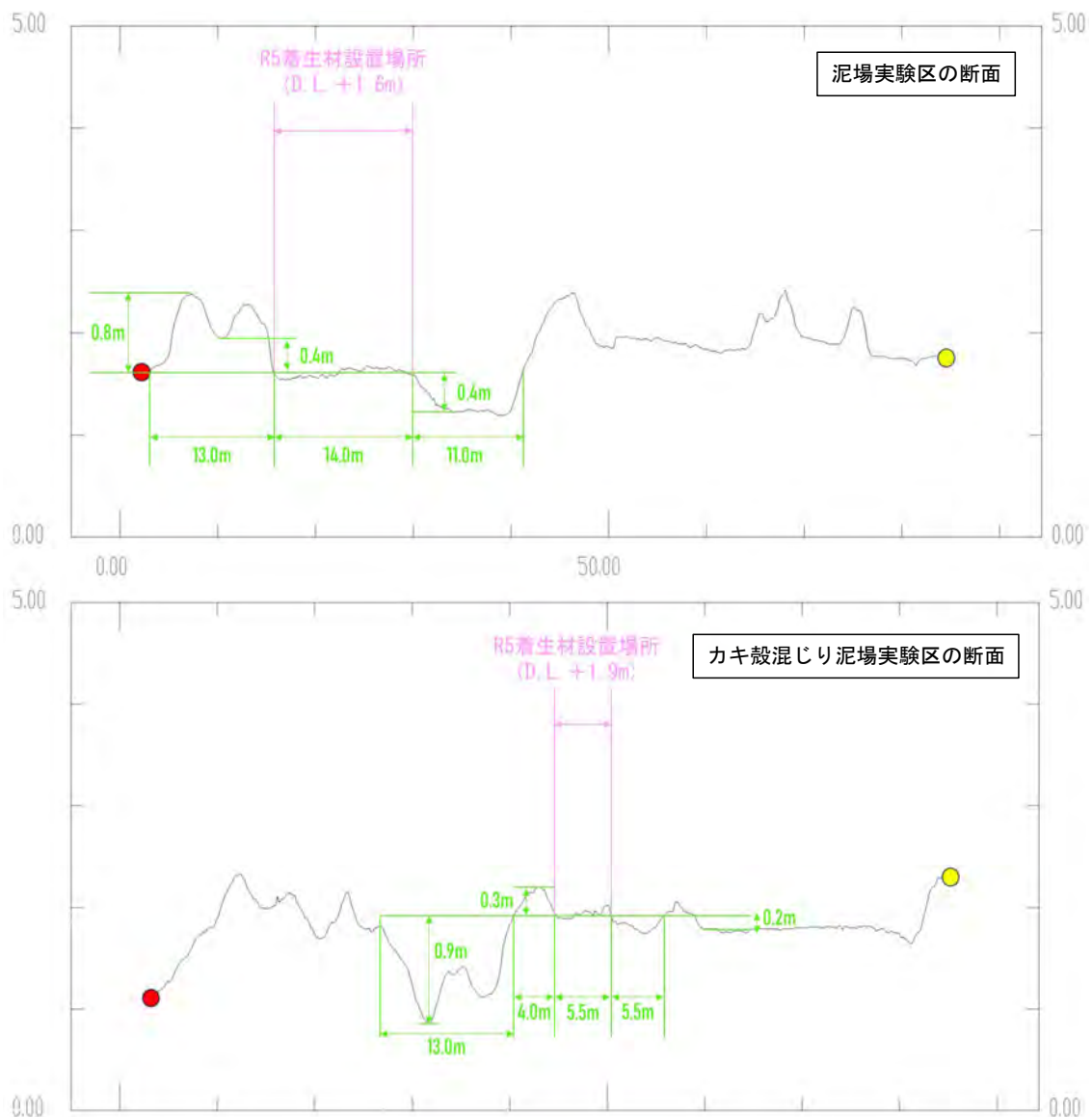


図 29 実験区の断面図（上：泥場、下：カキ殻混じり泥場）

表 4 実験区の地盤高等

	実験区		隣接するカキ礁	
	地盤高 (D.L. m)	幅 (m)	地盤高 (D.L. m)	幅 (m)
泥場	+1.6	14.0	+2.0～2.4	13.0
カキ殻混じり泥場	+1.9	5.5	+2.2	4.0

2.2.3 考察

今年度の測量結果より、泥場およびカキ殻混じり泥場実験区の地盤高とそれぞれ隣接するカキ礁の地盤高から着生材を用いて造成するカキ礁の高さの目安を算出した。その結果、泥場は地盤高 D.L. +1.6m に対し、隣接するカキ礁は D.L. +2.0～2.4m であることから、着生材により造成するカキ礁の高さの目標値は 0.4～0.8m と算出された。カキ殻混じり泥場は地盤高 D.L. +1.9m に対し、隣接するカキ礁は D.L. +2.2m であることから、着生材により造成するカキ礁の高さの目標値は 0.3m と算出された。泥場については、隣接するカキ礁の地盤高の幅が大きく、カキ殻混じり泥場に隣接するカキ礁の地盤高が D.L. +2.2m であることを考慮すると、泥場も地盤高 D.L. +2.2m のカキ礁造成を目指し、目標値は 0.6m 程度が妥当であると考えられた。

本小課題は、着生材により造成したカキ礁の形状や高さを評価するものであり、今年度はそれに向けた基礎情報の収集の位置づけである。本課題における今後の評価イメージは、図 30 に示すとおり、カキ礁造成の目標とする着生材設置 4 年目まで継続して測量を行い、設置後における経年的な地盤高の変化を数値化し、形状の変化を可視化して着生材により造成したカキ礁の評価を行う。

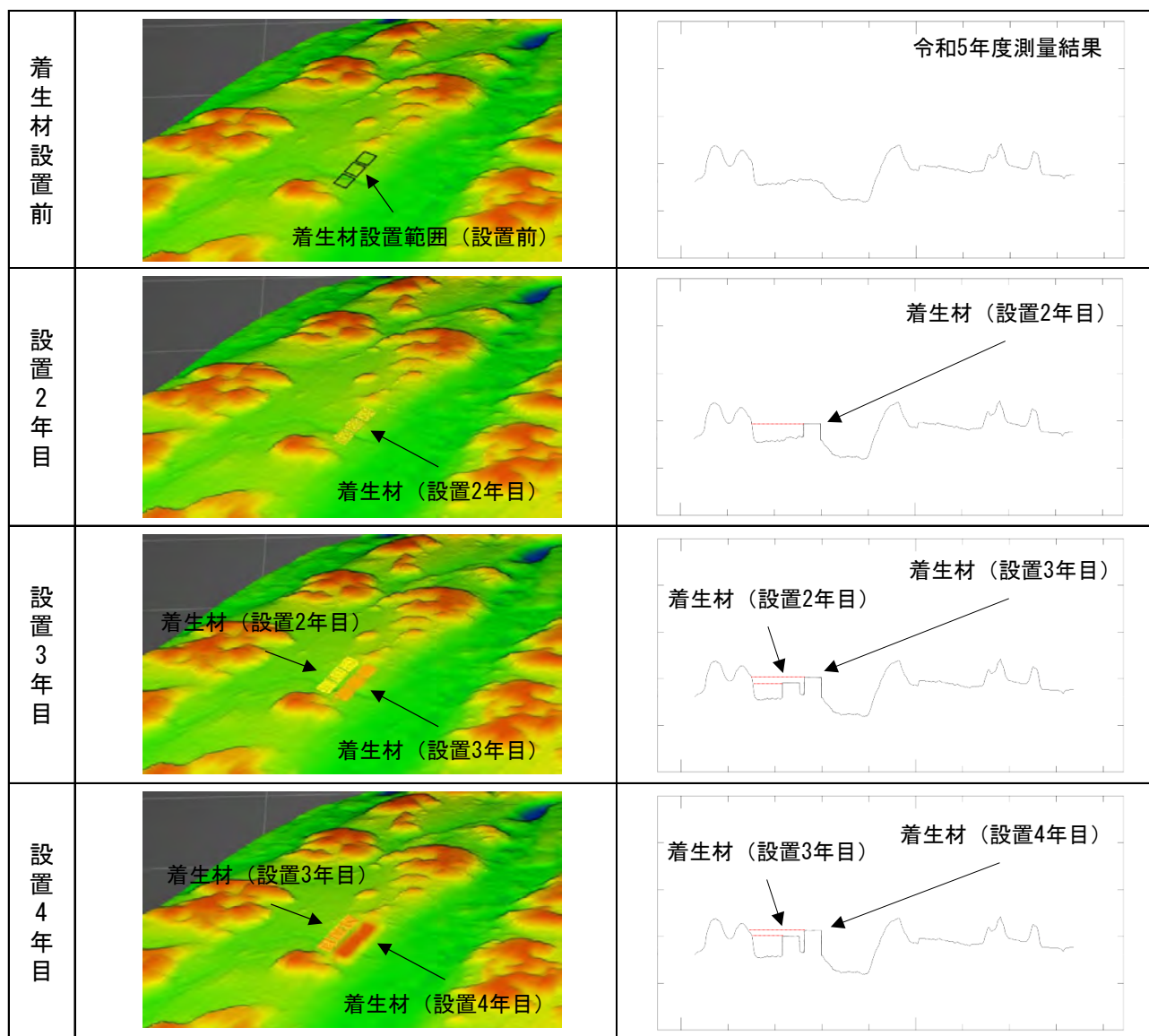


図 30 本小課題における今後の評価イメージ（泥場）

2.3 カキ礁造成方法の開発（環境調査等）

過年度事業では、継続的な空撮調査により、当該海域のカキ礁の形状や分布状況を把握し、カキ礁造成可能範囲とその面積（113.5ha）を把握した。また、浜川河口の実験区周辺および七浦地先における既存カキ礁のカキバイオマス調査を実施し、両地点の経年的なバイオマスの変動を把握した。それらを踏まえ、今年度は、ドローンを用いて当該海域の空撮未実施範囲の航空写真を撮影し、空撮画像を ArcGIS に反映して過年度のカキ礁（2007 年のカキ礁分布）と位置や形状を比較して GIS データを更新した。これにより、当該海域の現状のカキ礁の位置や形状、面積等の基礎情報を把握した。さらに、今年度以降のカキ礁造成の対象地である浜川河口の「既存カキ礁」、「泥場」、「カキ殻混じり泥場」の底質パターンごとのカキバイオマス調査を実施するとともに、夏季の水温、塩分、溶存酸素濃度の水質連続観測を実施した。これにより、浜川河口における既存カキ礁の経年的なカキバイオマスの把握、底質パターンごとのカキを含む生物種やバイオマス等の基礎情報の把握、および夏季における実験区周辺の低塩分化や貧酸素化等の生息環境悪化の発生を把握した。

2.3.1 方法

(1) ドローン空撮によるカキ礁の位置・形状の更新

本小課題では、過年度のカキ礁（2007 年のカキ礁分布）の位置や形状を示す GIS データを更新するために、ドローンを用いて当該海域の既存カキ礁を空撮した。実施場所は、過年度に空撮未実施の既存カキ礁が現存するエリアとし、実施時期は令和 5 年 7 月とした。撮影した画像は ArcGIS に反映し、過年度（2007 年のカキ礁分布）とカキ礁の位置や形状を比較して GIS データを更新した。なお、ドローンの運用に当たっては、令和 2 年 9 月 14 日付関係省庁申合せ「政府機関等における無人航空機の調達等に関する方針について」の規定を遵守した。本小課題の概要は、図 31 に示すとおりである。



図 31 環境調査等の概要

(2) 底質パターンごとのバイオマス調査

本小課題では、浜川河口の既存カキ礁の経年的なカキバイオマスの把握および「泥場」、「カキ殻混じり泥場」の底質パターンごとのカキバイオマスを把握するために底質パターンごとのバイオマス調査を実施した。実施方法は、浜川河口の「既存カキ礁」、「泥場」、「カキ殻混じり泥場」の底質パターンに応じた3区分において、方形枠を用いてカキおよびその他生物を採取した。採取した試料は持ち帰り生物種、個体数、湿重量、殻長等を測定した。実施時期は、令和5年8月、10月の2回とした。また、夏季の水質環境把握のために、実験区となるカキ礁周辺にワイパー式メモリー水温・塩分計とワイパー式メモリーDO計を設置し、水温、塩分、溶存酸素濃度を連続観測した。実施期間は、令和5年6月から9月とした。本小課題の概要は、図32に示すとおりである。

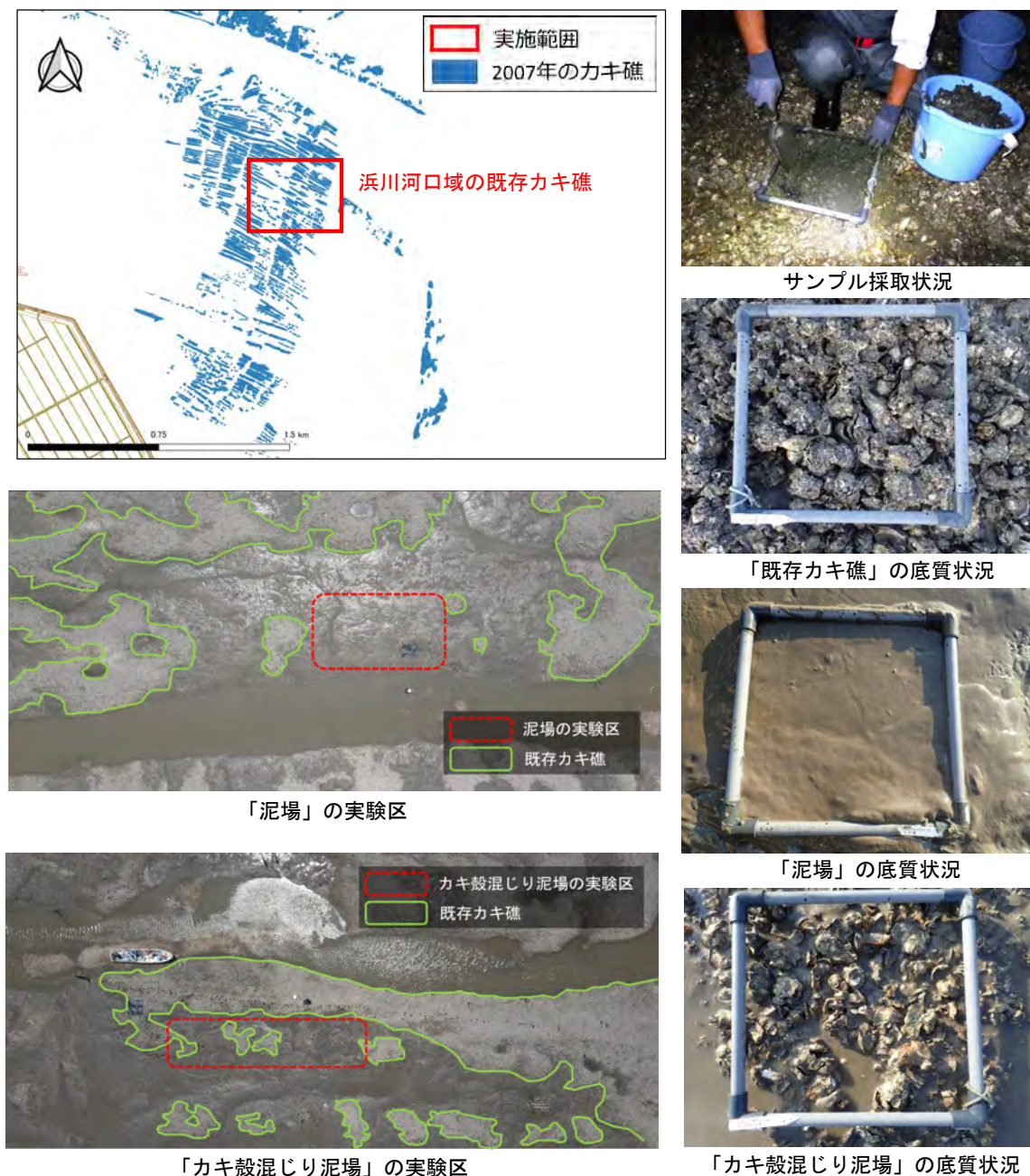


図 32 底質パターンごとのバイオマス調査の概要

2.3.2 結果

(1) ドローン空撮によるカキ礁の位置・形状の更新

ドローンで空撮した画像を GIS に反映した図面は、図 33 に示すとおりである。本画像は、ドローンにより撮影した複数の画像からそれらの撮影位置を推定し、同一地点に対する各画像の視差から対象物全体の三次元モデルを生成した。この三次元モデルに撮影した画像から生成した色や模様を貼り付け、正射投影画像（オルソ画像）を作成した。なお、ドローンの運用に当たっては、令和2年9月14日付関係省庁申合せ「政府機関等における無人航空機の調達等に関する方針について」の規定を遵守した。

今年度の撮影範囲および撮影範囲におけるカキ礁の面積は、表 5 のとおりである。撮影範囲 87.2ha に対し、撮影範囲における 2007 年時点のカキ礁の面積は 3.57ha、撮影した画像から抽出した現時点でのカキ礁の面積は 3.73ha であった。現時点のカキ礁の面積は、2007 年時点に比べて面積率は 4.6%増加する結果となった。

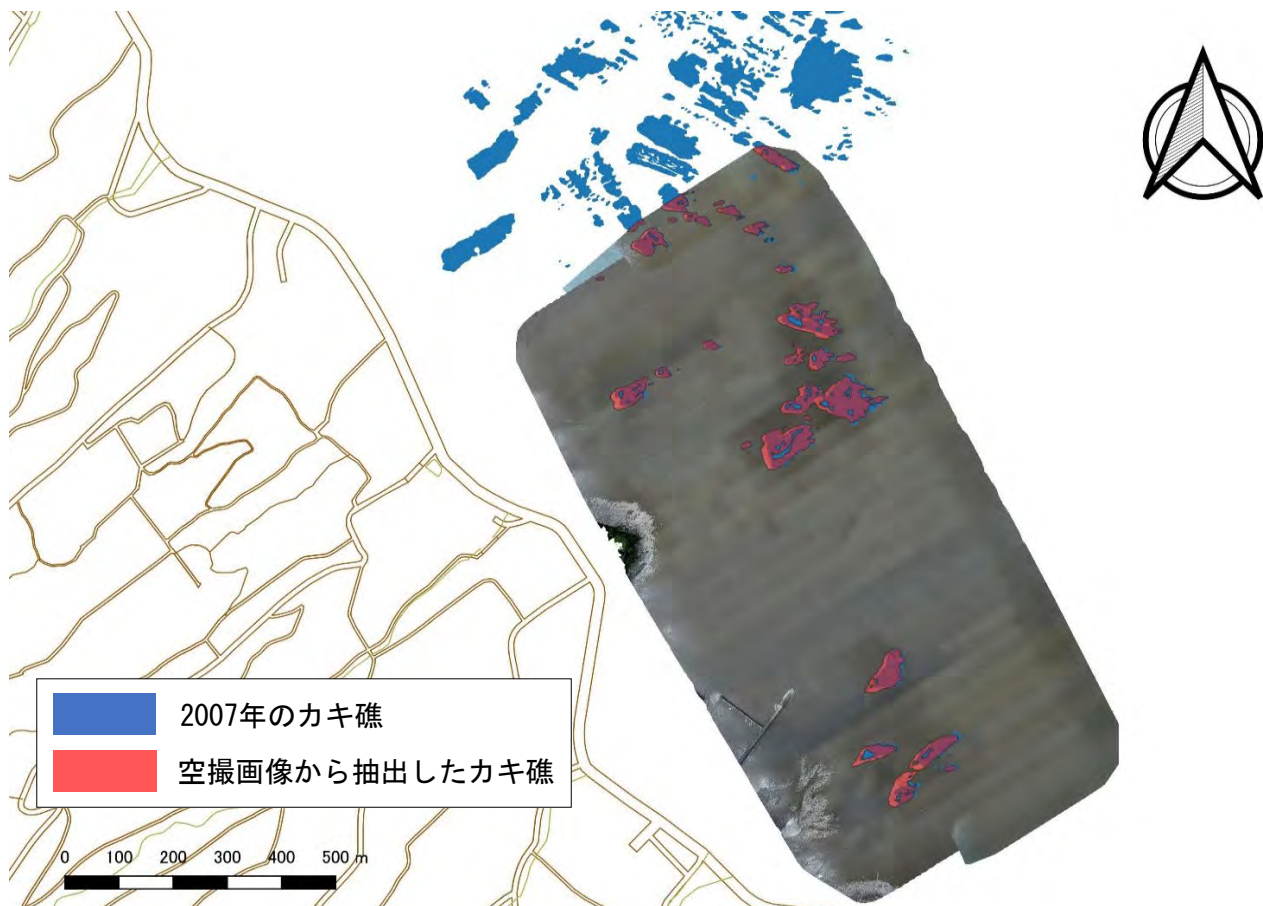


図 33 ドローン空撮画像と GIS データ

表 5 令和5年度撮影範囲および撮影範囲におけるカキ礁の面積

①令和5年度 撮影範囲	87.2 ha
②撮影範囲における 2007 年時点のカキ礁の面積	3.57 ha
③撮影範囲における現時点のカキ礁の面積 (空撮画像からカキ礁を抽出)	3.73 ha

(2) 底質パターンごとのバイオマス調査

1) カキバイオマス

浜川河口における底質パターンごとのカキバイオマスは、図 34 に示すとおりである。既存カキ礁では令和5年8月で14.1 kg/m²、10月で13.0 kg/m²、泥場では令和5年8月で0.3 kg/m²、10月で0 kg/m²、カキ殻混じり泥場では令和5年8月で0.2 kg/m²、10月で4.8 kg/m²であった。

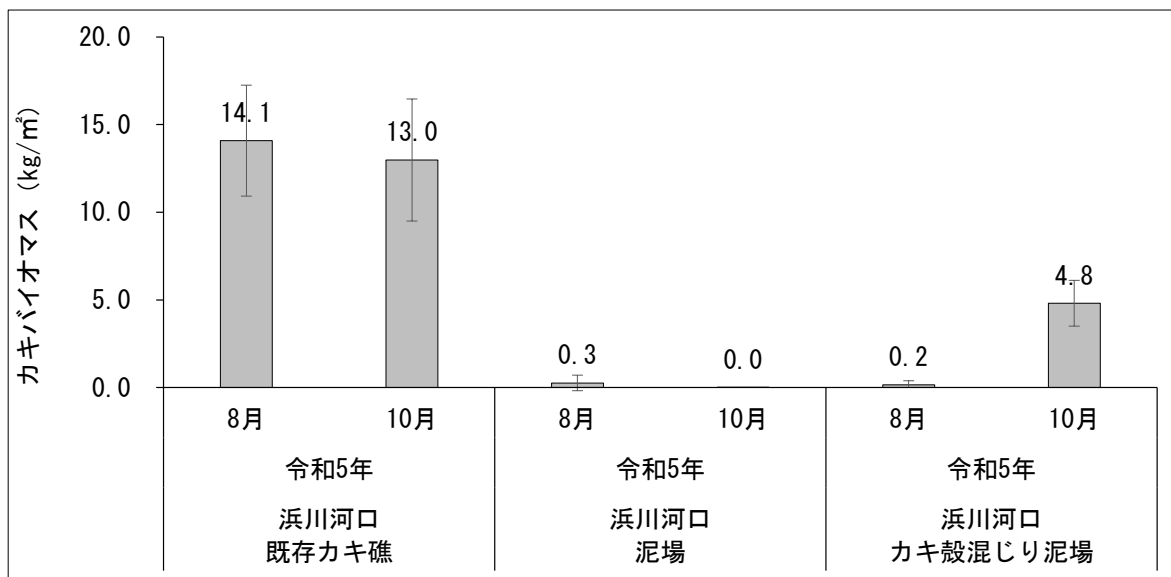


図 34 底質パターンごとのカキバイオマス

2) その他生物のバイオマス

浜川河口における底質パターンごとのカキ以外のその他生物のバイオマスは、図 35 に示すとおりである。既存カキ礁では令和5年8月で5.9 kg/m²、10月で5.1 kg/m²、泥場では令和5年8月で0.1 kg/m²、10月で0 kg/m²、カキ殻混じり泥場では令和5年8月で0.1 kg/m²、10月で1.0 kg/m²であった。

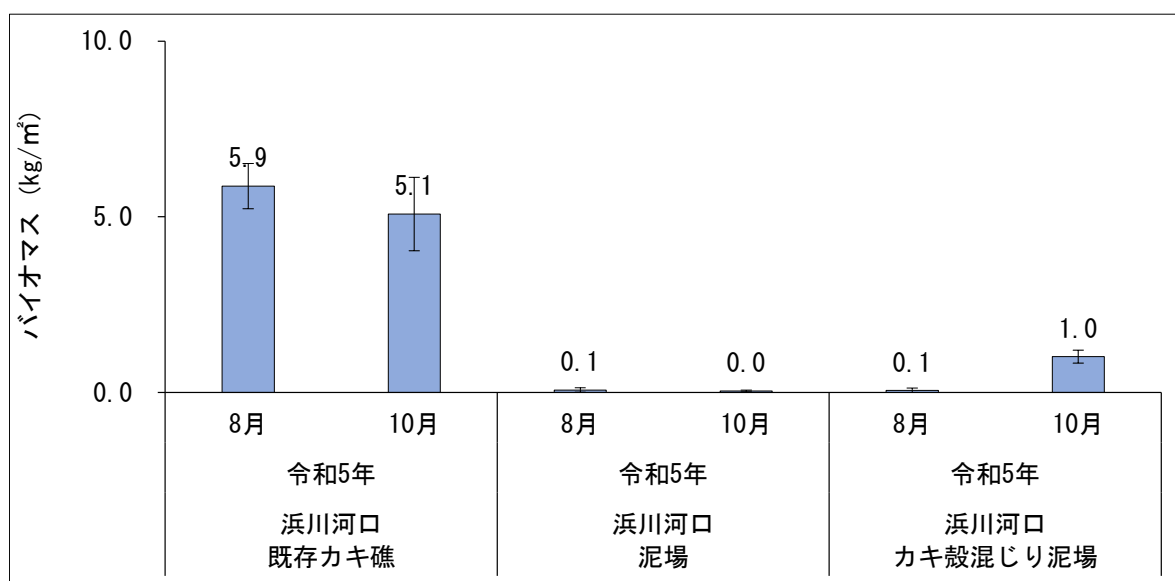


図 35 底質パターンごとのその他生物のバイオマス

3) 水質連続観測

浜川河口の実験区周辺における水質連続観測結果は、図 36 に示すとおりである。観測は令和 5 年 6 月 15 日～令和 5 年 9 月 30 日までの期間で実施した。観測期間内においては、8 月上旬に九州地方に上陸した台風 6 号の影響により、令和 5 年 8 月 5 日～14 日までの 10 日間でデータの欠測が生じた。

観測期間における塩分について、令和 5 年 7 月上旬から 7 月中旬にかけて低塩分化が確認された。塩分 15 を連続して下回った期間は令和 5 年 7 月 1 日～21 日の 21 日間となり、観測機器の干出時間を除くと全観測期間で 341 時間が下回った。塩分 10 を連続して下回った期間は令和 5 年 7 月 1 日～7 日の 7 日間および 7 月 9 日～20 日の 12 日間となり、観測機器の干出時間を除くと全観測期間で 270 時間が下回った。塩分 5 を連続して下回った期間は令和 5 年 7 月 10 日～13 日の 4 日間となり、観測機器の干出時間を除くと全観測期間で 101 時間が下回った。なお、台風 6 号通過後の令和 5 年 8 月 15 日および 8 月 23 日に実験区周辺の既存カキ礁のカキのへい死状況の確認を行ったが、カキの目立ったへい死は確認されなかった。

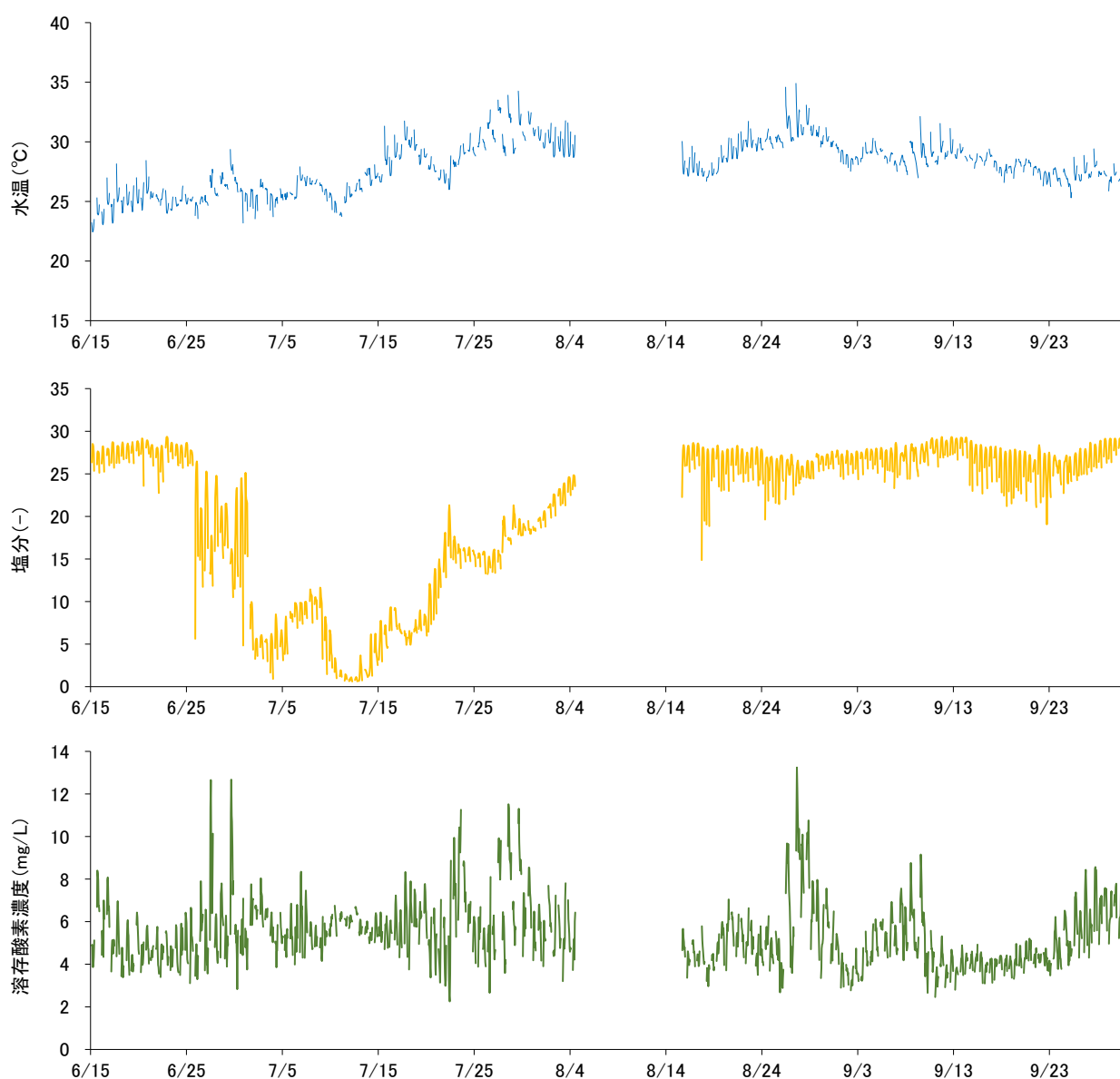


図 36 実験区周辺の水質連続観測結果（上：水温 中：塩分、下：溶存酸素濃度）

2.3.3 考察

(1) ドローン空撮によるカキ礁の位置・形状の更新

1) ドローン空撮画像から算出したカキ礁と 2007 年カキ礁の面積差

今年度の検証により、令和5年度空撮範囲におけるカキ礁面積は3.73haと算出され、既往の2007年カキ礁面積に比べて4.6%増加する結果となった。これらの面積増加については、経年的なカキ礁の分布の増減が要因の一つとして考えられるが、本事業と2007年の既往調査ではカキ礁の分布状況を把握するための調査手法が異なることから、カキ礁の成形精度の違いも要因の一つとして考えられる。したがって、本小課題で示した現状のカキ礁面積は成形精度の向上による面積増加の要因も持ち合わせており、2007年カキ礁との面積比は参考値の位置づけとした。

2) 当該海域の空撮実施範囲

過年度事業での空撮範囲を含め、今年度までに撮影した空撮画像をGIS図面に反映した。対象範囲は、有明海湾奥部の西部海域のうち、図37に示す範囲とした。そのうち、2007年時点でカキ礁が存在する任意の範囲（図37の赤枠）を抽出し、その面積は約835haと算出した。その中でこれまでに本事業（過年度事業を含む）で実施した空撮範囲は約485haであり、カキ礁が存在する任意の範囲のカバー率は約58%となった。したがって、当該海域の残りの空撮範囲は約350haとなり、今後、これら範囲の空撮を継続して実施し、既往の2007年時点のカキ礁GISデータを更新することで、当該海域におけるカキ礁の現況の情報図が完成する。

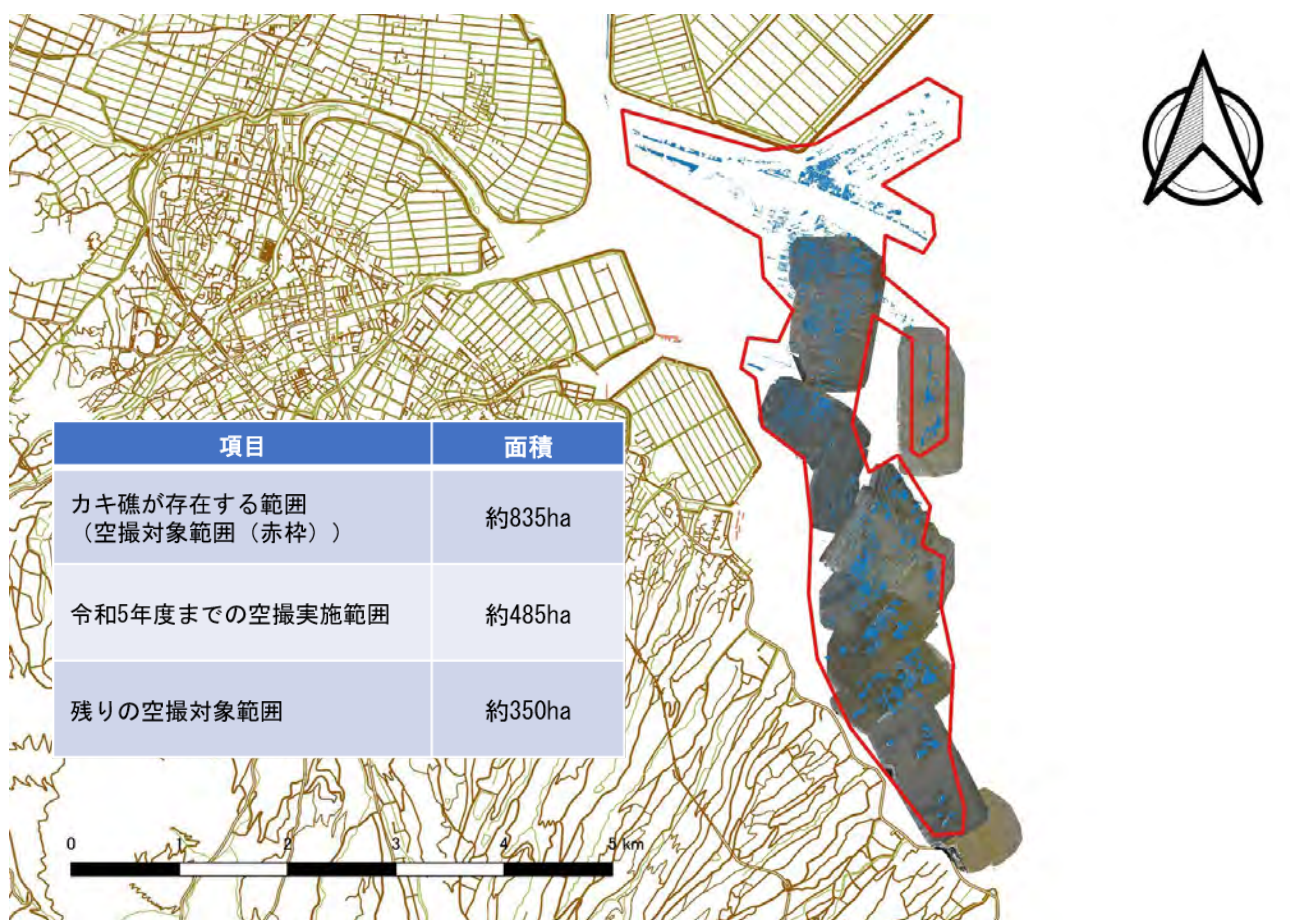


図 37 当該海域における空撮対象範囲

(2) 既存カキ礁でのカキバイオマス調査

過年度事業で実施した結果を含め、令和元年から令和5年における浜川河口の既存カキ礁のカキバイオマスの推移を整理した。なお、各年度の調査場所は、ほぼ同一のカキ礁上で実施しており、調査方法も30 cm四方の方形枠を用いた枠取り調査で統一されている。

浜川河口の既存カキ礁における過去5年間のカキバイオマス推移は、図38に示すとおりである。各年度の8月と10月におけるカキバイオマスは、11.7 kg/m²~20.2 kg/m²で推移しており、このうち、令和2年8月は当該海域を含む広域で低塩分化が確認され、カキのへい死が報告されている⁹⁾。このような生息環境の悪化によるカキバイオマスの低下が確認された結果を除くと、浜川河口の平均的なカキバイオマスは13~20 kg/m²の範囲にあるものと考えられる。なお、本結果においては、エイ類による食害が報告され、カキバイオマスが一時的に大幅に低下した際の結果は除いた。

平成29年から令和元年における浜川河口の既存カキ礁の平均カキバイオマスは約20 kg/m²と報告されている⁹⁾。それらと比較すると、令和元年から令和5年の平均カキバイオマスは15.6 kg/m²であり、平成29年から令和元年の平均値である20 kg/m²に近い値となったのは、令和3年10月の19.9 kg/m²、令和4年10月の20.2 kg/m²の2回のみであった。これにより、当該海域のカキバイオマスは経年的に低下していることが伺え、現在における浜川河口の平均カキバイオマスは15 kg/m²程度、最大でも20 kg/m²程度と評価するのが妥当であると考えられる。今後、低塩分や貧酸素等による生息環境の悪化、エイ類による食害等の影響を受けながらもカキバイオマスは季節的に増減するものと考えられるが、5年程度のスパンでみるとカキバイオマスは徐々に低下していく可能性が高い。そのため、本課題での着生材によるカキ礁造成に向けた取り組みは、減少傾向にあるカキ礁そのものの増加、また、海域全体でのカキバイオマスの増加に繋がり、貧酸素水塊の影響緩和にも寄与するものと考えられる。

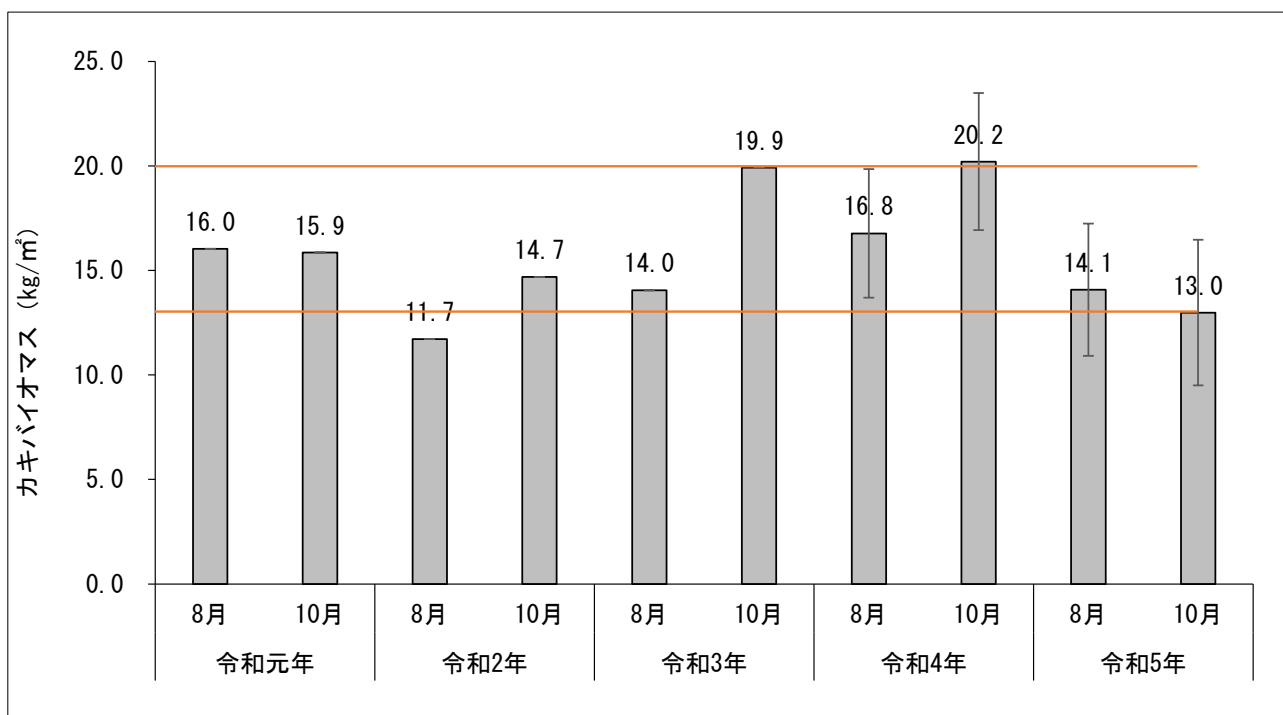


図38 浜川河口の既存カキ礁における過去5年間のカキバイオマス

3. カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証

3.1 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証

カキ礁による貧酸素水塊の影響軽減効果を評価するために、過年度事業で構築された物質循環モデルを用いて、本年度実施のカキ礁バイオマス調査の結果を考慮した条件により解析を実施し、得られた結果よりカキ礁分布による貧酸素水塊の軽減効果を検討した。解析は、詳細なカキ礁分布域の既往知見が存在する平成19年（2007年）に発生した貧酸素水塊を対象とした。

以下に、設定モデルによる解析結果より、貧酸素水塊の軽減効果を評価した。

3.1.1 方法

(1) 物質循環モデルの概要

貧酸素水塊軽減効果の検討に利用している物質循環モデルは、流動モデルとカキやアサリ等の二枚貝による有機物の摂餌や排泄などを考慮した水質モデルにより構成している。

流動モデルはPOM (Blumberg et al., (1987))¹⁰⁾を基本に設定し、水質モデルはCarl F. Cerco et al., (1995)により開発された富栄養化モデル¹¹⁾に、カキやアサリ等の二枚貝による有機物の摂餌や排泄などを考慮した。計算格子は、図39に示すとおり、有明海を200 m×200 mに区分して、外海に向かって格子サイズが大きくなる不等間隔格子を設定した。下図は、南端が計算領域の境界部である鹿児島県阿久根市、西端は長崎県樺島までを示したが、計算領域の西端境界部は、図の表示範囲より約90 km西方の福江島付近まで設定しており、最大格子幅は10,000 mである。

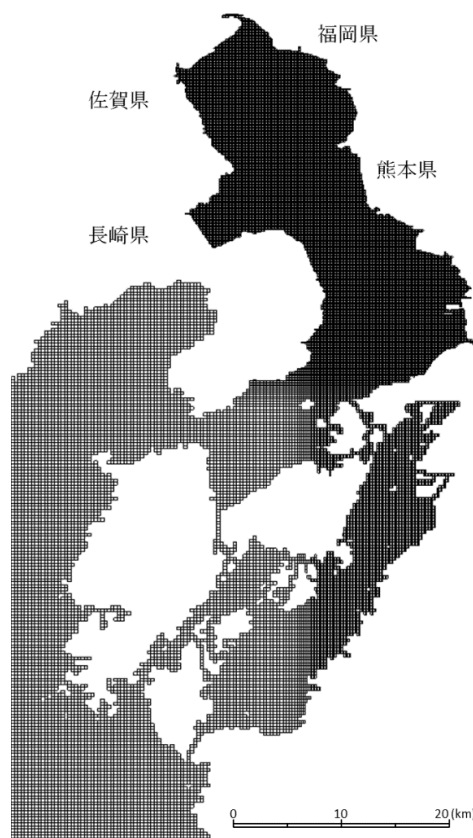


図 39 計算格子図（抜粋）

1) 物質循環の構造

平成31年度までに構築した物質循環モデル（図40）では、カキ礁のカキによる有機物の除去効果だけでなく、図41に示す漁場図のように佐賀県沿岸にアサリ漁場のほか、サルボウガイ漁場も広く分布することから、これら二枚貝による有機物除去効果も考慮できるように構築した。

カキ礁による貧酸素水塊の軽減には、カキ礁が摂餌、排糞および排泄を通じてモデルの最下層の物質とやり取りを行うことで関わっている。モデルに設定する各種パラメータは、本課題で得られた現地調査結果、そして独立行政法人水産総合研究センター(2013)¹²⁾および山口ほか(2015)³⁾を参考に設定した。

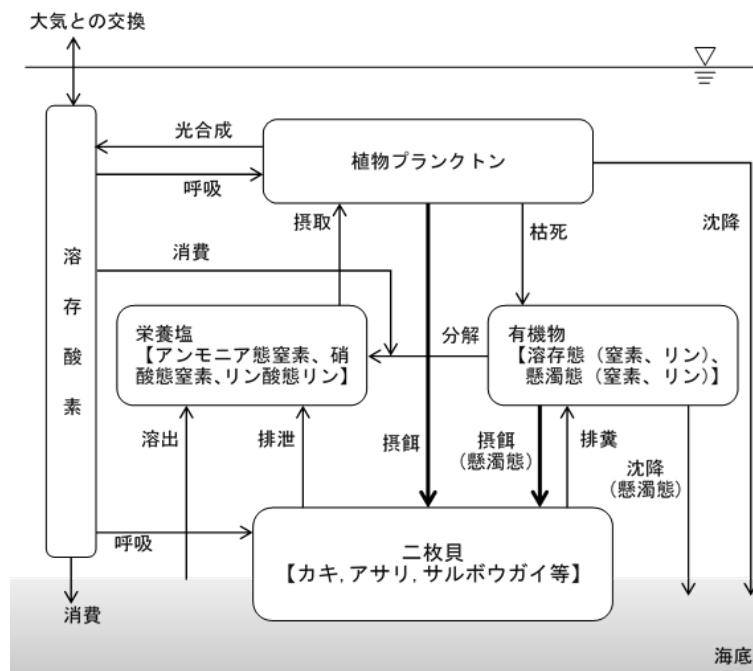


図40 物質循環モデルのイメージ図

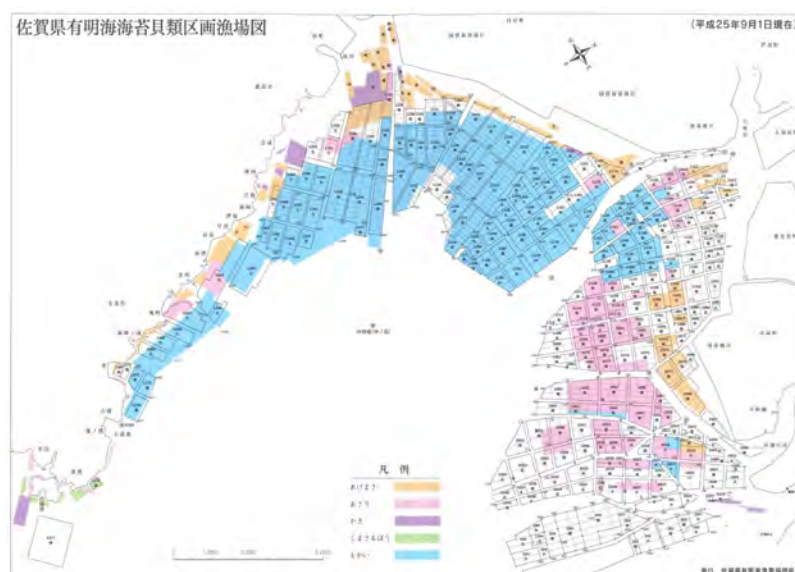


図41 佐賀県沿岸の貝類の漁場図

2) 物質循環モデルにおけるカキの主な基礎式

カキによる呼吸や摂餌等の反応式は、既往知見^{3), 12)}を参考に設定した。

以下に主な反応式を示した。

a. 呼吸

カキの呼吸による酸素消費は、カキ礁を構成するスミノエガキ、マガキ、シカメガキの3種について、それぞれ次式で表される。

・スミノエガキ

$$\log_{10} D_9 = (0.022 \times T + 0.197) \cdot \log_{10} DW + 0.035 \cdot T - 0.866$$

・マガキ

$$\log_{10} D_9 = 0.663 \cdot \log_{10} DW + 0.032 \cdot T - 0.755$$

・シカメガキ

$$\log_{10} D_9 = 0.689 \cdot \log_{10} DW + 0.047 \cdot T - 1.105$$

D_9 : カキによる酸素消費量、 T : 最下層水温、 DW : カキの軟体部乾燥重量である。

3種類のカキの生物量比は、現地調査結果に基づいて設定されている既往知見より、スミノエガキ:マガキ:シカメガキ= 4:3:3 とした。

b. 摂餌

カキによる摂餌は、カキ礁の分布場所での底層水中での植物プランクトン量（炭素，窒素，リン）と懸濁態有機物量（炭素，窒素，リン）に濾水速度を積算して算定した。濾水速度には、水温，塩分その他、懸濁物濃度や、カキの生息密度の影響を考慮している。

$$BS_1 = (Pc + Pn + Pp + POC + PON + POP) \times FR$$

$$FR = f(T, S) \times f(SS) \times f(BSF) \times Xm^{FRc}$$

BS_1 : カキによる摂餌量、 Pc, Pn, Pp : 植物プランクトン体炭素，窒素，リン、 POC, PON, POP : 懸濁態有機炭素，懸濁態有機窒素，懸濁態有機リン、 FR : カキの濾水速度、 Xm : カキの平均個体乾燥重量、 FRc : カキの濾水速度に関する定数、 $f(T, S)$: カキの濾水速度に対する水温・塩分の依存関数であり、次式で表される。

$$f(T, S) = T_{Coef} \times T + S_{Coef} \times S + cst$$

T_{Coef} , S_{Coef} : 水温，塩分に関する係数、 cst : 定数である。 $f(SS)$: 懸濁物濃度（SS）による摂餌制限関数であり、次式で表される。

$$f(SS) = A_{SS} \times \exp(B_{SS} \times SS)$$

A_{SS} , B_{SS} : SS による摂餌制限に関する係数である。 $f(BSF)$: 濾水速度に対するカキ密度依存関数であり、ミカエリスメンテン型の次式で表される。

$$f(BSF) = \frac{K_{BSF}}{BSF + K_{BSF}} A_{SS}$$

K_{BSF} : カキ密度の半飽和定数である。

c. 排糞

カキによる排糞は、摂餌量 (BS_1) のうち同化しない分が、糞生産速度に従い懸濁態有機物量 (炭素, 窒素, リン) として底層に排出するとして、次式で表される。

$$BS_2 = \alpha_{bsf} \times (1 - ASSI_{bsf}) \times BS_1$$

BS_2 : カキによる排糞量、 α_{bsf} : 糞生産速度定数、 $ASSI_{bsf}$: 同化係数、 BS_1 : カキによる摂餌量である。

d. 排泄

カキによる排泄は、個体サイズおよび水温が影響するように、次式で表される。

$$BS_3 = \beta_{bsf} \times 10^{Q_{10}BS_3 \times T} \times X_m^{\beta BS_3 X_m + \alpha BS_3 X_m \times T}$$

BS_3 : カキによる排泄量、 β_{bsf} : アンモニア排出速度定数、 $Q_{10}BS_3$: アンモニア排出の温度係数、 $\alpha BS_3 X_m$: アンモニア排出と個体サイズの関係についての温度係数、 $\beta BS_3 X_m$: アンモニア排出と個体サイズの関係についての定数である。

(2) 物質循環モデルによる解析

1) カキ礁の分布による貧酸素水塊の軽減効果の検討 (目標とするカキバイオマス条件による検討)

カキ礁が分布することによる貧酸素水塊の軽減効果を検討するために、カキ礁無し条件 (ケース 1) とカキ礁の分布を設定した解析をケース 2 として実施した。ケース 2 のカキ礁条件は、国立研究開発法人水産研究・教育機構 西海区水産研究所 (現 長崎庁舎) より調査結果の提供を受けた 2007 年カキ礁分布域²⁰⁾に、過年度事業で造成の目標とするカキバイオマスとして検討された 20 kg/m^2 を設定した。なお、目標とするカキバイオマスは、平成 29 年度および平成 30 年度の関連事業で得られた天然カキ礁のバイオマス調査結果より設定した値である。

設定するカキ礁の空間スケールは、計算格子サイズ ($200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$) に比べて小さく、各格子によってカキ礁の密度が異なる。そこで、山口ほか (2015)³⁾を参考に、カキ礁が占める面積割合を被覆度 (0 から 1.0) で表し、各格子のカキ生物量を次式で表した。

$$\text{各格子のカキ生物量} = \text{各格子の面積} (\text{m}^2) \times \text{被覆度} \times \text{カキ礁の平均密度} (\text{gC/m}^2)$$

また、解析ではカキの他、アサリおよびサルボウガイの分布も考慮した。アサリの分布域は図 43 に示した伊藤 (2005) による 2000 年代のアサリ漁場の図¹⁴⁾より設定し、サルボウガイの分布域は前掲の図 41 の漁場図より設定した。各生物量は、中村ほか (2003) が整理しているアサリおよびサルボウガイの生物量と

漁獲量の比率¹⁵⁾を参考に、アサリは漁獲量の約 1.5 倍 ($0.6\text{gC}/\text{m}^2$)、サルボウガイは漁獲量の約 4.5 倍 ($14.4\text{gC}/\text{m}^2$) を設定した。漁獲量は、第 55 次佐賀県農林水産統計年報（九州農政局, 2009）の報告値¹⁶⁾を用いた。なお、カキ礁内には、カキ以外の二枚貝も現地調査により存在することが確認されていることから、二枚貝としてアサリを設定し、生物量は、調査結果よりカキ生物量の 15% を設定した。



図 42 2007 年のカキ礁分布（■：カキ礁）



引用:伊藤(2005).有明海における二枚貝について「主要種の漁獲量減少要因の分析」.第 15 回有明海・八代海総合調査評価委員会 配布資料 3 より一部抜粋

図 43 アサリの分布条件

2) 今年度カキバイオマス条件による貧酸素水塊軽減効果の検討（ケース3）

過年度事業において、有明海の湾奥西部沿岸のカキ礁分布域では、図 44 に示す様に七浦地先における既存カキ礁のカキバイオマスが事業開始当初より減耗し、その後回復していないことが確認され、場所によりカキバイオマスが大きく異なっていることが推測された。そのため、現地状況を踏まえて湾奥西部沿岸のカキ礁分布域を4エリアに区分し、各エリアのカキバイオマス条件には、それぞれの地点で得られた調査結果を設定した（図 45）。設定したカキバイオマスは貧酸素水塊の軽減に寄与する夏季の調査結果を用いたが、今年度調査結果においても七浦地先のカキバイオマスは回復しておらず 0.3 kg/m^2 と非常に少ない状況であった。なお、設定したカキ礁分布域は、2007 年のカキ礁分布である。

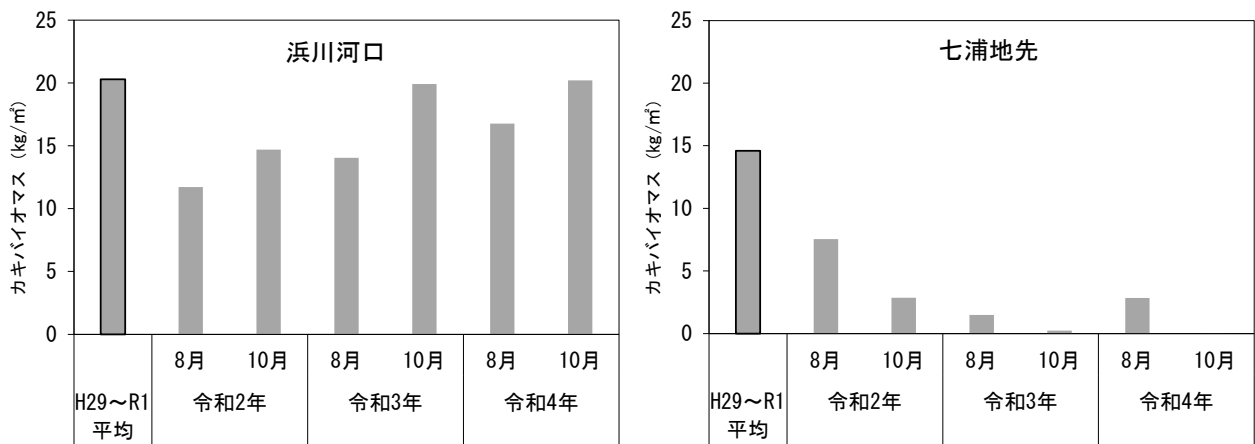


図 44 過年度事業で得られた浜川河口と七浦地先における既存カキ礁のカキバイオマスの推移

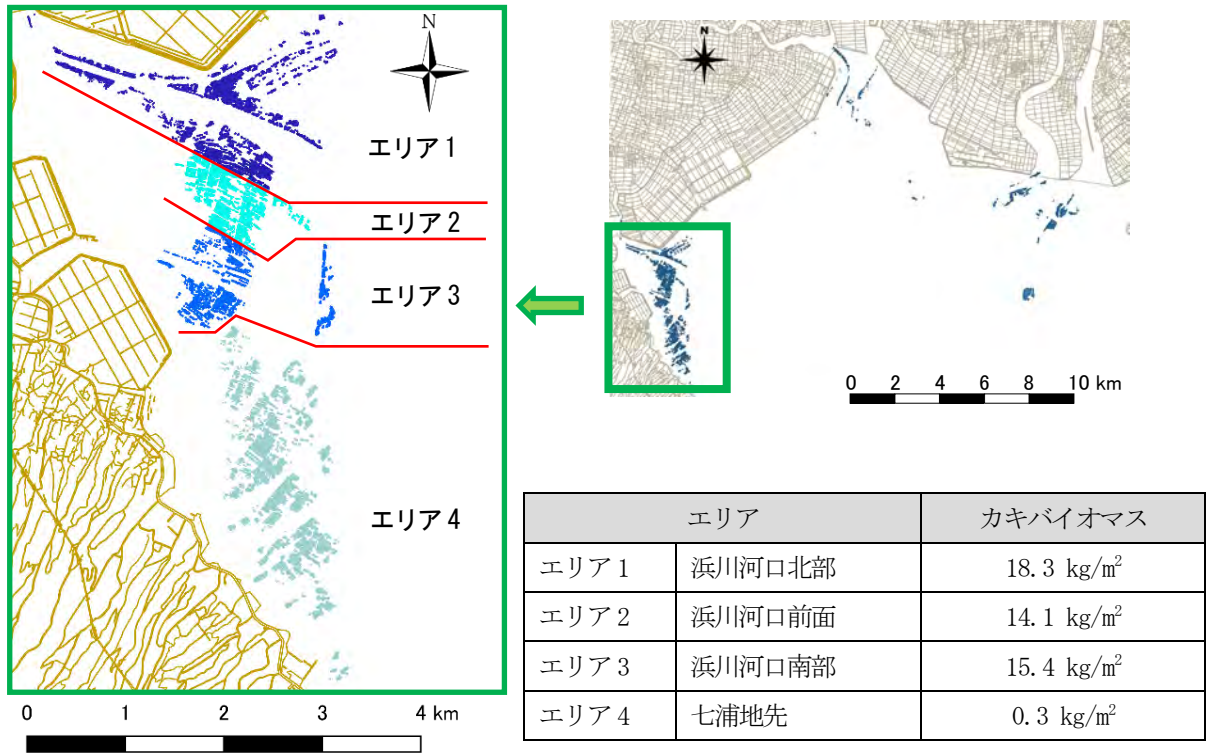


図 45 エリア別のカキバイオマス

3.1.2 結果

(1) カキ礁の分布による貧酸素水塊の軽減効果の検討（目標とするカキバイオマス条件による検討）

カキ礁の分布による貧酸素水塊の軽減効果を検討するために実施したケース 1（カキ礁無し条件）およびケース 2（2007 年カキ礁分布に造成の目標とするカキバイオマス条件）の解析結果より、溶存酸素の低濃度域が広く分布した平成 19 年 8 月 23 日の水平分布図を図 46 に示した。カキ礁無し条件のケース 1 では、湾奥部の広い範囲に 3.0 mg/L 以下の分布が見られ、岸に近づくにつれて濃度低下しており、干潟縁辺付近に沿って 1.0 mg/L 以下が分布した。カキ礁条件を設定したケース 2 では、ケース 1 と同様の分布となったが、低濃度の範囲が狭くなる傾向となった。

溶存酸素濃度の低下は、生物生息環境に大きく影響する。佐賀県沿岸に広く漁場が存在するサルボウガイ、および有明海における水産有用二枚貝の一つであるアサリで見ると、無酸素状態（水温 25℃, DO 0.05mg/L）の海水による飼育実験で、アサリは 1 日目に死亡個体が出現し、サルボウガイでは 7 日目まで死亡個体が出現しなかったことが報告されている¹⁷⁾。また、日向野ら（2009）は、貧酸素に加えて硫化水素の影響を考察している¹⁾。海水中の硫化物に関しては、海水中の DO が 1.0mg/L 以下になると上昇することが柿野（1985）により報告されている¹⁸⁾。

そこで、本検討での貧酸素水塊は、海水中の DO が 1.0mg/L 以下を対象とし、得られた解析結果より底層 DO が 1.0 mg/L 以下となる水塊の容積変化を求めて比較した（図 47）。底層 DO が 1.0 mg/L 以下となる貧酸素水塊の容積変化では、貧酸素水塊が形成されはじめた当初より、ケース 2 がケース 1 よりも小さな容積で時間変化しており、カキ礁の分布による軽減効果が見られた。なお、貧酸素水塊は小潮期にかけて増大して大潮期に縮小しており、小潮期に成層が強化されて貧酸素水塊が発達する¹⁹⁾傾向がみられた。また、この容積の積算値でケース間を比較した結果、図 48 に示す様に 2007 年のカキ礁分布域に目標とするカキバイオマスでカキ礁が存在することにより貧酸素水塊の積算容積の低減が予測され、その軽減率は 21 % であった。

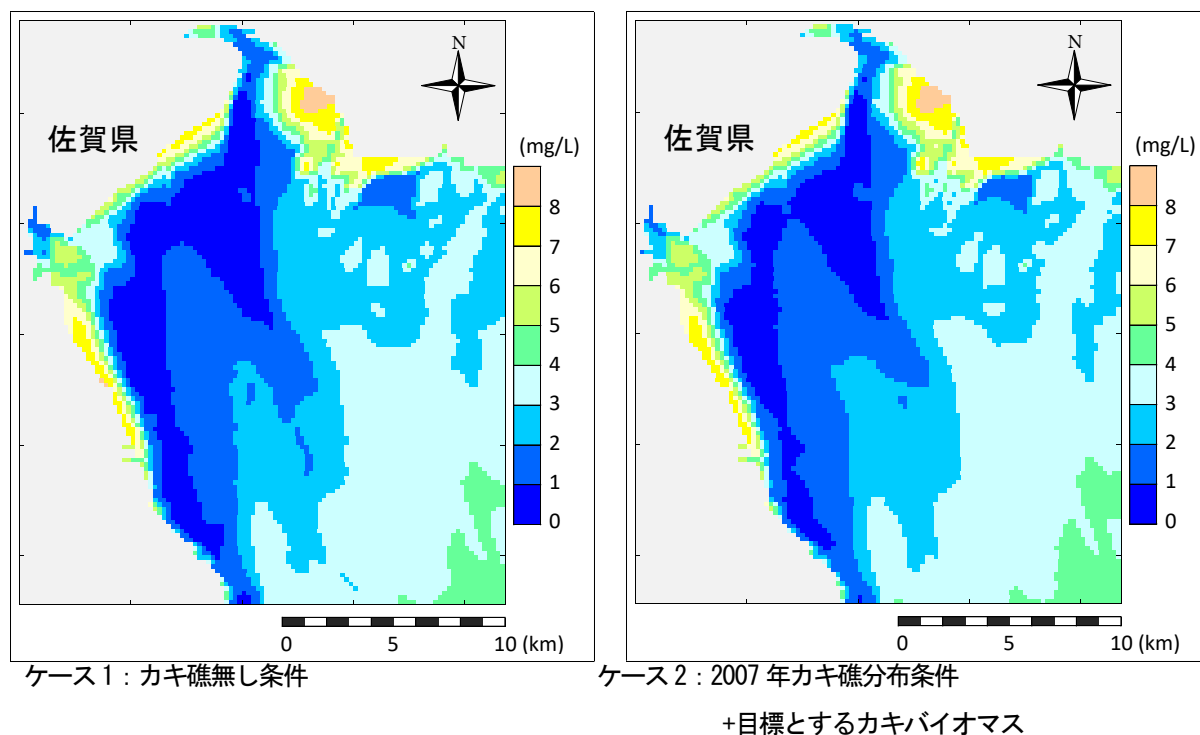


図 46 底層 DO の水平分布比較

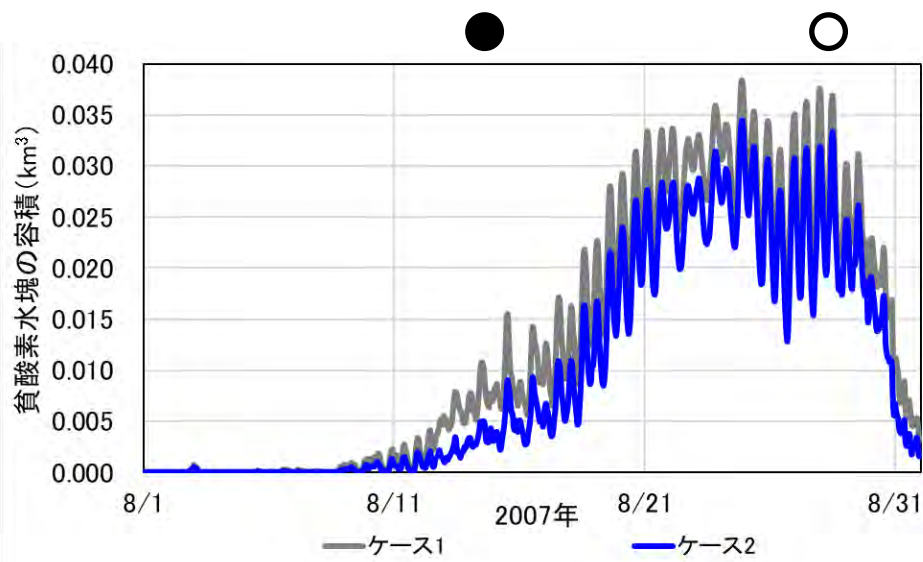


図 47 底層 DO が 1.0 mg/L 以下となる容積の変化（ケース 1：カキ礁無し条件，
ケース 2：2007 年カキ礁分布条件+目標とするカキバイオマス）

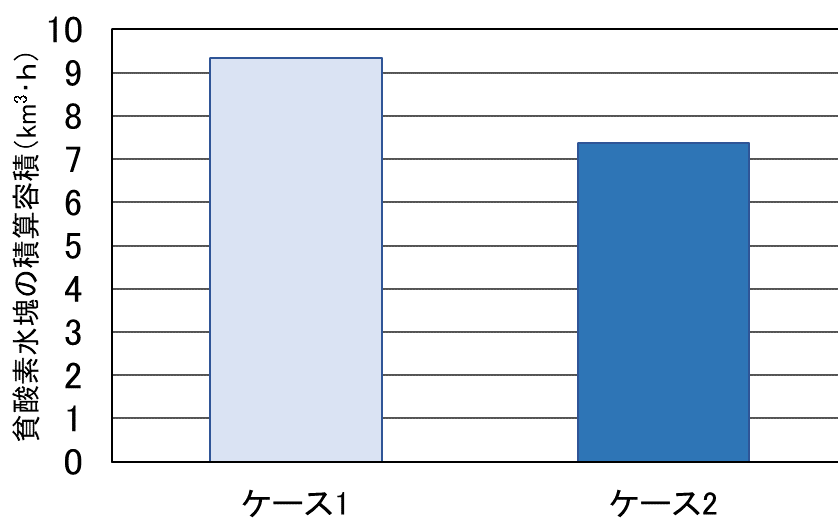


図 48 貧酸素水塊の積算容積のケース間比較（ケース 1：カキ礁無し条件，
ケース 2：2007 年カキ礁分布条件+目標とするカキバイオマス）

(2) カキバイオマスを変更したカキ礁による貧酸素水塊軽減効果の検討（ケース3）

上記(1)で実施したケース2の条件では、面積161 haに目標とするカキバイオマス20 kg/m²を設定した(表6)。しかし、現地調査によりカキバイオマスが大きく減少している場所も確認されたことから、区分したエリア毎に調査結果によるバイオマスを設定した解析をケース3として実施した。なお、調査結果は西部沿岸のカキ礁域のみであり、六角川河口部や筑後川河口部のカキ礁のバイオマスはケース2と同じく目標とするカキバイオマス20 kg/m²を設定した。

設定したバイオマスはケース2の条件に比べて少なく(表6)、貧酸素水塊の積算容積を比較した結果においても、ケース1のカキ礁無しケースからの軽減率が17 %となり、ケース2による軽減率21 %に比べて小さくなるものと予測された。

表6 各ケースのカキ礁条件

ケース	カキ礁分布域	カキ礁面積	カキバイオマス
ケース1：カキ礁なし	－	－	－
ケース2：2007年カキ礁分布+目標とするカキバイオマス	全域	161 ha	20 kg/m ²
ケース3：2007年カキ礁分布+今年度調査結果のカキバイオマス	エリア1(図45)	29 ha	18.3 kg/m ²
	エリア2(図45)	13 ha	14.1 kg/m ²
	エリア3(図45)	12 ha	15.4 kg/m ²
	エリア4(図45)	36 ha	0.3 kg/m ²
	他エリア※	71 ha	20 kg/m ²

※他エリア：六角川や筑後川の河口近くなどに分布するカキ礁域

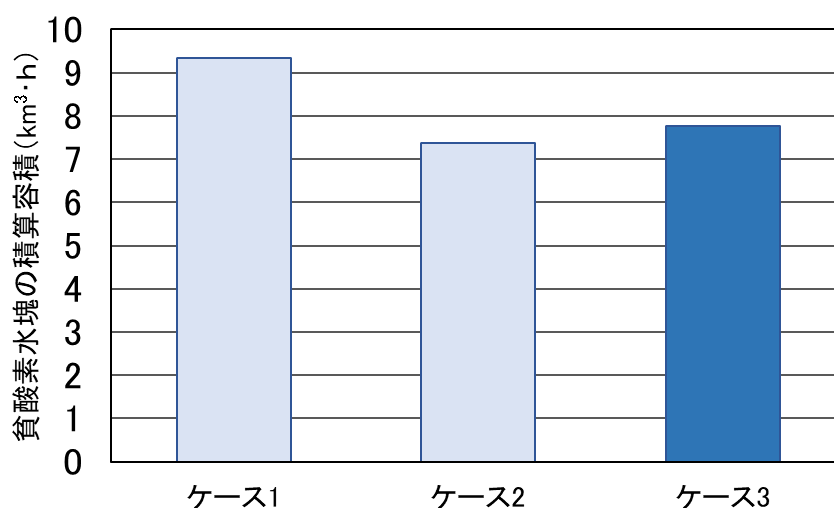


図49 貧酸素水塊の積算容積のケース間比較（ケース1：カキ礁無し条件，
ケース2：2007年カキ礁分布条件+目標とするカキバイオマス，
ケース3：2007年カキ礁分布条件+今年度調査結果のカキバイオマス）

3.1.3 考察

今年度のカキバイオマス調査結果より、場所によってカキバイオマスが大きく異なることが確認された。特に七浦地先では、過年度事業でもカキバイオマス調査が実施されており、図 50 に示す図のように令和元年 8 月に 25 kg/m^2 を超えていた。しかし、10 月調査時には泥土が堆積し、バイオマスの大きな減耗が確認された。令和元年 8 月と 10 月の調査の間には、佐賀県では六角川などが溢れ、家屋や田畑の浸水被害が相次いだ大雨が発生しており、これに伴う土砂流出が影響したものと考えられた。その後、令和 2 年および令和 3 年も続けて大雨が発生しており、これらの影響も受けたためか、七浦地先の調査点ではカキバイオマスの回復に至っていない。カキ礁の存在が貧酸素水塊の軽減に効果を有することが、ケース 1 からケース 3 の解析結果からも期待されることから、減耗したカキバイオマスの早期回復が望まれた。

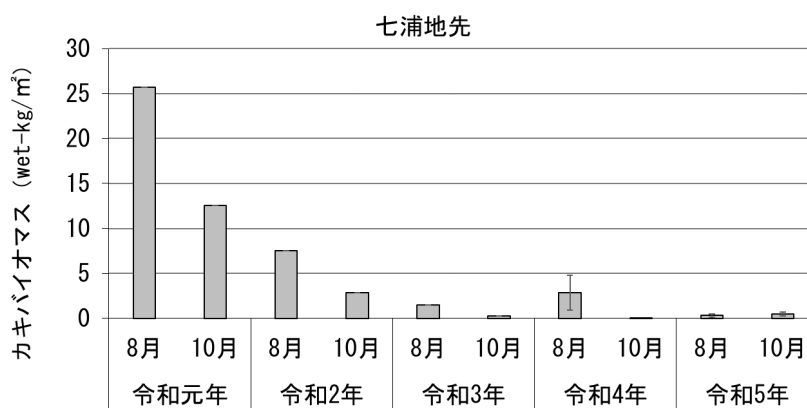


図 50 七浦地先のカキバイオマス調査結果

また、過年度事業で現状ケースとされていたケース 2 (カキバイオマスは全域一様の 20 kg/m^2) による貧酸素水塊の軽減効果が、今年度を実施したカキバイオマス調査結果を反映した結果よりも高く現れていたことが予測された。そのため、カキ礁を造成した時の効果も過年度事業で検討された結果と変化する可能性が考えられた。そこで、今年度のカキバイオマス調査結果を利用したケース 3 を基本として、過年度事業で検討されたカキ礁造成可能域にカキ礁を造成した時の効果を検討するために、ケース 4 としてカキ礁造成ケースの解析を実施した。

カキ礁造成可能域は、図 51 に示した範囲であり、過年度事業で目標とされた 20 kg/m^2 で造成されることを想定した。なお、カキ礁造成のための着生材は、過年度事業で検討された配置計画に従い、カキ礁の幅を 8 m、隣り合うカキ礁同士の幅 (船舶の航行路) を 8 m とした。カキ礁の長さは、60~100 m で検討されていること、計算格子が 200 m 四方であることから、船舶の航行路となる幅 8 m を考慮して、長さ方向に 2 つのカキ礁が設定できる 92 m とした。この条件により、カキ礁造成可能域のカキ礁の被覆度を 0.48 と設定した。これよりカキ礁造成面積は約 54 ha となった。設定したカキ礁条件は図 51 に示す通りである。

得られた解析結果は、図 52 に示したようにケース 3 の結果よりも貧酸素水塊の軽減効果が高まり、ケース 2 と同程度の効果になると予測された。

以上より、過年度事業の調査結果で得られたカキバイオマス (目標とするバイオマス) による貧酸素水塊の軽減効果と同程度の効果を得るためには、新たにカキ礁を造成する、もしくは大きく減耗したカキバイオマスの回復が望まれた。なお、七浦地先のカキバイオマスは、過年度事業から調査が継続されている 1 地点の調査結果であることから、同地先内の他の場所のカキバイオマスの状況を把握することも望まれた。

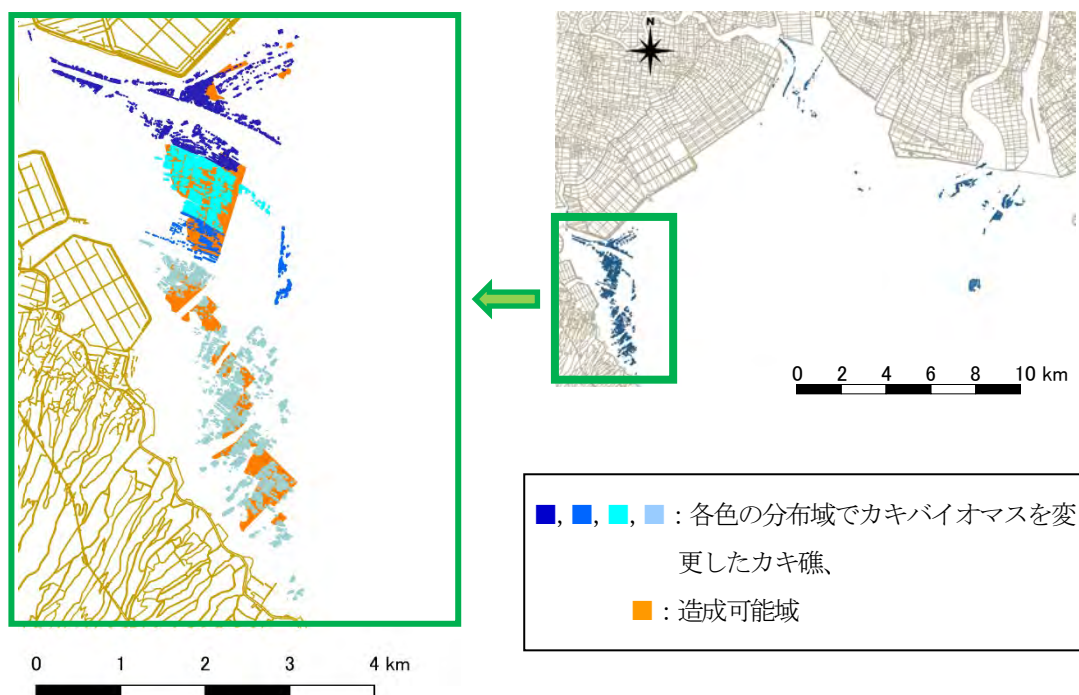


図 51 エリア区分した西部海域のカキ礁とカキ礁造成可能域

表 7 ケース 4 のカキ礁条件

	カキ礁面積	カキバイオマス
カキバイオマス変更エリア	90 ha	0.3～18.3 kg/m ²
カキ礁造成エリア	54 ha	20 kg/m ²
他エリア※	71 ha	20 kg/m ²

※他エリア：六角川や筑後川の河口近くなどに分布するカキ礁域

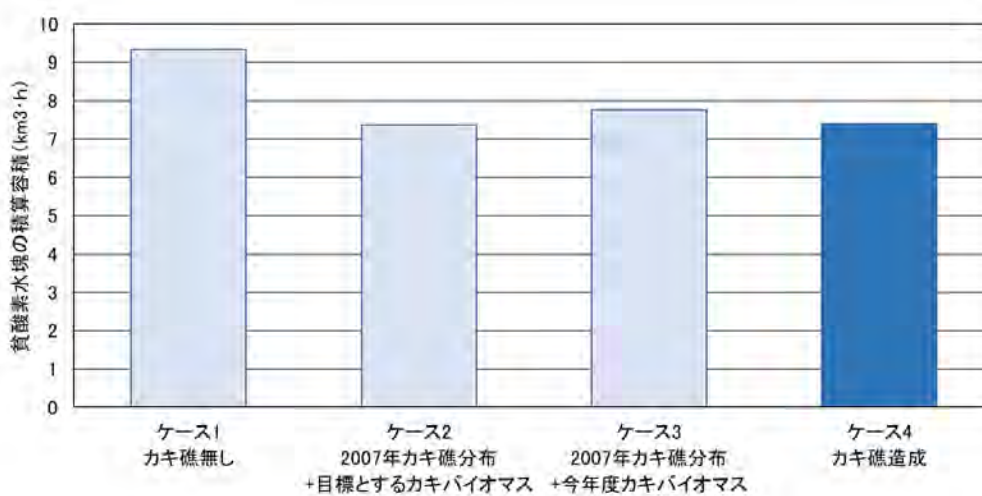


図 52 貧酸素水塊の積算容積のケース間比較

4. 中課題としての成果と課題

4.1 目標の達成状況について

各小課題における目標の達成状況を以下に示す。

小課題 4-1 カキ礁造成方法の開発

本小課題では、カキ礁造成方法の開発として、金網ロール式着生材によるカキの着生量を把握するための「着生材によるカキ礁造成技術」、金網ロール式着生材により造成中のカキ礁の形状や高さを評価するための「カキ礁造成効果の評価」、ドローンによる空撮画像から現状のカキ礁の位置や形状の把握、また、実験区周辺の底質パターンごとのバイオマスを把握するための「環境調査等」を実施した。それぞれの目標達成状況は、表 8～表 10 のとおりである。

表 8 着生材によるカキ礁造成技術の目標達成状況

目標	判定結果（達成状況）	
令和 4 年度に浜川河口の既存カキ礁近傍に設置した金網ロール式着生材の設置 2 年目のカキ着生量を把握する。	○	令和 4 年 6 月に設置した金網ロール式着生材の設置 2 年目のカキ着生量を把握するとともに、複数世代が付着し合った多重立体構造を成すカキ礁に向けて順調に推移していることを把握した。
令和 5 年度に浜川河口の既存カキ礁に隣接する泥場とキ殻混じり泥場に設置した金網ロール式着生材の設置 1 年目の着生量を把握する。	○	令和 5 年 6 月に泥場とカキ殻混じり泥場に設置した金網ロール式着生材の設置 1 年目のカキ着生量を把握した。
浜川河口の既存カキ礁に隣接する泥場やカキ殻混じり泥場に設置した金網ロール式着生材へのカキ殻散布効果を把握するために、散布したカキ殻の残存の程度やカキ殻へのカキの着生の有無を把握する。	○	散布したカキ殻は出水後等においても底質中に残存することを把握し、金網の底質への埋没を緩和させる効果が期待された。また、散布したカキ殻へのカキの着生は確認されなかったことから、カキ殻の散布時期を見直すとともに、着生材設置場所の条件に応じた具体的なカキ礁造成方法として、設置 2 年目以降における個別手法を立案し、今後の検討課題とした。

表 9 カキ礁造成効果の評価の目標達成状況

目標	判定結果（達成状況）	
着生材によるカキ礁造成の評価として、着生材設置前後での地盤高の変化を経年的に把握する。 →令和 5 年度は着生材設置前の現地盤の高さを把握	○	令和 5 年度に金網ロール式着生材を設置した泥場とカキ殻混じり泥場における着生材設置前の地盤高を把握するとともに、隣接するカキ礁の地盤高から造成するカキ礁の高さの目標値を把握した。

表 10 環境調査等の目標達成状況

目標	判定結果（達成状況）	
ドローンによる空撮画像から撮影範囲のカキ礁の位置や形状を特定し、既往の 2007 年時点のカキ礁の位置や形状を示す GIS データを更新する。	○	令和 5 年度の空撮範囲におけるカキ礁の位置や形状を特定し、既往の 2007 年時点のカキ礁の位置や形状を示す GIS データを更新するとともに、当該海域における空撮対象範囲（面積）および過年度事業を含んだ空撮実施範囲（面積）を推定した。
浜川河口の既存カキ礁周辺における底質パターンごとのカキおよびその他生物のバイオマスを把握する。また、夏季における実験区周辺の水質環境を把握する。	○	実験区周辺の既存カキ礁、泥場、カキ殻混じり泥場の底質パターンごとのカキおよびその他生物のバイオマスを把握するとともに、過年度事業の調査結果を踏まえた浜川河口の平均的なカキバイオマスを把握した。また、水温、塩分、溶存酸素濃度の連続観測結果から、今年度の夏季における実験区周辺の水質環境を把握した。

小課題 4-2 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証

本小課題では、当該海域の貧酸素水塊の軽減効果を把握するための「カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証」を実施した。目標達成状況は、表 11 のとおりである。

表 11 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の検証の目標達成状況

目標	判定結果（達成状況）	
当該海域（西部海域）のカキ礁をエリアごとに区分し、各エリアのバイオマス調査結果を考慮した貧酸素水塊の軽減効果を把握する。	○	今年度のバイオマス調査から得られたエリアごとのカキバイオマスを 2007 年カキ礁分布条件に反映し、貧酸素水塊の軽減効果を把握した。

4.2 今年度の成果と今後の課題

今年度の成果と今後の課題は、表 12 のとおりである。

表 12 5 か年の成果と今後の課題

小課題	成果	課題
4-1 カキ礁 造成方 法の開 発	① 金網ロール式着生材の経年的なカキ着生量を把握するとともに、散布したカキ殻の残存の程度からカキ殻の散布時期を見直し、着生材設置場所の条件に応じた具体的なカキ礁造成方法として、設置 2 年目以降における個別手法を立案した。 ② 現地測量により、実験区周辺の地盤高を把握し、泥場やカキ殻混じり泥場の実験区におけるカキ礁造成の目標値（高さ）を把握した。 ③ 空撮画像から現在のカキ礁の形状や面積を算出し、既往の 2007 年カキ礁の位置や形状を示す GIS データを更新した。 ④ 浜川河口の実験区周辺の底質パターンごとのカキバイオマスを把握し、経年的なカキバイオマスの変動を把握した。	① 泥場等の底質パターンに設置した着生材の設置 2 年目以降のカキ着生量を検証するとともに、着生材設置場所の条件に応じた個別の具体的な造成手法の現地検証を行う必要がある。 ② 実験区周辺の現地測量を継続して実施し、着生材設置 2 年目の地盤高等の変化を確認し、造成中のカキ礁の評価を行う必要がある。 ③ 当該海域における空撮未実施範囲の空撮を実施し、既往の 2007 年カキ礁の位置や形状を示す GIS データを更新する必要がある。 ④ 浜川河口の実験区周辺におけるバイオマス調査を継続して実施し、引き続き経年的なカキバイオマスの変化を把握する必要がある。
4-2 カキ礁 造成に よる貧 酸素水 塊の軽 減効果 の検証	① 詳細なカキ礁分布データが存在する 2007 年の分布を条件に、今年度調査で得られたカキバイオマスを設定し解析した結果、約 17%の貧酸素水塊の軽減効果が得られると推測された。	① 過年度からのカキバイオマスの調査結果より、特に七浦地先の調査点で大きく減耗しており、その後の回復が確認されていない。ただし、七浦地先の 1 地点の調査結果であることから、本地先の他の場所でのカキバイオマスの把握が望まれた。

参考文献

- 1) 日向野純也, 品川明. アサリの代謝生理からみた貧酸素の影響とその対策. アサリと流域圏環境—伊勢湾・三河湾での事例を中心として(生田和正, 日向野純也, 桑原久実, 辻本哲郎編). 恒星社厚生閣, 東京, 2009; 87-100.
- 2) 八谷三和. 有明海のカキの水質浄化機能. 水産総合研究センター研究開発情報. 2014; 15: pp2.
- 3) 山口創一・速水祐一・木元克則(2015) カキ礁による有明海貧酸素水塊の抑制効果. 沿岸海洋研究, 53(1), 25-38.
- 4) 伊豫岡宏樹, 小川裕樹, 楠田哲也. 有明海奥部におけるカキ礁分布とカキ養殖による環境改善効果. 環境工学研究論文集. 2008; 45: 501-506.
- 5) 佐賀県有明水産振興センター. 佐賀県有明海域カキ生産量(殻付き湿重量). 2012.
- 6) 株式会社東京久栄. カキ礁育成と維持管理に関する技術マニュアル. 2012.
- 7) 環境省. 有明海・八代海等総合調査評価委員会 生物・水産資源・水環境問題検討作業小委員会(第14回) 配布資料8, 2016.
- 8) 一般社団法人マリノフォーラム21, 海洋エンジニアリング株式会社, 日本ミクニヤ株式会社, 株式会社東京久栄, 株式会社水圏科学コンサルタント, いであ株式会社. 令和4年度有明海のアサリ等の生産性向上実証事業報告書. 2023.
- 9) 一般社団法人マリノフォーラム21, 海洋エンジニアリング株式会社, 日本ミクニヤ株式会社, 株式会社東京久栄, 株式会社水圏科学コンサルタント, いであ株式会社. 令和2年度有明海のアサリ等の生産性向上実証事業報告書. 2021.
- 10) Blumberg, A. F., and Mellor, G. L. (1987) A description of a three dimensional coastal ocean circulation model, in Three Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal Estuarine Sciences., Vol.4, N. S. Heaps, ed., pp.1-16, American Geophysical Union, Washington, D. C.
- 11) Carl F. Cerco, Thomas Cole (1995) The CE-QUAL-ICM Three-Dimensional Eutrophication Model, Release Version 1.0., US ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION.
- 12) 独立行政法人水産総合研究センター・国立大学法人佐賀大学(2013) 平成24年度環境省請負業務結果報告書 有明海生態系回復方策検討調査(二枚貝類の環境浄化機能解明調査). pp181
- 13) 独立行政法人水産総合研究センター・株式会社パスコ(2011) 平成22年度 有明海等漁業関連情報提供委託事業(その2) 結果報告書.
- 14) 伊藤史郎(2005) 有明海における二枚貝について「主要種の漁獲量減少要因の分析」. 第15回有明海・八代海総合調査評価委員会 配布資料3.
- 15) 中村義治・金網紀久恵・磯野良介・三村信男(2003) 我が国における主要貝類の生物量と生物機能の分布特性. 海岸工学論文集, 50, 1296-1300.
- 16) 農林水産省(2009) 第55次佐賀農林水産統計年報. 九州農政局統計部.
- 17) 中村幹雄・品川 明・戸田顕史・中尾 繁(1997) : 宍道湖および中海産二枚貝4種の環境耐性. 水産増殖, 45, 179-185.
- 18) 柿野 純(1985) : 硫化物を指標にした無酸素水の酸素消費量, 千葉県水産試験場研究報告, 43, pp65-69
- 19) 速水祐一(2007). 有明海奥部の貧酸素水塊. 海洋と生物, 14, 577-583.

電子格納データ

電子格納データ一覧

構成		内容
1. 技術開発の概要	1.1 背景と目的	・ 佐賀県海域のカキ生産量
	1.2 実施場所	・ 実施場所 ・ 実験区周辺の状況
	1.3 5か年の目標	・ 浜川河口の畝上離散型カキ礁の底質パターンとカキバイオマス
	1.4 技術開発ロードマップ	・ 技術開発ロードマップ
	1.6 技術開発工程	・ 技術開発工程
2. カキ礁造成方法の開発	2.1 カキ礁造成方法の開発 (着生材によるカキ礁造成技術)	・ 令和4年度設置 着生材の着生量モニタリングの概要 ・ 令和5年度設置 着生材の着生量モニタリングの概要 ・ カキ殻散布によるカキ礁造成手法の検討の概要 ・ 令和4年度設置 着生材のカキ着生量 ・ 殻高ごとの個体数割合、殻高41～50mmの着生量 ・ 令和4年度設置 着生材のその他生物のバイオマス ・ 令和4年度設置 着生材のその他生物のバイオマス優占種 ・ 令和5年度設置 着生材のカキ着生量 ・ 殻高ごとの個体数割合 ・ 令和5年度設置 着生材のその他生物のバイオマス ・ 令和5年度設置 着生材のその他生物のバイオマス優占種 ・ 泥場実験区のカキ殻散布状況 ・ カキ殻混じり泥場実験区のカキ殻散布状況 ・ 枠取り調査での篩残渣物 ・ 実験区と対照区のカキのバイオマス ・ 実験区と対照区のその他生物のバイオマス ・ カキ礁の立体構造のイメージ ・ 着生材のカキ着生状況とその他生物の生息状況 ・ 金網ロール式着生材のカキ殻散布効果 ・ 泥場実験区の底質の状況 ・ 着生材設置1～2年目におけるカキ礁造成方法の計画案 ・ 着生材設置2年目以降におけるカキ礁造成方法の計画案
	2.2 カキ礁造成方法の開発 (カキ礁造成効果の評価)	・ カキ礁造成効果の評価の概要 ・ ナローマルチビーム測量結果 ・ 実験区の断面図 ・ 本小課題における今後の評価イメージ (泥場)
	2.3 カキ礁造成方法の開発	・ 環境調査等の概要

	(環境調査等)	・底質パターンごとのバイオマス調査の概要 ・ドローン空撮画像と GIS データ ・底質パターンごとのカキバイオマス ・底質パターンごとのその他生物のバイオマス ・実験区周辺の水質連続観測結果 ・当該地先における空撮対象範囲 ・浜川河口の既存カキ礁における過去 5 年間のカキバイオマス
3. カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の把握	3. 1. カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果等の把握	・計算格子図 (抜粋) ・物質循環モデルのイメージ図 ・佐賀県沿岸の貝類の漁場図 ・2007 年のカキ礁分布 ・アサリの分布条件 ・過年度事業で得られた浜川河口と七浦地先における既存カキ礁のカキバイオマスの推移 ・エリア別のカキバイオマス ・底層 D0 の水平分布比較 ・底層 D0 が 1.0mg/L 以下となる容積の変化 ・貧酸素水塊の積算容積のケース間比較 (ケース 12) ・貧酸素水塊の積算容積のケース間比較 (ケース 123) ・七浦地先のカキバイオマス調査結果 ・エリア区分した西部海域のカキ礁とカキ礁造成可能域 ・貧酸素水塊の積算容積のケース間比較

