

VII-2. 中課題 4-1 カキ礁の造成による貧酸素水塊の軽減技術の開発

/佐賀県鹿島市鹿島地先

目次

1. 技術開発の概要	559
1.1 背景と目的	559
1.2 実施場所	562
1.3 技術開発ロードマップ	563
1.4 技術開発フロー	564
1.5 過年度までに得られた成果と残された課題	565
1.5.1 小課題ごとのこれまでの取り組み概要および成果と課題	565
1.5.2 平成30年度成果と課題	570
1.5.3 平成31年度成果と課題	570
1.5.4 令和2年度成果と課題	571
1.5.5 令和3年度成果と課題	571
1.5.6 委員指摘事項	572
1.6 今年度の実施概要および目標	572
1.7 技術開発工程	573
1.8 使用機器	575
2. カキ礁造成場所の検討（小課題4-1-1）	576
2.1 カキ礁分布範囲のモニタリングおよび着生材配置計画の検討	576
2.1.1 方法	576
2.1.2 結果	579
2.1.3 考察	593
3. カキ礁造成方法の開発（小課題4-1-2）	597
3.1 着生材のカキ着生量の把握、既存カキ礁のカキバイオマスの把握および漁業者との実証実験	597
3.1.1 方法	597
3.1.2 結果	599
3.1.3 考察	609
(1) 着生材のカキ着生量の把握	609
(2) 既存カキ礁のカキバイオマスの把握	612
4. カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証（小課題4-1-3）	613
4.1 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証	613
4.1.1 方法	613
4.1.2 結果	620
4.1.3 考察	623
5. 中課題としての成果と課題	625
5.1 目標の達成状況について	625
5.2 実用性の検討	626
5.2.1 漁獲額/コストの算出	626
5.3 実用性の検討を踏まえた成果と今後の課題	627

参考文献	628
電子格納データ	629

VII-2. 中課題4-1 カキ礁の造成による貧酸素水塊の軽減技術の開発

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¹⁾。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²⁾。

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ている。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⁾。

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。

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⁾。しかし、その後は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⁵⁾。

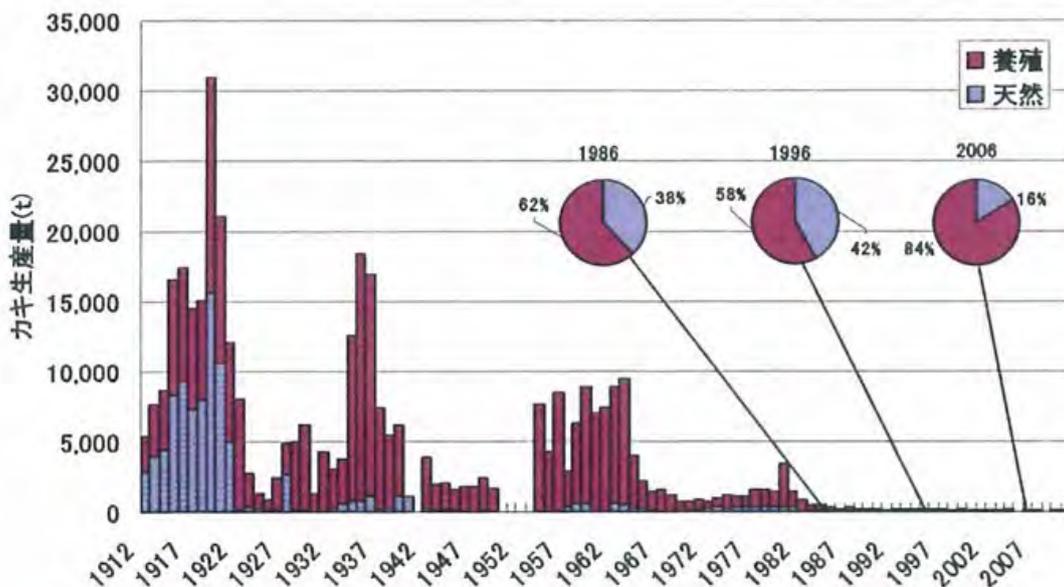


図1 佐賀県有明海域カキ生産量⁵⁾

有明海・八代海等総合調査評価委員会の報告⁶⁾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³⁾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。

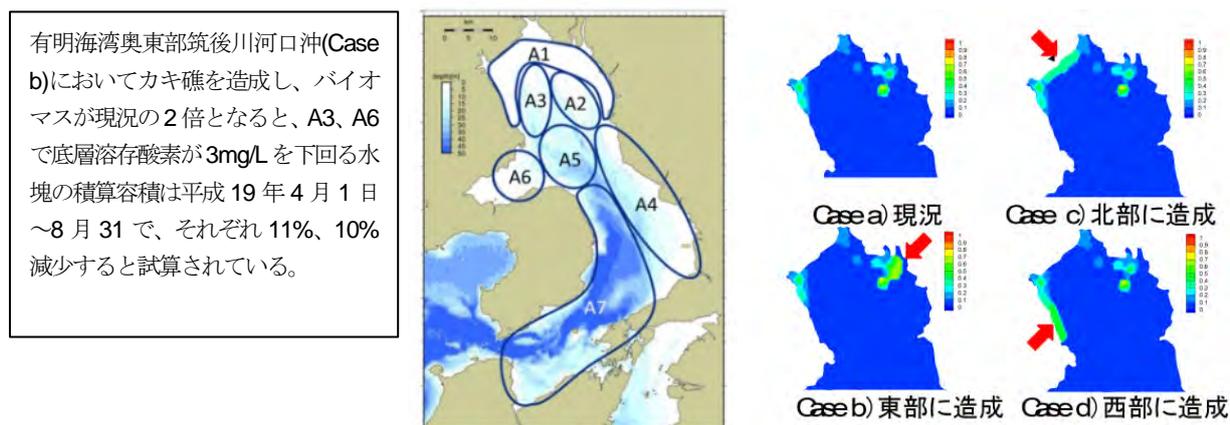


図2 カキ礁造成による貧酸素緩和効果についての既往知見³⁾

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⁷⁾」といった技術マニュアルがある。

しかし、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にされておらず、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、次いで竹ぼうきと竹であった。
- 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、「竹ぼうき」と「竹」が適している。しかし、これらの残存率が低い。
- 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。

このような状況から、既存知見を踏まえて、本技術開発では、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目的としている。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3年度には、以下の成果を得ている。

- 1) 浜川河口域等の既存のカキ漁場を含んだ範囲のカキ礁造成可能範囲を算出した結果、面積は約113.5haと試算され、その面積に既存カキ礁と同等のカキ礁（バイオマス20kg/m²）を造成した場合のバイオマスは22,700t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製作から設置までの作業手順を再実証し、作業の効率化や留意点を踏まえた作業手順書を作成した。
- 3) 棚式着生材の経年的なカキ着生量を把握し、浜川河口域では設置2年目で11.9～13.8kg/m²のカキバイオマスとなることを把握した。棚式着生材のカキ着生量は、過年度に既存カキ礁の平均カキバイオマス20kg/m²と同等量以上を達成した被覆金網の着生量より多く、低コストでありながらも効率的な着生材であることを把握した。
- 4) 3次元流動シミュレーション結果をもとに、理想的な畝状のカキ礁を造成するための着生材の配置計画を立案した。

上述のとおり、昨年度までの成果によって、当該海域（西部海域）のカキ礁造成可能範囲を更新し、棚式着生材のカキ着生量では、設置2年目で目標値とする既存カキ礁の単位面積当たりのカキバイオマス（20kg/m²）の6割程度を達成した。また、3次元流動シミュレーション結果より、カキ礁造成可能範囲のうち、特に河口域にカキ礁を造成することで貧酸素水塊の軽減に効果的であることが把握できた。一方で、令和3年度の検証では、出水等の影響もあり、棚式着生材の金網の劣化が当初の想定より早く、金網の耐久性を向上させる必要があることを把握した。

そこで、今年度は、カキ礁造成場所の検討として、これまで実施してきたカキ礁分布範囲の把握に向けた調査の継続、および令和3年度に立案した着生材配置計画の妥当性を確認するための検討を行った。次に、カキ礁造成方法の検討として、令和3年度に立案した着生材配置計画をもとに、金網の耐久性を向上させた金網ロール式着生材の製作から設置までの現地実証を漁業者とともに実施し、一連の作業手順を作業手引きとして整理した。また、令和2年度および令和3年度に設置した棚式着生材および令和4年度に設置する金網ロール式着生材のカキ着生量のモニタリングを実施するとともに、既存カキ礁のカキバイオマスのモニタリングも継続して実施した。さらに、カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証として、浜川河口域のカキ漁場造成可能範囲も含めてカキ礁を造成した場合の貧酸素水塊軽減効果を検討した。

1.2 実施場所

実施場所は、図3に示すとおりであり、過年度に設置した着生材は、図4に示すとおりである。

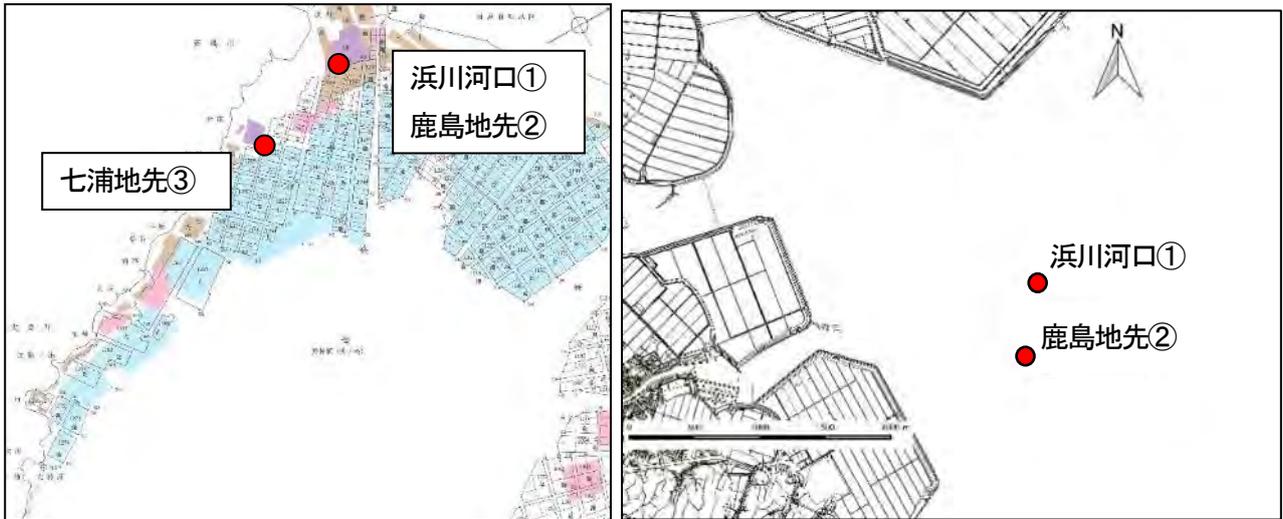


図3 実施場所



図4 過年度に設置した着生材_令和3年撮影 (左: 被覆金網、中: 竹+ほうき、右: 棚式着生材)

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～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～令和4年度までに造成可能範囲の把握に向けた基礎情報の取得、カキ礁造成方法の検討では、平成30年～令和4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てきた。それらの成果をもとに、令和4年度では、作業手引きを作成する。

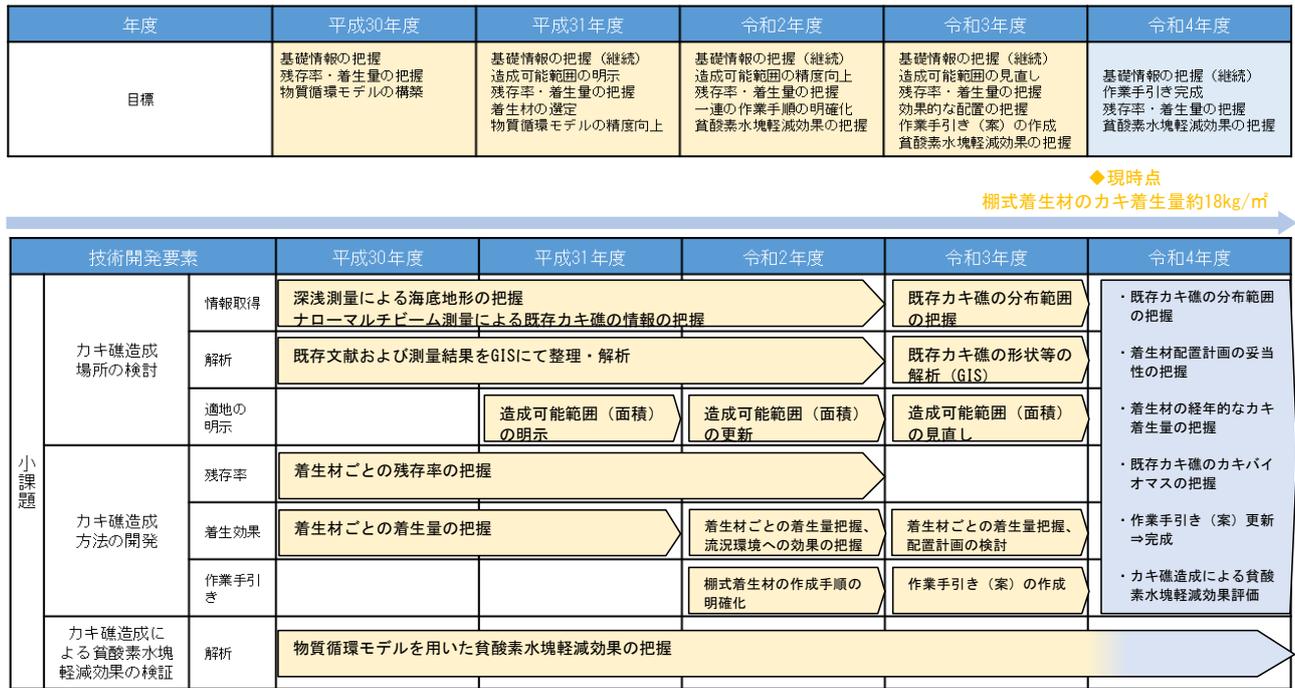


図5 技術開発ロードマップ

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 ・棚式着生材の着生量の把握 ・棚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 ・棚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 ・棚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	・カキ礁分布範囲の更新 ・着生材配置計画の評価 ・着生材の着生量の評価 ・貧酸素水塊軽減効果の評価 ・作業手引きの完成	
	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	・既存カキ礁の分布範囲(形状等)の精度向上 ・カキ礁造成可能範囲の更新 ・着生材配置計画の立案	【課題】・カキ礁分布把握範囲の拡大 ・着生材配置計画の妥当性の検証	
		-					・既存カキ礁の分布範囲の把握(継続実施) ・着生材配置計画の妥当性の把握	
	(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、棚式などを組み合わせた着生材は、着生量がより向上する。		棚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)			
		地盤高0.3mに金網を用いた棚式着生材を設置することで、ネット設置初年度のパイオマス0.06wet-kg/m ² と同等量以上のカキが着生する。			棚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)		
		金網を用いた棚式着生材の設置2年目のパイオマスは、ネット設置2年目のパイオマス3.88wet-kg/m ² と同等量以上となる。					棚式着生材の経年着生量	【課題】・着生量の把握(3年目)
		棚式着生材の設置3年目のカキ着生量は、既存カキ礁のカキパイオマス(約20kg/m ²)と同等量以上となる。						棚式着生材の経年着生量
		金網式着生材の設置1年目のカキ着生量は、棚式着生材の設置1年目のカキパイオマス(0.57kg/m ²)と同等量以上となる。				【課題】・金網の耐久性を向上させた着生材の検討		金網ロール式着生材の初年度の着生量の把握
		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。		・棚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	作業手引きの完成		
カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果	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			
	-				【課題】造成場所による軽減効果の把握(範囲拡大)	河口域のカキ造成場を含む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 過年度までに得られた成果と残された課題

1.5.1 小課題ごとのこれまでの取り組み概要および成果と課題

小課題ごとの取り組み概要は、図7～図9に示すとおりであり、成果と課題は、表1～表3のとおりである。

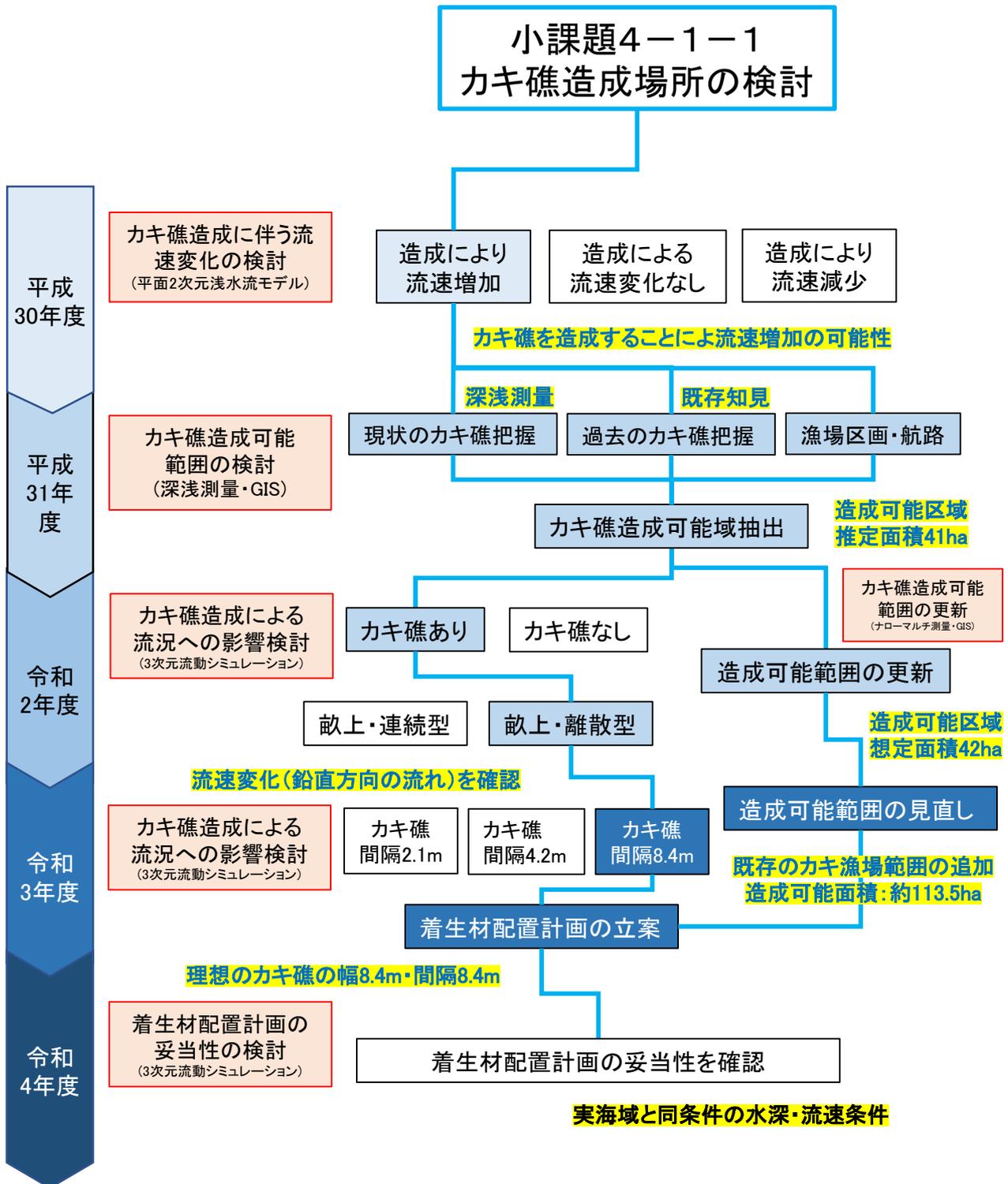


図7 小課題4-1-1の取り組み概要

表1 小課題4-1-1の成果と課題

	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度
実施内容	カキ礁造成に伴う流速への影響の検討	カキ礁造成可能範囲の検討	カキ礁造成可能範囲(面積)の精度向上	<ul style="list-style-type: none"> カキ礁造成可能範囲(面積)の更新 既存カキ礁のカキバイオマスの算出
成果	局所的な流速の増加を把握(平面2次元浅水流モデルにより検討)	カキ礁造成可能範囲(面積)の算出	カキ礁造成可能範囲(面積)の更新	<ul style="list-style-type: none"> 浜川河口域のカキ漁場範囲を含むカキ礁造成可能範囲(面積)の更新 浜川河口域の平均的なカキバイオマスの算出 着生材配置計画立案
課題	カキ礁造成可能範囲(面積)の把握	カキ礁造成可能範囲(面積)の精度向上	既存のカキ漁場範囲を含んだカキ礁造成可能範囲(面積)の更新	<ul style="list-style-type: none"> カキ礁分布状況把握の継続実施 着生材配置計画の妥当性の確認

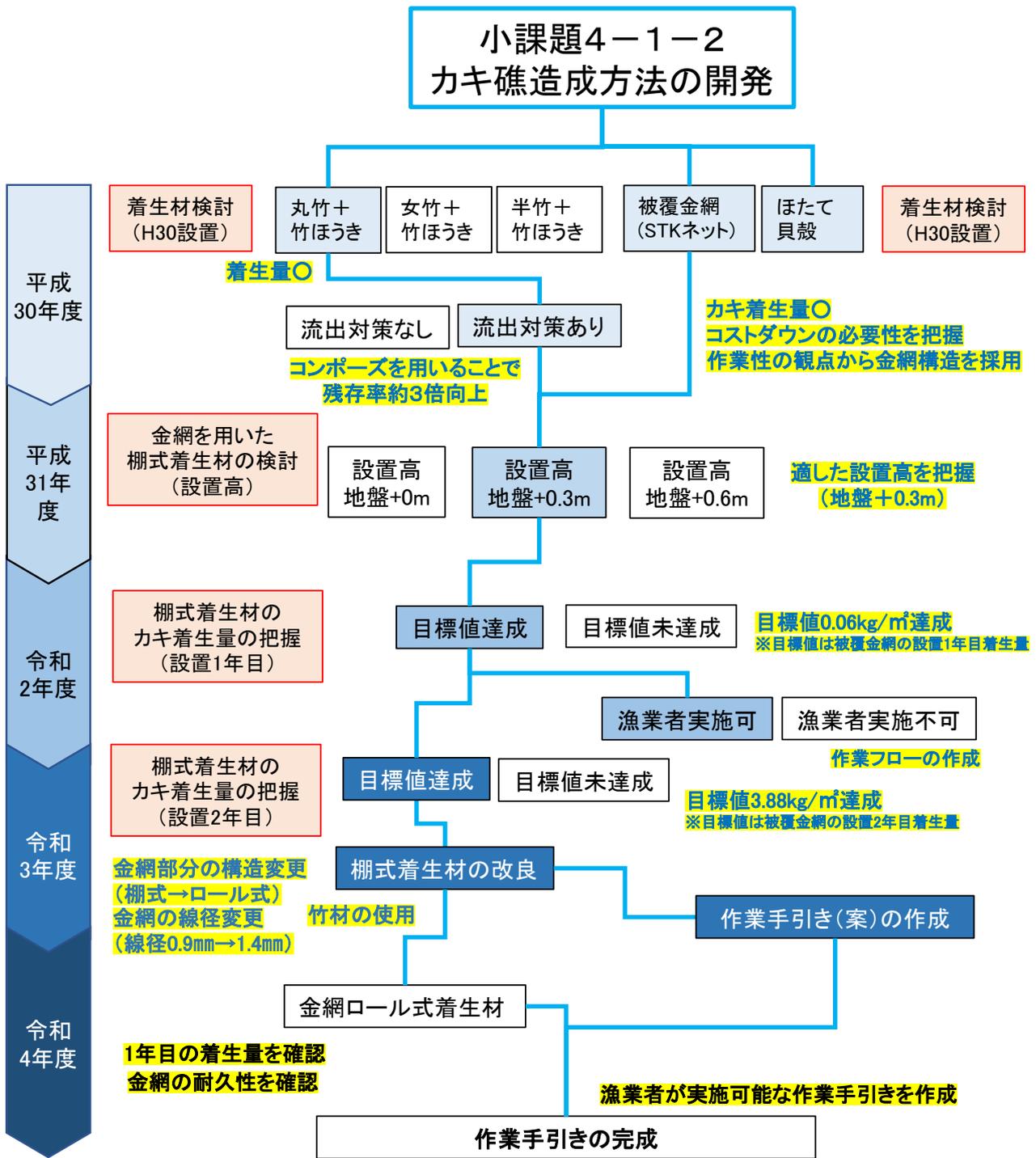


図8 小課題4-1-2の取り組み概要

表2 課題4-1-2の成果と課題

	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度
実施内容	着生量が多い着生材の検討（被覆金網、ホタテ、竹ほうき、竹、竹+ほうき）	<ul style="list-style-type: none"> ・残存率が高い着生材の検討（被覆金網、ホタテ、竹ほうき、竹、竹+ほうき、棚式着生材） ・着生材の設置地盤高の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・造成面積が確保できる着生材の検討（棚式着生材の改良） 	<ul style="list-style-type: none"> ・棚式着生材の製作手順の再実証 ・棚式着生材の経年着生量の検証
成果	着生量の多い着生材の把握（竹+竹ほうき）	<ul style="list-style-type: none"> 残存率の高い着生材（被覆金網、棚式着生材） ・着生材の適した設置地盤高の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・棚式着生材の改良（着生量の把握） ・作業手順の明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・棚式着生材の作業手順書の作成 ・棚式着生材の経年着生量の把握→改良版の立案
課題	残存率の高い着生材の検討	造成面積が確保できる着生材の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・明確にした手順で再実証 ・経年着生量の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・改良版着生材のカキ着生量の検証（耐久性の確認） ・作業手引きの作成

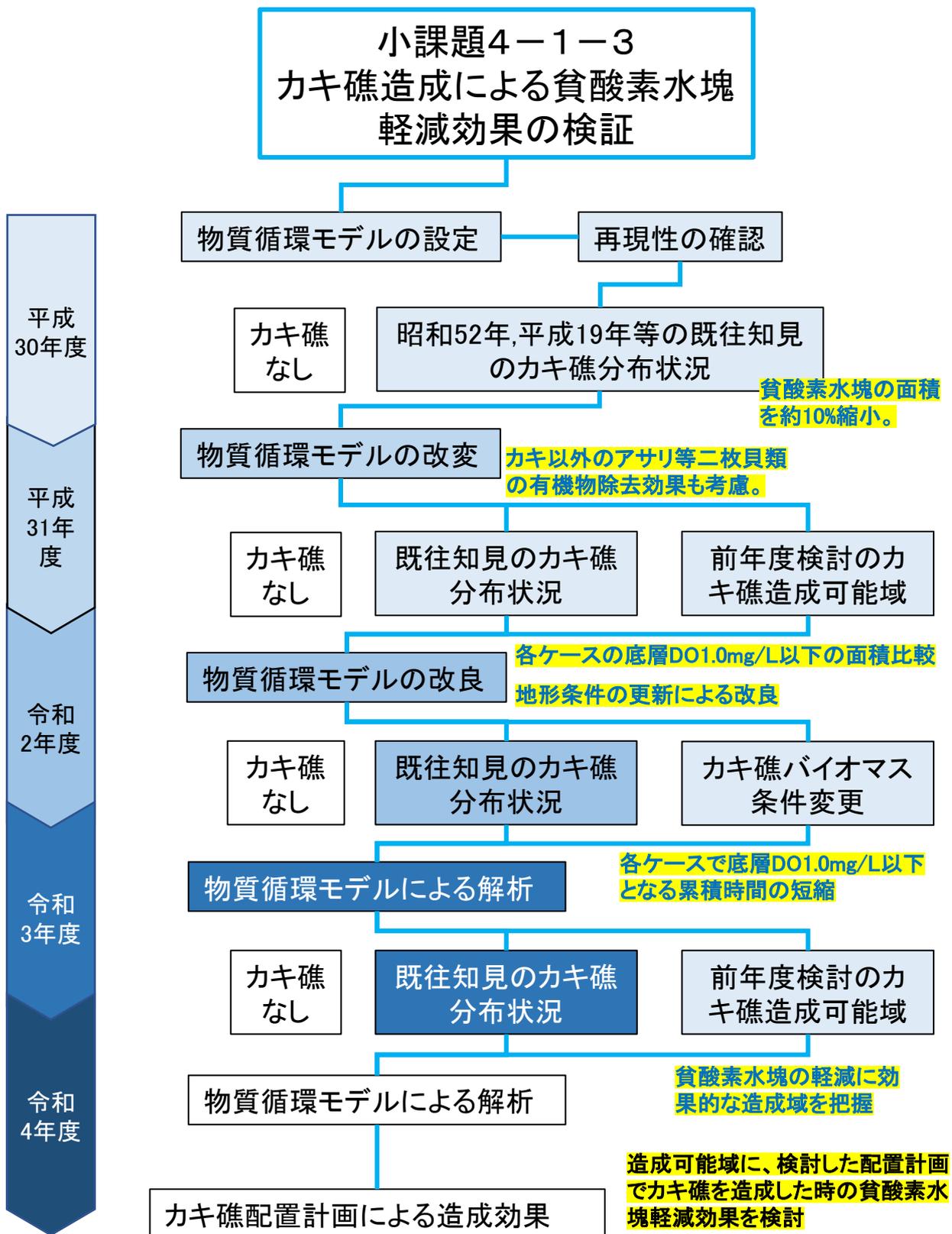


図9 小課題4-1-3の取り組み概要

表3 小課題4-1-3の成果と課題

	平成30年度	平成31年度	令和2年度	令和3年度
実施内容	カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検討	改変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	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	貧酸素水塊軽減に効果的な場所の検討
成果	物質循環モデルの構築（貧酸素水塊軽減効果を把握）	物質循環モデルの改変（貧酸素水塊の累積時間短縮効果の軽減を把握）	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	カキ礁造成可能域のうち、貧酸素水塊の軽減に効果的な場所を把握
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	・カキ礁造成による流況変化の検証		

1.5.2 平成30年度成果と課題

(1) 得られた成果

検討した着生材の組み合わせの中で、着生量が有意に多いのは、丸竹と竹ほうきを組み合わせた着生材であった。着生材の残存率を上げるため、横張りしたコンポーズに杭を付けて底質に固定し、これらのコンポーズに着生材を固定した。その結果、着生材の残存率は約60%となった（未対策は残存率20%）。物質循環モデルを用いて、佐賀県沿岸で底層D01.0mg/L以下の貧酸素状態となっている漁場面積の時間変化を整理し、カキ礁無しおよびカキ礁造成後の条件と比較すると、約10%の面積縮小が確認された。そのため、カキ礁の造成により、有明海底層D0の環境改善効果が期待できる。

(2) 残された課題

大規模な出水等に対しても、着生材の残存率を向上させるために、設置方法の工夫が必要である。カキ礁造成による水質浄化機能等は、その効果が過小評価されるため、カキ以外の生物も考慮した検証が必要である。測量した範囲での平均的なカキ礁面積や高さを把握したので、これらのデータも蓄積し、今後、当該地先に適した造成場所、造成に要する費用および地形データの精度向上を図り、より現実的な効果や経済性の検討が必要である。

1.5.3 平成31年度成果と課題

(1) 得られた成果

平成29年度に設置した着生材の一つであるネットに着生したカキのバイオマス量（19.18wet-kg/m²）が3年経過した時点で目標値である既存カキ礁のバイオマス量（20wet-kg/m²）と同程度となり、ほぼ目標値を達成した。平成31年度設置した棚式着生材のカキ付着量から現地盤+0.3mの高さがカキの着生に適していると結論した。平成31年度の深浅測量の結果と昭和52年当時に存在していたカキ礁の位置、航路やその他の漁業区域等を踏まえ、カキ礁造成場所を明らかにすることができ、その面積は40.1haとなった。底層D0が3mg/L以下となる累積時間は、カキ礁の分布条件により異なるが、最大で10～20%軽減できることを明らかにした。

(2) 残された課題

カキ礁の効率的な造成方法の開発では、労力がかからず、かつ造成面積を確保できる着生材の開発や漁業者自身が実施できるように、作業手順の明確化が必要である。カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果は、カキ生息量の変化による貧酸素化面積の減少率の変化、カキ礁造成による流況変化等の効果を詳細に把握する必要がある。

1.5.4 令和2年度成果と課題

(1) 得られた成果

カキ礁造成可能面積は、過年度カキ礁生息可能区域面積のうち、2007年のカキ礁部分（実際にカキ礁があったとされる部分）の面積を2020年の推定面積に換算し、過年度カキ礁生息可能区域面積から減じることで算出し、その面積は約42haと算出した。さらに、区域全てにカキ礁を造成した際のバイオマスの増加量は既存カキ礁のバイオマス量を乗じることで約8,400tと算出した。令和2年度は7月豪雨の影響で、8月調査時は棚式着生材へのカキの着生は確認できなかったが、10月には確認でき、目標値である0.06wet-kg/m²を達成できた。漁業者主体の着生材の製作、設置手順についても明確化できた。3次元流動シミュレーションを実施し、カキ礁の配置により鉛直方向の流れが発生し、貧酸素水塊の攪拌効果が期待された。カキ礁分布および生物量の増加により、貧酸素水塊の軽減効果の増大が予測された。

(2) 残された課題

カキ礁分布状況把握の範囲を拡大および精度向上、既存カキ礁の長さ、幅、高さのデータ蓄積を継続し、これら調査を継続するとともに、バイオマスをより実態に近づける必要がある。棚式着生材の着生効果の2年目以降が目標値を上回るかを確認し、他着生材の経年着生効果を把握する必要がある。カキ礁造成による上昇流効果や貧酸素水塊軽減効果について、流況等の現地観測を行い、最適な配置計画の検討を行う必要がある。カキ礁造成による貧酸素水塊について、造成場所によって効果が変わることが考えられることから、効果的な造成場所を検討する必要がある。

1.5.5 令和3年度成果と課題

(1) 得られた成果

令和3年度のパラマラルチビーム測量およびドローン空撮調査結果により、当該海域のカキ礁造成可能範囲面積を113.5haに更新した。更に算出したカキ礁造成可能面積に、平均的なカキバイオマスと同等のカキ礁を造成した場合、総バイオマスは約22,700tと算出した。棚式着生材における令和3年10月の調査結果では、令和2年設置と令和3年設置ともに目標値を達成し、低コストでありながら効果的な着生材であることを示した。棚式着生材の作業手順書をもとに、漁業者と製作から設置までの作業を再実証し、作業の効率化や留意事項を踏まえた作業手順書を更新した。一方で、棚式着生材の金網が当初想定した3年間の耐久が難しく、金網の線径向上等の改良の必要があることを把握した。3次元流動シミュレーションの結果から、畝状に存在するカキ礁の間隔を変更（8.4m、4.2m、2.1m）することによるカキ礁周辺の流れの差は確認されず、作業性の観点および当該海域の平均的なカキ礁の間隔（約8m）から、造成するカキ礁の間隔は8m程度が適していると考えられた。物質循環モデルを用いたカキ礁の分布条件を変更した解析の結果、河口に近いエリアほど貧酸素水塊の積算容積の削減量が大きいことを把握した。

(2) 残された課題

カキ礁分布のモニタリングを継続し、カキ礁の分布状況や平均的なカキ礁の形状を継続して更新する必要がある。また、棚式着生材の設置3年目のカキ着生量を確認する必要がある。さらに、棚式着生材の金網の耐久性向上や竹材の使用を検討し、より実用的な着生材を開発する必要がある。カキ礁造成を目的とした着生

材の製作から設置までの一連の作業を作業手引きとして整理する必要がある。実用化に向けたカキ礁造成技術による貧酸素水塊軽減効果を検討する必要がある。

1.5.6 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4のとおりである。

表4 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、環境やカキの成育は過年度までの傾向とは異なっており、今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4年度では、浜川河口のカキ礁に水質観測機器を設置し、水温、塩分、溶存酸素濃度の連続観測を実施する。また、既存カキ礁のカキバイオマスの季節変動を確認するため、過年度に引き続き8月、10月で既存カキ礁のカキバイオマスをモニタリングする。
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。	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、既存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。	令和4年度では、西部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軽減効果を検討する。また、令和3年度に立案した着生材の配置計画をもとに、漁業者と現地実証を実施し、配置計画の妥当性を確認する。

1.6 今年度の実施概要および目標

過年度では、当該海域のカキ礁造成可能面積（約113.5ha）を把握し、その面積に既存カキ礁（浜川河口）と同等のバイオマスのカキ礁を造成した場合、当該海域のカキバイオマスは、22,700tとなることを明示した。また、着生効果の高い柵式着生材の作業手順を明確にし、漁業者が実施可能であることを実証するとともに、金網の残存率向上に向けた改良版の着生材（以降、金網ロール式着生材）を立案した。さらに、3次元流動シミュレーション結果から、理想的なカキ礁を造成するための着生材の配置計画を立案し、物質循環モデルの計算結果では、カキ礁造成可能範囲のうち、貧酸素水塊の軽減に効果的な造成場所を把握した。

今年度は、カキ礁造成場所の検討として、カキ礁造成により貧酸素水塊の軽減に効果的と推測した河口域を中心にカキ礁分布範囲のモニタリングを継続した。また、令和3年度に立案した河口域の着生材配置計画の妥当性を確認するために、河口域に存在する畝状のカキ礁を造成した場合のカキ礁周辺の流れの変化を確認した。次に、カキ礁造成方法の検討として、令和2年度および3年度に設置した柵式着生材の経年的なカキ着生量を確認するとともに、既存カキ礁のカキバイオマスのモニタリングを継続した。また、令和3年度に立案した着生材配置計画をもとに、金網ロール式着生材の製作から設置までの現地実証を漁業者ととも

に行い、作業手引きを作成した。さらに、カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証として、浜川河口域の造成可能域にカキ礁を造成した時の貧酸素水塊の軽減効果を検討した。そして、造成可能域の全域に着生材配置計画に基づいてカキ礁を造成した場合の貧酸素水塊軽減効果を検討した。

今年度の小課題ごとの目標は、表5のとおりである。

表5 今年度の目標

小課題		目標
小課題4-1-1 カキ礁造成場所 の検討	(1) カキ礁分布範囲のモニタリング	ナローマルチビーム測量とドローン空撮を継続して実施し、当該海域のカキ礁分布の把握範囲を拡大させる。
	(2) 着生材配置計画の検討	着生材配置計画の妥当性を確認するため、3次元流動シミュレーションを用いて、畝状のカキ礁を造成することによるカキ礁周辺の流れの速さの変化を把握する。
小課題4-1-2 カキ礁造成方法 の開発	(1) 着生材のカキ着生量の把握	棚式着生材および金網ロール式着生材のカキ着生量を把握する。
	(2) 既存カキ礁のカキバイオマスの把握	既存カキ礁のカキバイオマスの年変動を把握する。
	(3) 漁業者との現地実証	作業手引きを完成させる。
小課題4-1-3 カキ礁造成による 貧酸素水塊の 軽減効果の検証	カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証	着生材配置計画をもとに、カキ礁を造成することによる貧酸素水塊軽減効果を把握する。

1.7 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

1.8 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	
	<p>【Sonic2022】 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4-1-1）で使用</p>
	<p>【Phantom 4-PRO】 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4-1-1）で使用</p>
	<p>【メモリー電磁流向流速計】 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：60～90分 サンプル数：600（1バーストごとに300秒間、データを取得） ※カキ礁造成場所の検討（小課題4-1-1）で使用</p>
	<p>【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4-1-2）で使用</p>
	<p>【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4-1-2）で使用</p>

2. カキ礁造成場所の検討（小課題4-1-1）

カキ礁造成場所の検討における過年度の課題として、「カキ礁分布状況把握の継続実施」、「着生材配置計画の妥当性の確認」が挙げられた。これらの課題について、「(1) カキ礁分布範囲のモニタリング」および「(2) 着生材配置計画の検討」を実施した。

2.1 カキ礁分布範囲のモニタリングおよび着生材配置計画の検討

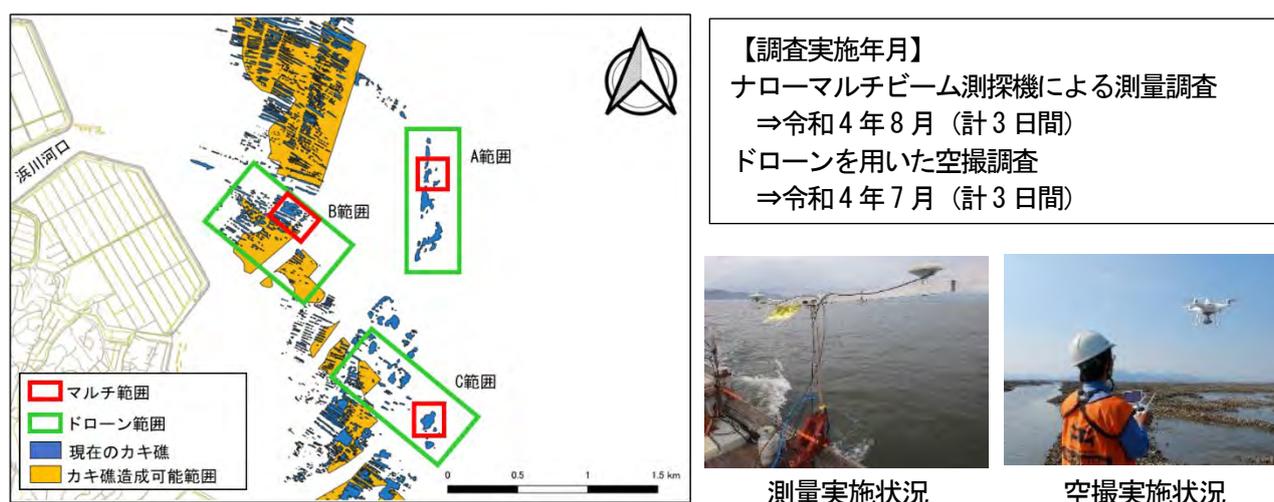
令和3年度では、ナローマルチビーム測量とドローン空撮で得られた結果から浜川河口域の平均的なカキ礁の形状（高さ、幅、間隔等）を更新するとともに、GIS解析によって当該海域のカキ礁造成可能範囲を見直し、その面積を更新した（約113.5ha）。また、3次元流動シミュレーション結果をもとに、理想的なカキ礁を造成するための着生材配置計画を立案した。それらを踏まえ、今年度はナローマルチビーム測量とドローン空撮を継続して実施し、当該海域のカキ礁分布の把握範囲を拡大させるためのモニタリングを実施するとともに、令和3年度に立案した着生材配置計画の妥当性を確認するため、3次元流動シミュレーションを用いて、畝状のカキ礁を造成することによるカキ礁周辺の流れの変化を確認した。

2.1.1 方法

(1) カキ礁分布範囲のモニタリング

本小課題では、ナローマルチビーム測探機を用いた測量調査およびドローンを用いた空撮調査を行い、取得したデータをArcGISに反映させ、既存のカキ礁の位置（分布）、高さ、形状を解析した。ナローマルチビーム測探機による測量調査は、浜川河口域から七浦地先周辺までの3地点とし、測量範囲は概ね200×300m/地点とした。ドローンを用いた空撮調査は、ナローマルチビーム測探機による測量実施範囲を含む3地点とし、空撮範囲は概ね500×1,000m/地点とした。

カキ礁分布範囲のモニタリングの概要は、図10に示すとおりである。



※ナローマルチビーム測探機による測量調査は赤枠内の範囲で実施

※ドローンを用いた空撮調査は緑枠内の範囲で実施

図10 カキ礁分布範囲のモニタリングの概要

(2) 着生材配置計画の検討

本小課題では、令和3年度に立案した着生材配置計画の妥当性を確認するため、着生材配置計画をもとに造成した畝状で離散型のカキ礁周辺で生じる流れの変化を3次元流動シミュレーションを用いて計算した。計算条件として、浜川河口の既存カキ礁に流速計および水位計を設置し、そこで得られた大潮期の水深ごとの流速条件を用いた。また、計算に用いたカキ礁の配置は、「カキ礁なし」と「カキ礁あり（離散型）」の2ケースとした。着生材配置計画の検討の概要について、3次元流動シミュレーションの諸条件を以下に示す。

1) カキ礁のモデル化

浜川河口域では、図11に示すように、北西から南東方向にかけて長さ60~200mのカキ礁が形成されている。これらのカキ礁は、過年度の測量結果からの平均値として、幅8.4m、間隔8.4mで畝状に形成されており、それぞれのカキ礁は連続せずに離散型の形状（以下、畝状離散型）を成している。

カキ礁のモデル化は、図12に示すとおりである。過年度の測量結果から算出した浜川河口域の平均的なカキ礁の形状として、高さ0.42m、幅8.4m、間隔8.4mの畝状離散型カキ礁を設定した。



図11 浜川河口域の畝状離散型のカキ礁

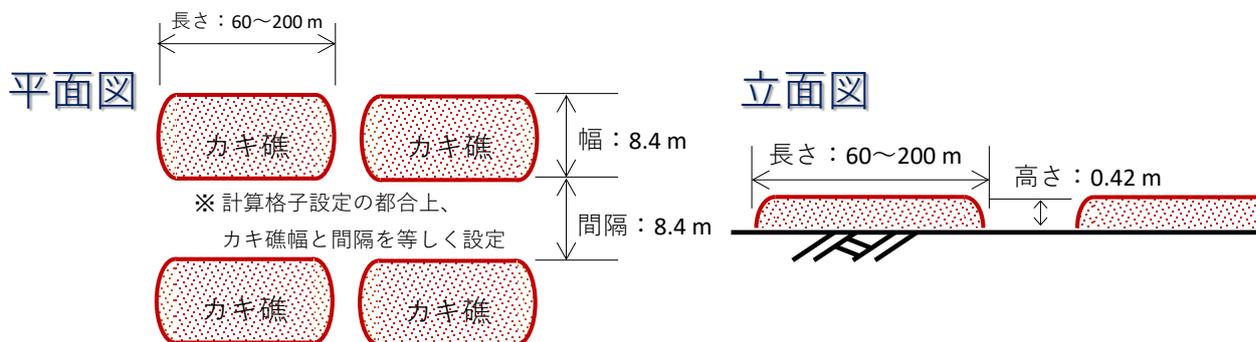


図12 カキ礁のモデル化

2) 3次元流動モデル

3次元流動モデルは、計算領域の座標系はデカルト座標系を採用し、基礎方程式にはFAVOR法(Fractional Area/Volume Obstacle Representation method)を導入した。モデルの連続式と運動方程式は、図13に示すとおりである。

$$\frac{\partial A_x u}{\partial x} + \frac{\partial A_y v}{\partial y} + \frac{\partial A_z w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x uu)}{\partial x} + \frac{\partial(A_y uv)}{\partial y} + \frac{\partial(A_z wu)}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x v_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_y v_e \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z v_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \right]$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x uv)}{\partial x} + \frac{\partial(A_y vv)}{\partial y} + \frac{\partial(A_z wv)}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x v_e \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_y v_e \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z v_e \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right\} \right]$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x uw)}{\partial x} + \frac{\partial(A_y vw)}{\partial y} + \frac{\partial(A_z ww)}{\partial z} \right\} = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ A_x v_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ A_y v_e \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z v_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} \right]$$

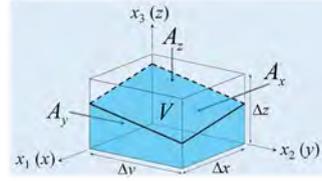


図13 モデルの連続式と運動方程式

3) ケースの設定

ケース設定は、図14に示すとおりである。ケース1は「カキ礁なし」、ケース2は「カキ礁あり(畝状離散型)」とした。なお、実海域においても流れの卓越方向に沿ってカキ礁が形成されているため、モデルにおいても一方向流で評価した。

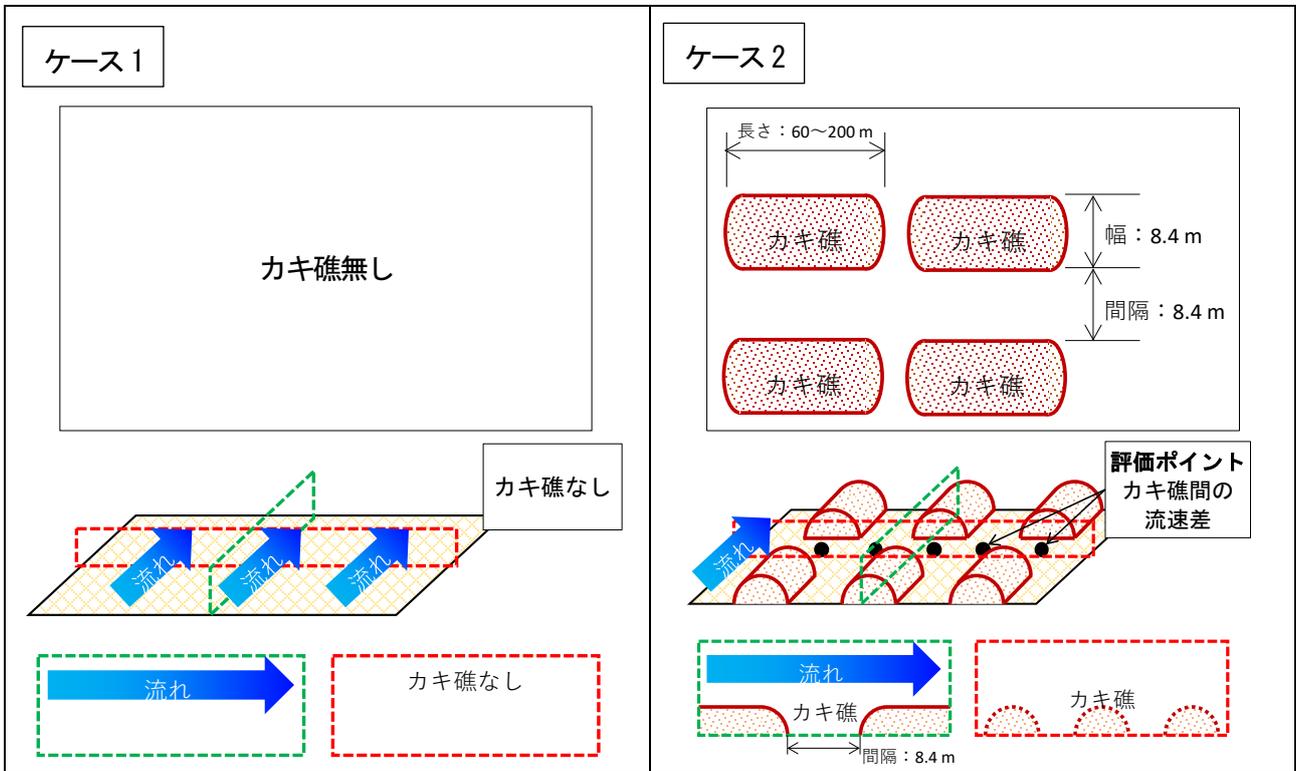


図14 ケースの設定

2.1.2 結果

(1) カキ礁分布範囲のモニタリング

1) ナローマルチビーム測量調査

各範囲におけるナローマルチビーム測量結果は、図15～図17に示すとおりである。各範囲とも概ね200～300mの範囲で実施した。本結果は、3次元点群データであり、各側線の断面から周辺の地盤と比較して鉛直方向の高さが高い部分をカキ礁として、その高さを算出した。側線断面におけるカキ礁の高さの算出例は、図18に示すとおりであり、算出結果は、表8のとおりである。なお、今年度に測量を実施したA～C範囲のカキ礁は、地盤高D.L. +1.0m～+1.5mの範囲に存在し、平成30年度から令和3年度にかけて測量を実施した浜川河口域のカキ礁と概ね同程度の地盤高である。

各範囲のカキ礁の高さを算出した表8より、A範囲のカキ礁の平均高は0.55m、B範囲のカキ礁の平均高は0.62m、C範囲のカキ礁の平均高は0.30mとなり、平均高が最も高いB範囲と最も低いC範囲では0.32mの差を確認した。

今年度に測量を実施した各範囲は、平成30年度から令和3年度にかけて測量を実施した浜川河口のカキ礁中心部から、A範囲では南東方向に約1.3km、B範囲では南方向に約1.2km、C範囲では南南東方向に約3km離れた位置に存在している。浜川河口のカキ礁の平均高(0.44m)と比較すると、A範囲とB範囲はそれぞれ0.11m、0.18m高く、C範囲は0.14m低い結果となった。

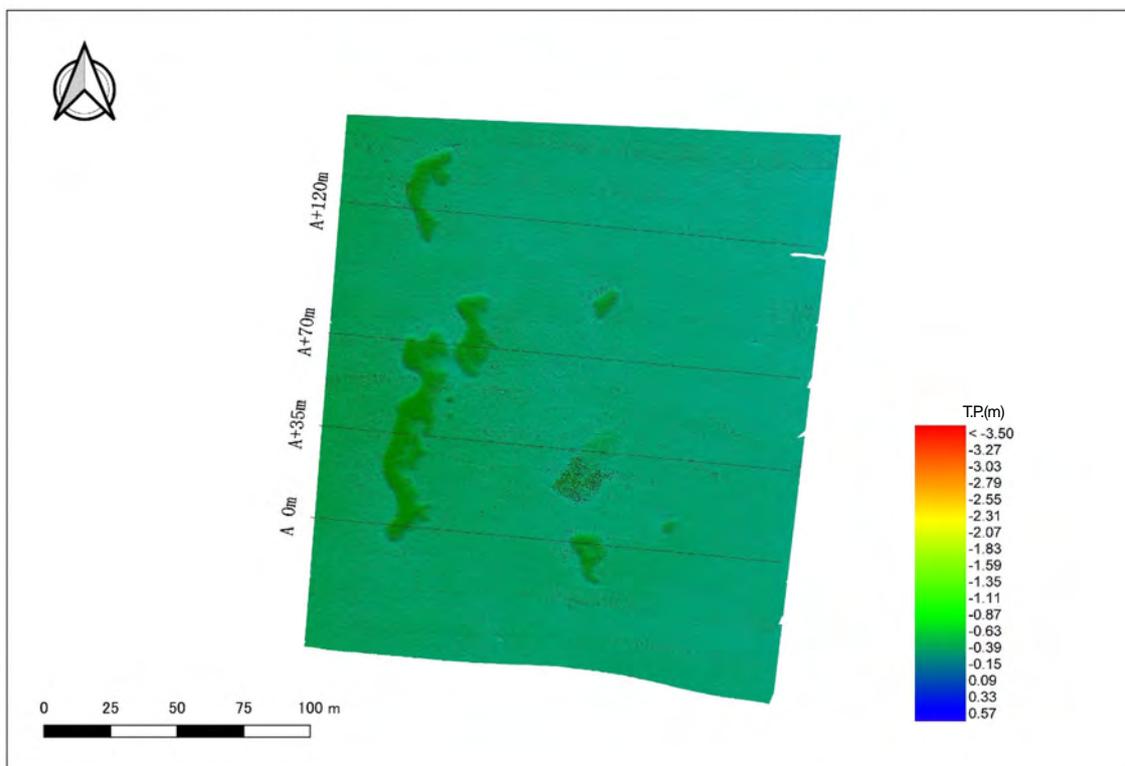


図15 ナローマルチビーム測量結果 (A 範囲)

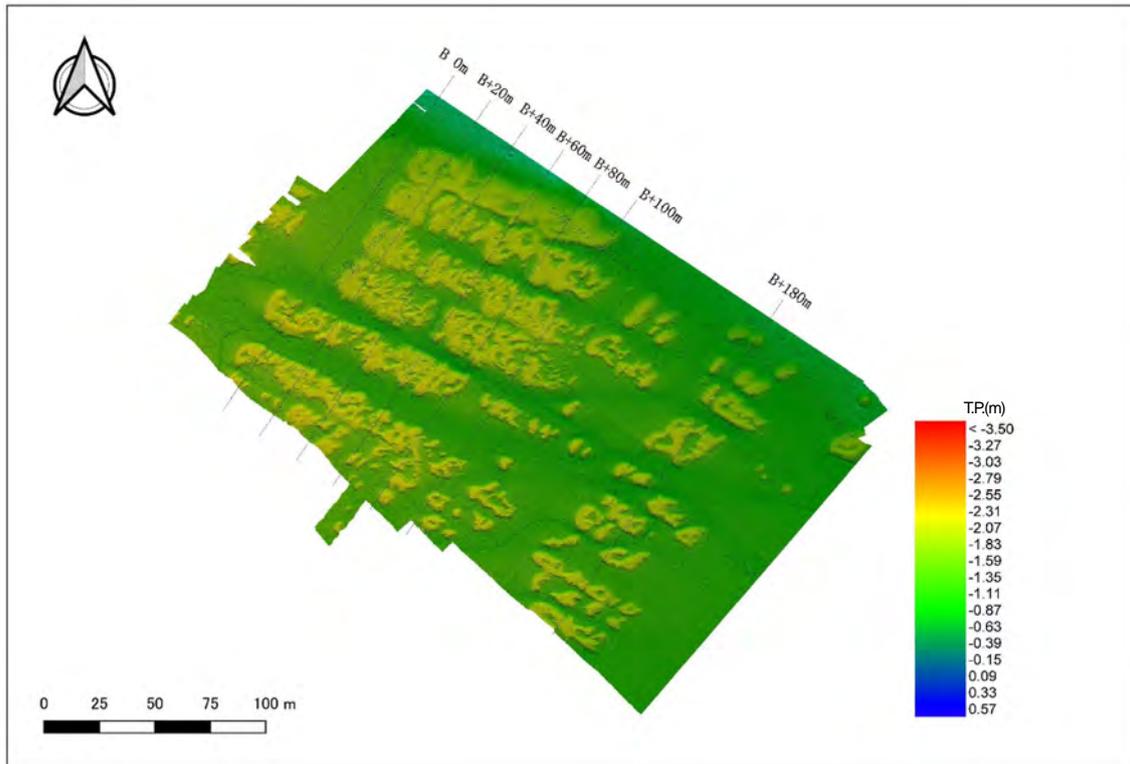


図 16 ナローマルチビーム測量結果 (B 範囲)

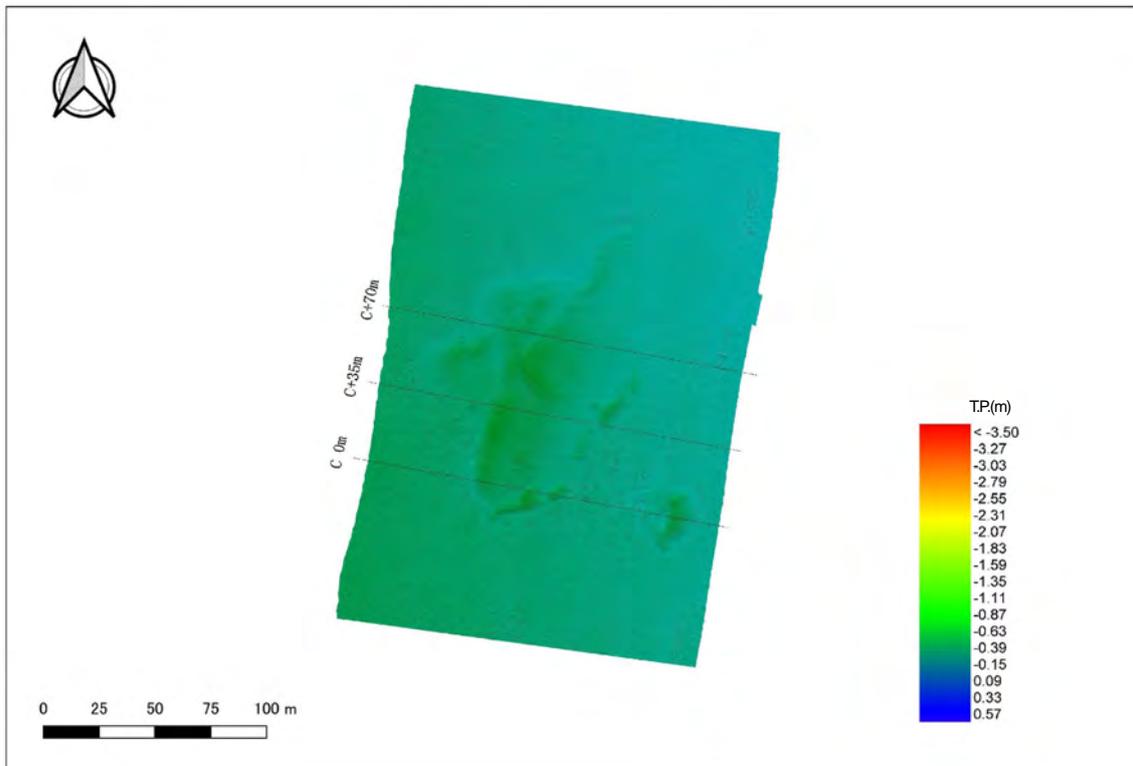


図 17 ナローマルチビーム測量結果 (C 範囲)

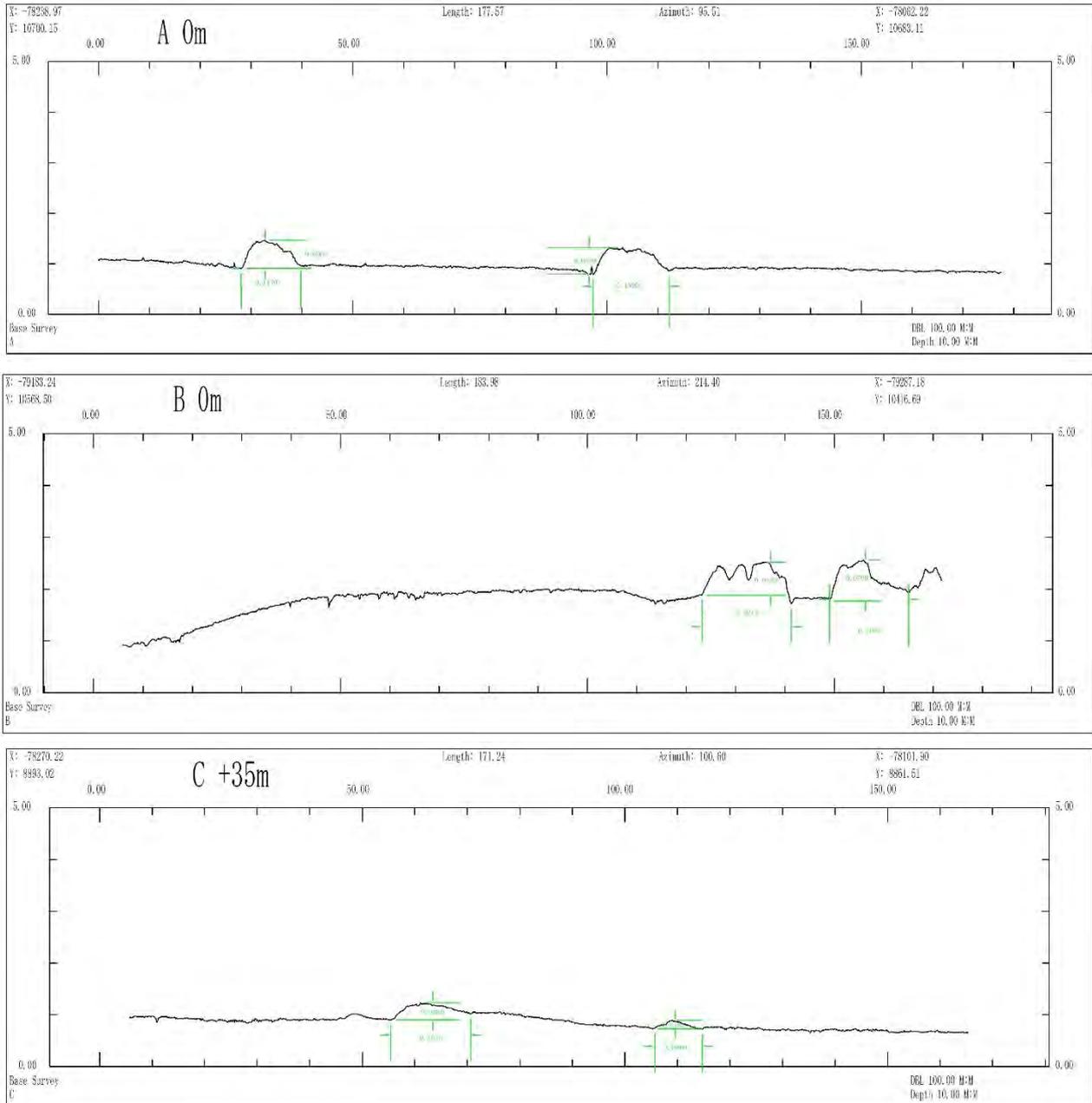


図18 カキ礁の高さ算出例（上：A範囲、中：B範囲、下：C範囲）

表8 カキ礁の高さ算出結果（A～C範囲のカキ礁および浜川河口のカキ礁）

場所	平均高 (m)	備考
A範囲のカキ礁	0.55	4断面 6か所の平均値
B範囲のカキ礁	0.62	7断面 43か所の平均値
C範囲のカキ礁	0.30	3断面 6か所の平均値
浜川河口のカキ礁	0.44	平成30年度～令和3年度の平均値

※各側線の断面から周辺の地盤と比較して鉛直方向の高さが高い部分をカキ礁として、その平均値を算出

2) ドローン空撮調査

ドローン空撮調査により作成した画像は、図 19～図 21 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、本結果は、「1) ナローマルチビーム測量」の実施場所選定に使用するとともに、撮影した画像から現状のカキ礁分布範囲の微細な修正を行った。



図 19 ドローン空撮画像 (A 範囲)