

V. 大課題2 カキ礁の造成による貧酸素水塊の軽減技術開発

/佐賀県鹿島市地先



## 目次

1. 技術開発の概要	186
1.1 背景と目的	186
1.2 実施場所と実験区の配置	189
1.3 技術開発ロードマップ	190
1.4 技術開発フロー	191
1.5 過年度までの取組と残された課題	192
1.5.1 過年度までの経緯・成果・検証項目	192
1.5.2 委員指摘事項	193
1.6 今年度の目標、仮説、検証項目	194
1.7 技術開発工程	195
1.8 使用機器	196
2. カキ礁造成場所の検討（小課題2-1-1）	197
2.1 カキ礁造成可能範囲の精度向上およびバイオマスの変化	197
2.1.1 方法	197
2.1.2 結果	199
2.1.3 考察	208
3. カキ礁造成方法の開発（小課題2-1-2）	213
3.1 棚式着生材の実用性の検討、着生量評価および配置計画の検討	213
3.1.1 方法	213
3.1.2 結果	217
3.1.3 仮説の検証および考察	227
4. カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証（小課題2-1-3）	231
4.1 カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証	231
4.1.1 方法	231
4.1.2 結果	236
4.1.3 考察	240
5. 中課題としての成果と課題	241
5.1 目標の達成状況について	241
5.2 作業手引き（案）の作成	243
5.3 実用性の検討	244
5.3.1 漁獲量/コストの算出	244
5.3.2 実用性の検討を踏まえた作業カレンダーの検討	245
5.4 実用性の検討を踏まえた成果と今後の課題	246
参考文献	247
電子格納データ	248



## V-2. 中課題2-1 カキ礁の造成による貧酸素水塊の軽減技術開発

### 1. 技術開発の概要

#### 1.1 背景と目的

有明海では、度々発生する赤潮や貧酸素水塊等が要因とされる漁業被害に対し、カキ礁造成による水質浄化、有機沈降物の減少といった漁場改善効果が注目されてきており、カキ礁が見直されている<sup>1)</sup>。また、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<sup>2)</sup>。

有明海湾奥に位置する佐賀県鹿島市地先には、以前からカキ礁が現存し、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<sup>3)</sup>、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<sup>4)</sup>。

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。

1977年（昭和52年）における佐賀県有明海域のカキ礁面積は、546haであったとされる。しかし、1978年（昭和53年）以降、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た。現存するカキ礁は、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<sup>3)</sup>。佐賀県有明海域カキ生産量は、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、大幅に減少している状況にある。

3) カキ礁による有明海貧酸素水塊の抑制効果 山口 創一・速水 祐一・木元 克則

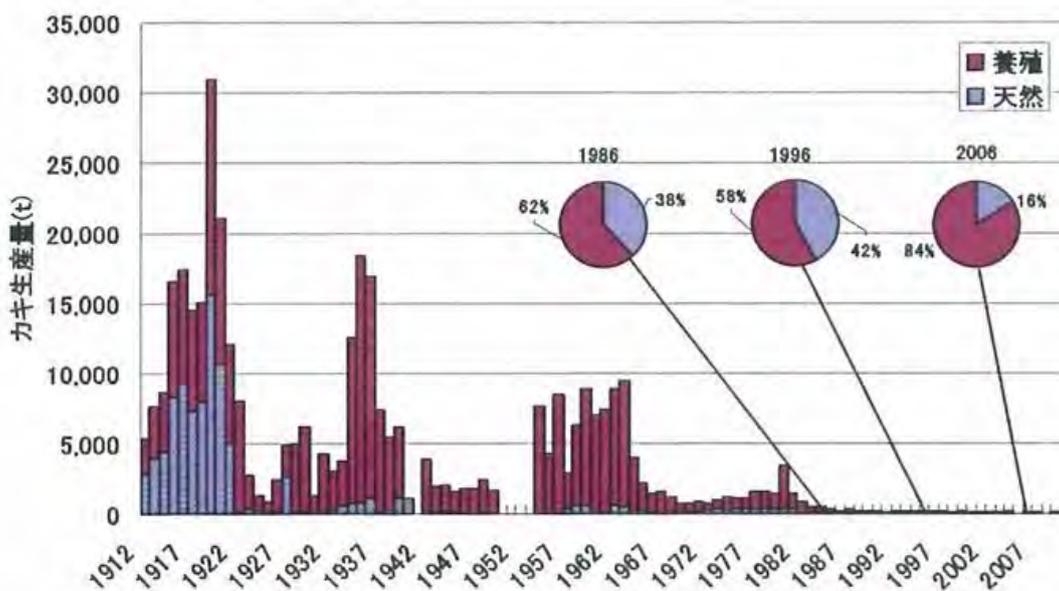


図1 佐賀県有明海域カキ生産量<sup>5)</sup>

有明海・八代海等総合調査評価委員会の報告<sup>6)</sup>によると、カキ礁の機能として、①泥干潟の上に形成され、多くのベントスが住み込み生物多様性の向上に繋がる、②多くの魚類にとって産卵場・成育場・摂餌場として利用され、生物多様性の保全機能を有している、③カキによって植物プランクトンが捕食されるため、結果としてカキ礁によって赤潮の抑制効果を有する、④この赤潮の抑制により、底層に供給される有機物が減少することで、貧酸素水塊の発生が緩和されるとされている。

一方、山口ら<sup>7)</sup>は、図2に示すとおり、①数値シミュレーションを用いて、有明海湾奥部におけるカキ礁の貧酸素緩和効果を評価し、②カキ礁が増加することで、植物プランクトン密度が低下し、溶存酸素濃度が高くなることを示した。

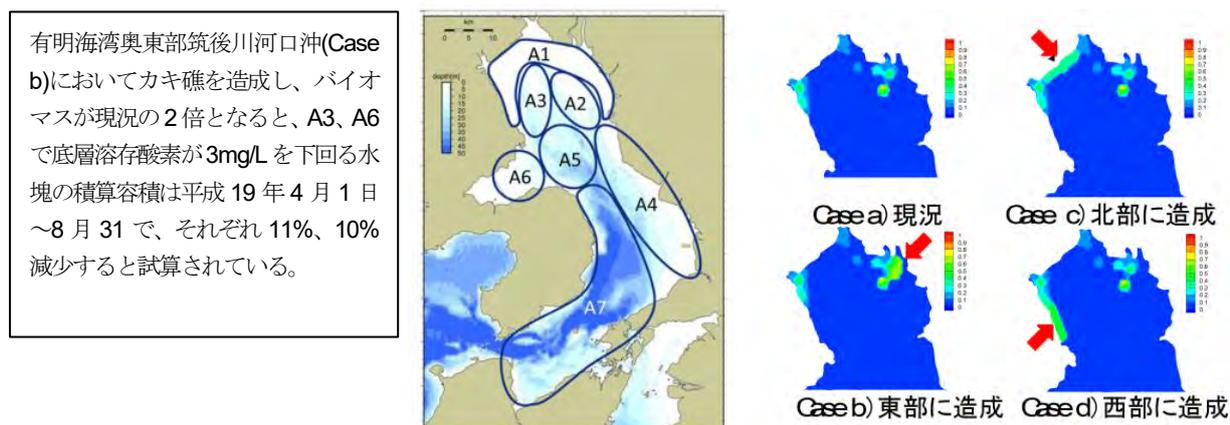


図2 カキ礁造成による貧酸素緩和効果についての既往知見<sup>5)</sup>

このようなことから、近年佐賀県有明海漁業協同組合連合会や民間団体等によって、カキ礁造成に向けた取組が実施されるようになってきている。また、カキ礁造成方法は、従来からの経験的な方法の他に「カキ礁育成と維持管理に関する技術マニュアル<sup>8)</sup>」といった技術マニュアルが示されている。当該マニュアルは、経験的な方法も含めて現地実証され、様々な着生材の着生効果検証結果等が示されているが、どこにどのような手順で実施するかといったことが必ずしも明確ではなく、経験的な方法をもとに試行錯誤されているのが現状である。

そこで、平成28～29年度に「各地域の特性に応じた有明海の漁場環境改善実証事業」によって、カキ礁を造成するための、「着生材を設置する適地選定」、「具体的な方法」に関する実証実験が行われ、以下の成果が報告された。

- 1) 佐賀県湾奥部におけるカキ礁の適正地盤高は、「C.D.L. +1.5m」前後である。
- 2) 着生材別の着生効果は、過去の知見同様、ホタテ貝殻が最も多く、次いで竹ほうきと竹であった。
- 3) 着生材を「着生効果」、「耐久性」、「経済性」、「作業性」から評価した場合、「竹ほうき」と「竹」が適している。しかし、これらの残存率が少ない。
- 4) 着生材を設置し、カキ礁になるまでの期間をバイオマスから推測すると、約6年と想定される。

このような状況より、既存知見を踏まえて、本事業では、カキ礁の造成による貧酸素水塊の軽減を図るた

めの技術開発を実施している。具体的には、①漁業者自らが実施可能な造成手法の開発、②カキ礁の造成による貧酸素水塊軽減効果の検討（数値解析）である。令和2年度には、以下の成果を得ている。

- 1) 過年度の既存カキ礁バイオマスから算出したカキ礁造成可能面積は約 42ha であり、その面積に既存カキ礁と同等のカキ礁を造成した場合のバイオマスの増加は8,400t となることを明示した。
- 2) カキ礁造成のための棚式着生材の作成から設置までの作業手順を明確にし、漁業者も実施可能であることを実証した（目標としたカキ着生バイオマス 0.06wet-kg/m<sup>2</sup>を達成）。
- 3) 3次元流動シミュレーション結果からカキ礁造成の配置によって、周辺の流況に上昇流の発生が示唆され、貧酸素水塊軽減効果が期待された。
- 4) 物質循環モデルの計算結果により、カキ礁造成によるバイオマスの増加が貧酸素水塊軽減効果の増大に繋がることが予想された。

昨年度までの成果によって、当該地先における、より着生し易い素材や効果的な設置地盤高が判明し、棚式着生材を設置することで天然カキ礁と同程度の着生量が見込めることがわかった。また、カキ礁造成可能な場所を提示するとともに、その面積を算出した。さらに、3次元流動シミュレーションによって、カキ礁配置によって上昇流の発生が期待されるという結果が得られた。加えて、カキ礁造成によって、カキ礁の造成が一定の軽減効果を示す結果が得られ、カキ礁の造成条件によって、その効果が増大することが確認された。

そこで、本年度は、カキ礁造成可能場所の提示を精度向上させ、昨年度、初年度の着生量目標を達成した棚式着生材の着生量が2年目の着生量目標を達成するのかを評価するとともに、漁業者による棚式着生材の製作から設置までの作業手順の効率化を図ることで、実用化に向けたカキ礁造成技術の開発を目的とした。加えて、物質循環モデルを用いてカキ礁造成場所を変化させた場合の貧酸素水塊軽減効果を検討し、より効果的な造成場所等を検討した。

## 1.2 実施場所

実施場所および実施場所の緯度経度は、図 3、表 1 に示すとおりであり、過年度の着生材設置状況は、図 4 に示すとおりである。

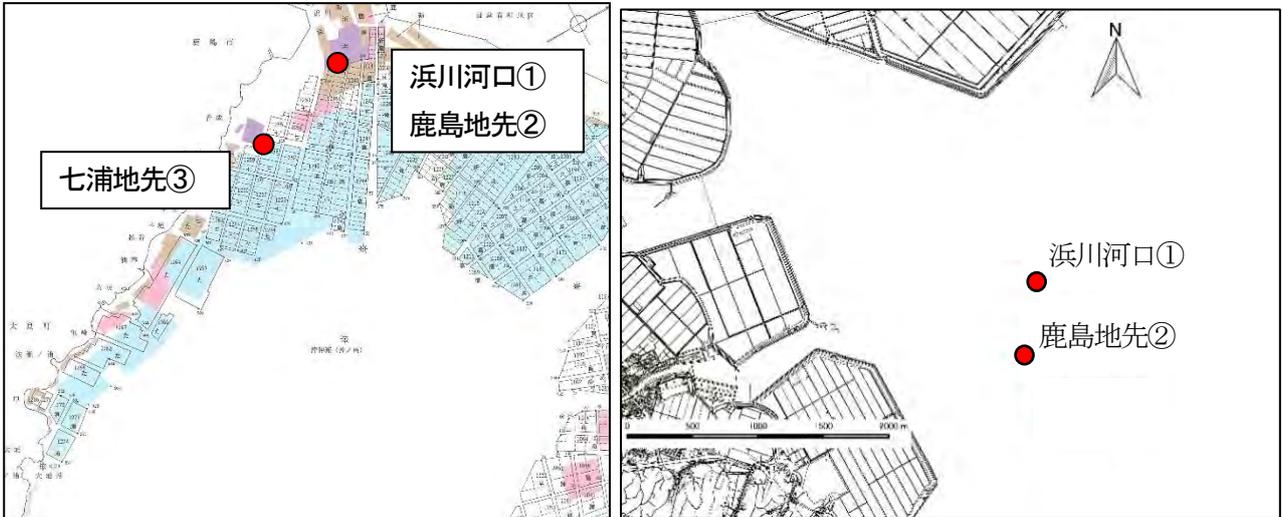


図 3 実施場所

表 1 実施場所の緯度経度

場所	緯度	経度
浜川河口	33° 06′ 00.80″	130° 09′ 14.60″
鹿島地先	33° 05′ 42.30″	130° 09′ 10.10″
七浦地先	33° 04′ 10.14″	130° 09′ 47.54″

①浜川河口		②鹿島地先	
	<b>【棚式着生材】</b> 令和 2 年設置 令和 3 年設置		<b>【竹+ほうき】</b> 平成 30 年設置
③七浦地先			
	<b>【被覆金網】</b> 平成 29 年設置 (参考)		<b>【ほたて】</b> 平成 29 年設置 (参考)

図 4 過年度の着生材設置状況

### 1.3 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 年間の目標である「漁業者自らが実施可能なカキ礁造成手法の開発」に向け、平成 30 年度から令和 4 年度までのロードマップを設定した。カキ礁造成場所の検討では、平成 30 年度から令和 3 年度までに造成適地の選定に向けた基礎情報の取得、カキ礁造成方法の開発では、平成 30 年度から令和 3 年度までに効率的なカキ礁造成方法の確立に向けた着生効果の検証を行った。

これらの成果をもとに、令和 3 年度以降で作業手引きを作成し、令和 4 年度では、作成した作業手引きをもとに、漁業者とともに再現性を確認する予定である。

年度	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
目標	基礎情報の把握 残存率・着生量の把握 物質循環モデルの構築	基礎情報の把握 造成可能範囲の明示 残存率・着生量の把握 着生材の選定 物質循環モデルの精度向上	基礎情報の把握 造成可能範囲の精度向上 残存率・着生量の把握 一連の作業手順の明確化 貧酸素水塊軽減効果の把握	基礎情報の把握 造成可能範囲の見直し 残存率・着生量の把握 効果的な配置の把握 作業手引き(案)の作成 貧酸素水塊軽減効果の把握	再現性の確認 作業手引き完成 残存率・着生量の把握 貧酸素水塊軽減効果の把握

◆現時点  
着生量0.06wet-kg/m<sup>2</sup> (棚式着生材の初年度の着生)

技術開発要素		平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
カキ礁造成場所の検討	情報取得	深浅測量による海底地形の把握 ナローマルチビーム測量による天然カキ礁の情報の把握			天然カキ礁の分布範囲の精度向上	・再現性の確認 ・作業手引き(案)更新 ⇒完成 ・残存率の把握 ・着生量の把握 ・カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果評価
	解析	既存文献および測量結果をGISにて整理・解析			天然カキ礁の形状等の解析(GIS)	
	適地の明示		造成可能範囲(面積)の明示	造成可能範囲(面積)の更新	造成可能範囲(面積)の見直し	
カキ礁造成方法の開発	残存率	着生材ごとの残存率の把握				・カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果評価
	着生効果	着生材ごとの着生量の把握		着生材ごとの着生量把握、 流況環境への効果の把握	着生材ごとの着生量把握、 配置計画の検討	
	作業手引き			棚式着生材の作成手順の明確化	作業手引き(案)の作成	
カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証	解析	物質循環モデルを用いた貧酸素水塊軽減効果の把握				

図 5 技術開発ロードマップ

# 1.4 技術開発フロー

本技術開発のフローは、図 6 に示すとおりである。

		年度	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	
小課題	各年度の達成目標		・基礎情報の把握 ・着生材の着生量の把握 ・着生材の残存率の把握 ・物質循環モデルの構築	・カキ礁造成可能範囲の把握 ・着生材の設置高の把握 ・柵式着生材の着生量の把握 ・柵式着生材の残存率の向上 ・物質循環モデルの精度向上	・カキ礁造成可能範囲の精度向上 ・カキ礁による流況変化の把握 ・柵式着生材の着生量の把握 ・貧酸素水塊軽減効果の把握	・カキ礁造成可能範囲の更新 ・着生材の適した配置の把握 ・柵式着生材の着生量の把握 ・貧酸素水塊軽減効果の把握 ・作業手引き（案）の作成	・再現性の確認 ・作業手引きの完成 ・貧酸素水塊軽減効果の評価	
	各年度の仮説の設定							
カキ礁造成場所の検討・カキ礁造成方法の開発	造成場所	カキ礁が形成されることにより、流況が変化する。	平面2次元浅水流モデルによる流況変化の把握	・カキ礁造成可能範囲（面積）の明示 ・着生材の適した設置地盤高の把握	・カキ礁造成可能範囲（面積）の精度向上 ・カキ礁の造成による上昇流の発生を把握	【課題】・カキ礁造成可能範囲の更新 ・着生材の配置計画の検討		
		-		【課題】カキ礁造成可能範囲（面積）の算出	【課題】造成可能範囲の精度向上	・天然カキ礁の分布範囲（形状等）の精度向上 ・カキ礁造成可能範囲の更新 ・着生材配置計画の検討		
	造成方法（着生量）	過年度に評価した方法（竹ぼうきと竹）を組み合わせた造成方法は、着生量が多い。	着生量の把握	着生量、残存率は経年的にモニタリング				
		竹ぼうきと竹の方法に加えて、柵などを組み合わせた着生材は、着生量より向上する。		【課題】・設置方法の検討 ・着生量の向上				
		地盤高0.3mに金網を用いた柵式着生材を設置することで、ネット設置初年度のバイオマス0.06wet-kg/m <sup>2</sup> と同等量以上のカキが着生する。		柵式着生材の設置による地盤高ごとの着生量の把握	【課題】・着生量の把握（初年度）			
		金網を用いた柵式着生材の設置2年目のバイオマスは、ネット設置2年目のバイオマス3.88wet-kg/m <sup>2</sup> と同等量以上となる。			柵式着生材の初年度の着生量の把握	【課題】・着生量の把握（2年目）		
	造成方法（残存率）	流出対策を施すことで、着生材の残存率が高くなる（コスト削減に繋がる）。	着生材の残存率の把握	【課題】流出対策の検討 着生するまで残存させる				
		出水時の対策を踏まえた方法は、着生材の残存率をより向上させる。		・柵式着生材のコンボーズを底質に差し込むことで残存率が向上				
	作業手引き	-				作業手引き（案）の作成	・再現性確認 ・作業手引き（案）の更新⇒完成 ・貧酸素水塊軽減効果の評価	
	カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証	カキ礁により貧酸素水塊の発生を軽減できる（推定）。	物質循環モデルによる貧酸素水塊軽減効果の評価	【課題】カキ以外の生物も加え、精度を向上させる				
カキに加えて、他の生物を踏まえた検証により、貧酸素水塊の発生をより軽減できる。			物質循環モデルによる貧酸素水塊軽減効果の評価	生息量の増大による貧酸素水塊軽減効果を把握	【課題】・造成場所による軽減効果の把握			
-			【課題】カキ礁の生息量による変化の把握		カキ礁造成場所による貧酸素水塊軽減効果の把握			

図 6 技術開発フロー

## 1.5 過年度までの取り組みと残された課題

### 1.5.1 過年度までの経緯・成果・問題点

小課題ごとの過年度までの経緯・成果・問題点を以下に示す。

#### 小課題2-1-1 カキ礁造成場所の検討

平成30年度	平成31年度	令和2年度
【検討内容】 カキ礁造成に伴う流速への影響の検討	【検討内容】 ・カキ礁造成可能範囲の検討 ・着生材の設置地盤高の検討	【検討内容】 カキ礁造成可能範囲（面積）の精度向上
【成果】 カキ礁造成により局所的な流速の増加を把握（平面2次元浅水流モデルより検討）	【成果】 カキ礁造成可能範囲（面積）の明示 着生材の適した設置地盤高の把握	【成果】 カキ礁造成可能範囲（面積）の更新
【課題】 精度向上 カキ礁造成可能範囲（面積）の把握	【課題】 カキ礁造成可能範囲（面積）の精度向上	【課題】 天然カキ礁分布範囲の精度向上 カキ礁造成可能範囲（面積）の更新

#### 小課題2-1-2 カキ礁造成方法の開発

平成30年度	平成31年度	令和2年度
【検討内容】 着生量が多い着生材の検討（ネット、ホタテ、竹ぼうき、竹、竹+竹ぼうき）	【検討内容】 残存率が高い着生材の検討（ネット、ホタテ、竹ぼうき、竹、竹+竹ぼうき、棚式着生材）	【検討内容】 造成面積が確保できるような着生材の検討（棚式着生材の改良） 棚式着生材の作成手順の明確化
【成果】 着生量が多い着生材（竹+竹ぼうき）	【成果】 残存率の高い着生材 ネット、ホタテ、棚式着生材	【成果】 棚式着生材の改良（着生量把握） →作成手順の明確化
【課題】 残存率の高い着生材の検討	【課題】 造成面積が確保できる着生材の検討	【課題】 経年着生量の把握 明確にした手順で再実証
 竹+竹ぼうき	 ネット  ホタテ	 棚式着生材(改良)

#### 小課題2-1-3 カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証

平成30年度	平成31年度	令和2年度
【検討内容】 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検討	【検討内容】 変更した物質循環モデルによる貧酸素水塊の軽減効果の検討	【検討内容】 カキ礁分布条件（造成パターン）ごとの貧酸素水塊軽減効果の検討
【成果】 物質循環モデルの構築 →貧酸素水塊軽減効果を把握	【成果】 物質循環モデルの変更（貧酸素水塊の累積時間短縮効果の軽減を把握）	【成果】 カキ礁の造成パターンによって貧酸素水塊軽減効果の増大を把握
【課題】 カキ以外の生物を含めた、より現実的なモデルの構築（効果の検証）	【課題】 カキ礁造成による流況変化の検証 カキ生息量による貧酸素化面積の減少率の把握	【課題】 貧酸素水塊軽減に効果的なカキ礁の造成場所の検討

### 1.5.2 委員指摘事項

昨年度の技術検討・評価委員からの意見・評価および対応は、表 2 のとおりである。

表 2 技術検討・評価委員からの意見・評価および対応

意見・評価	対応
豪雨による広域な塩分低下により、環境やカキの生育は過年度までの傾向とは異なっており、本年度取得されたデータについては、これらを考慮した検討が必要と思われる。	令和 2 年度では、低塩分化により天然カキ礁のバイオマスの低下が確認されたが、その後の令和 2 年 10 月、令和 3 年 1 月（追加）の調査で回復傾向にあることを把握した。 令和 3 年度では、天然カキ礁のバイオマスを継続して確認するとともに、棚式着生材の新たな着生個体およびその後のバイオマスの推移に着目して検討する。
貧酸素軽減効果だけでなく、他生物への棲み場所・産卵場所の提供、栄養塩の放出、カキそのものや棲み込み生物の漁獲物としての増加など。こうした側面も視野に入れることが望ましい。	天然カキ礁でのカキ、およびその他生物を含めたバイオマスを算出し、天然カキ礁のバイオマスを見直す。
貧酸素化を効果的に抑制する造成場所の選定や配置についての検討が望まれる。	過年度に構築した 3 次元流動シミュレーションを用いて、上昇流や攪拌流が大きくなる間隔を検討し、効果的な配置計画を検討する。

## 1.6 今年度の目標、仮説、検証項目

小課題ごとの今年度の目標、仮説および検証項目を以下に示す。なお、仮説は、小課題2 カキ礁造成方法の開発について設定した。

### 小課題2-1-1 カキ礁造成場所の検討

目標	仮説	検証項目
現状のカキ礁分布状況把握範囲を拡大し、カキ礁造成可能範囲（面積）を見直し、更新する。	—	カキ礁造成可能範囲の面積
有明海湾奥部に存在する天然カキ礁について、カキおよびその他生物の平均的なバイオマスを把握する。	—	カキバイオマス (wet-kg/m <sup>2</sup> )

### 小課題2-1-2 カキ礁造成方法の開発

目標	仮説	検証項目
棚式着生材の作成手順の再実証	—	作業手順
棚式着生材およびその他着生材の経年着生量を把握する	金網を用いた棚式着生材の設置 2 年目のバイオマスは、ネット設置 2 年目のバイオマス 3.88wet-kg/m <sup>2</sup> と同等量以上となる。	カキバイオマス (wet-kg/m <sup>2</sup> )
上昇流や攪拌流が大きくなる着生材の配置計画を把握する	—	着生材の配置計画

### 小課題2-1-3 カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証

目標	仮説	検証項目
カキ礁造成場所による貧酸素水塊軽減効果を把握する	—	貧酸素水塊軽減効果



## 1.8 使用機器

本中課題における使用機器は、表 4 のとおりである。

表 4 使用機器

使用機器	
	<p><b>【Sonic2022】</b>            製造会社：東陽テクニカ社製            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            ※カキ礁造成場所の検討（小課題 2-1-1）で使用</p>
	<p><b>【Phantom 4-PRO】</b>            製造会社：DJI 社製            最大上昇速度：5m/s (Pモード)            最大下降速度：3m/s (Pモード)            最大風圧抵抗：8m/s            航行可能限界高度：6000m (海拔)            ※カキ礁造成場所の検討（小課題 2-1-1）で使用</p>
	<p><b>【INFINITY EM】</b>            製造会社：JFE アドバンテック社製            測定範囲：(流速) 0～±500 cm/sec                              (方位) 0～360°            ※カキ礁造成方法の開発（小課題 2-1-2）で使用</p>
	<p><b>【RINKO W】</b>            製造会社：JFE アドバンテック社製            測定範囲：0～200%            ※カキ礁造成方法の開発（小課題 2-1-2）で使用</p>