

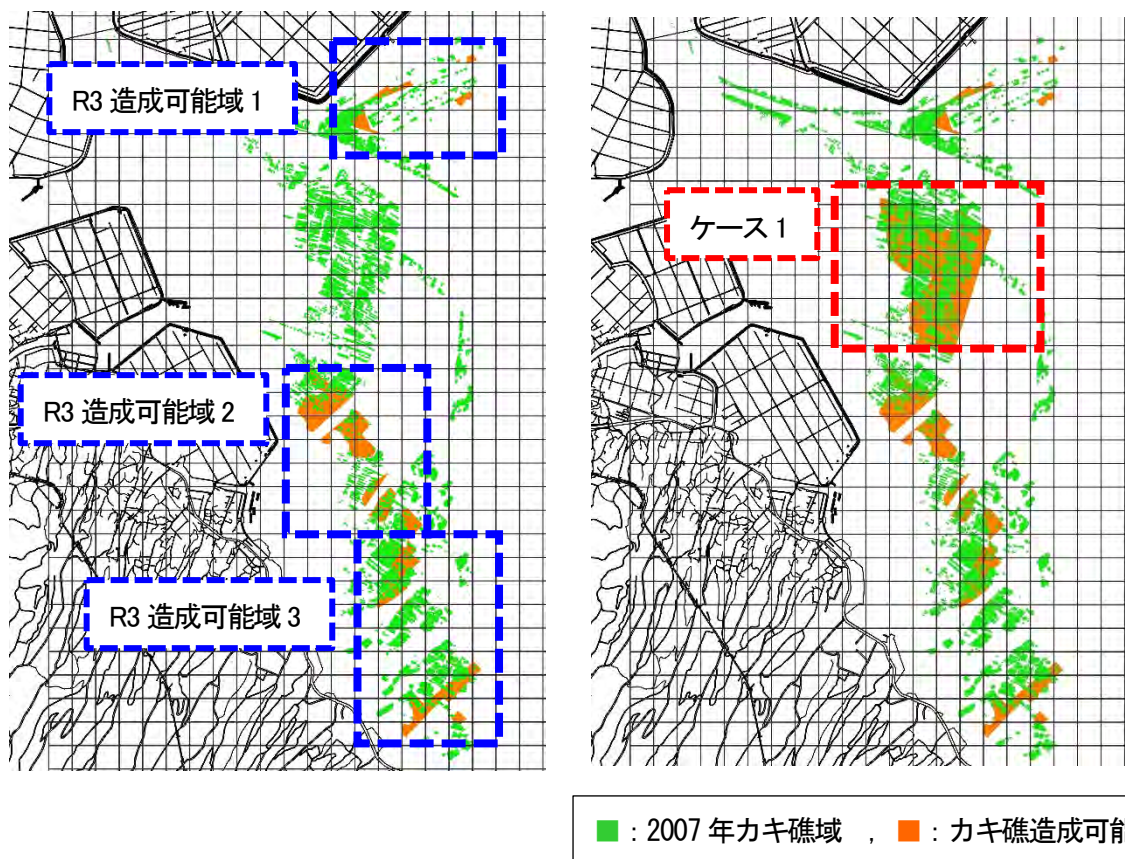


図 52 カキ礁条件 (2007 年カキ礁分布に、左図は令和 2 年度までに検討された造成可能域を追加、右図は左図に令和 3 年度に検討された浜川河口の造成可能域を追加)

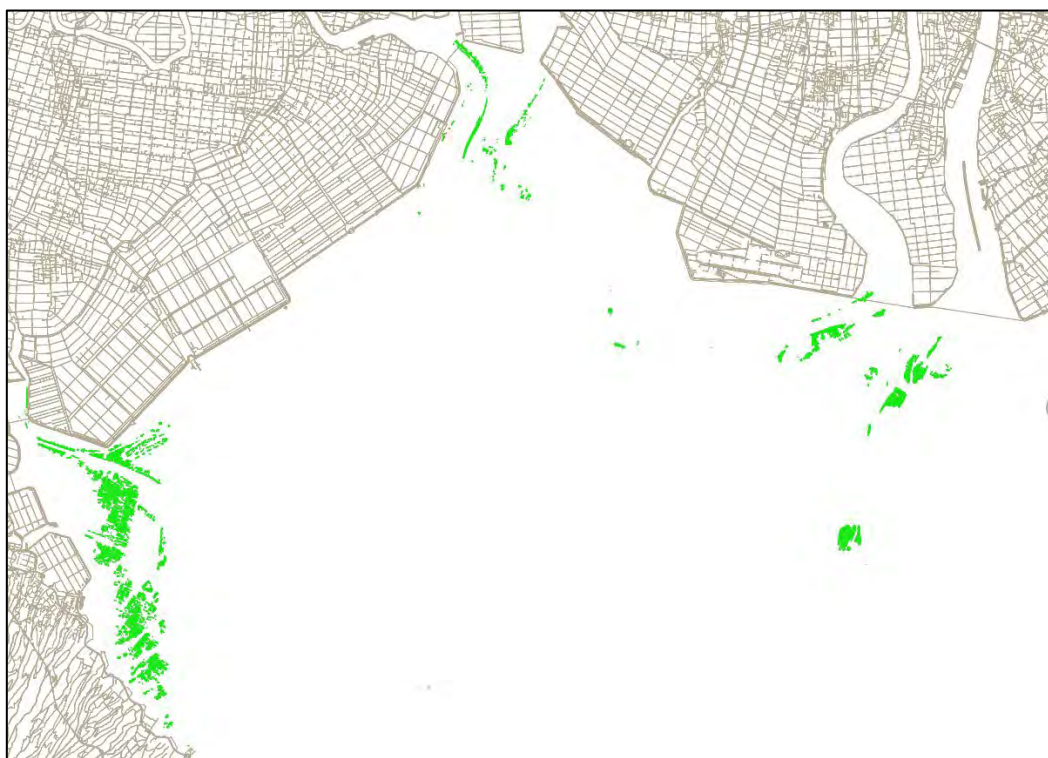


図 53 2007 年のカキ礁分布 (■ : カキ礁)

2) カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検討（ケース 2）

本課題で検討してきたカキ礁造成可能域の全域に、配置計画に従って、カキ礁を造成した条件で解析した。配置計画は、既存のカキ礁の分布状況を参考に、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。

なお、各ケースの解析に用いるカキバイオマスは、カキ礁造成の目標値である 20 wet-kg/m² を、現地調査による分析結果より炭素換算して設定した。

また、各解析ケースにおけるアサリおよびサルボウガイの設定に関しては、図 55 に示した伊藤¹⁵⁾による 2000 年代のアサリ漁場の図よりアサリの分布域を設定し、前掲の図 51 の漁場図よりサルボウガイの分布域を設定した。各生物量は、中村ほか¹⁶⁾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を参考に、アサリは漁獲量の約 1.5 倍 (0.6gC/m²)、サルボウガイは漁獲量の約 4.5 倍 (14.4gC/m²) を設定した。漁獲量は、第 55 次佐賀県農林水産統計年報¹⁷⁾の報告値を用いた。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。

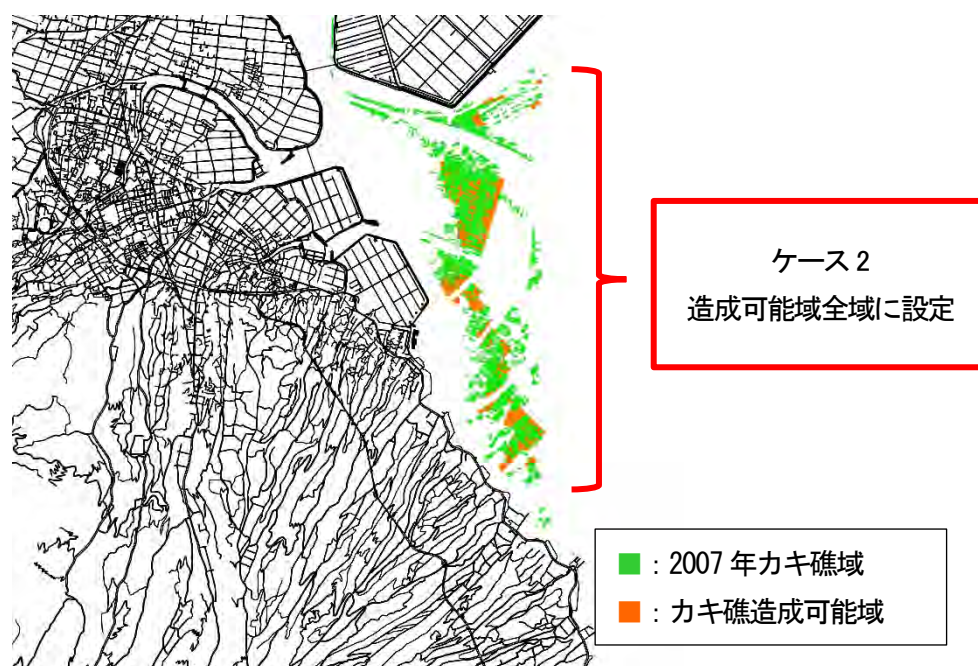
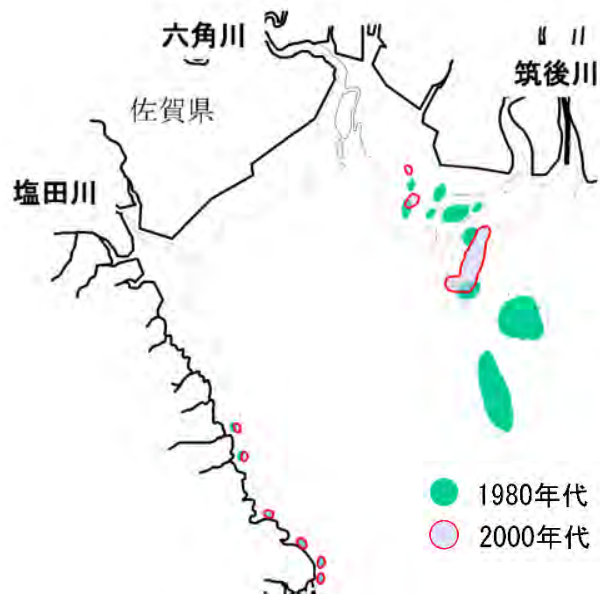


図 54 カキ礁分布条件



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55 アサリの分布条件

4.1.2 結果

(1) 貧酸素水塊の軽減に効果的な場所の検討（ケース1）

カキ礁造成による貧酸素水塊の影響軽減効果を評価するために、カキ礁の分布条件の違いによる、解析結果の差を検討した。

以下に、カキ礁の分布条件を変更した解析結果を用いて、貧酸素水塊の軽減効果を評価した。なお、本検討での貧酸素水塊は、昨年度の検討と同様に、海水中のD0が1.0mg/L以下を対象とした。

昨年度までに実施したカキ礁無しケース、2007年カキ礁分布ケース、R3造成可能域1～3の各ケース、そして今年度実施したケース1の底層D0が1.0mg/L以下となる水塊の容積の変化を図56に示した。

底層D0が1.0 mg/L以下となる水塊の容積変化では、カキ礁無しケースが他の各ケースよりも貧酸素水塊の容積が大きくなることが確認された。しかしながら2007年カキ礁分布ケースと、今年度実施したケース1や他の各ケースの結果では顕著な違いが見られない。そこで、貧酸素水塊に接する時間を考慮して8月1ヶ月間の積算容積を整理して図57に示し、2007年カキ礁分布ケースの結果より減少した積算容積を図58に示した。

昨年度の解析結果では、R3造成可能域1～3の中で、最も河口近くに集中してカキ礁を造成したR3造成可能域1のケースが、2007年カキ礁条件に比べて貧酸素水塊の積算容積の減少量が大きくなる結果が得られた。この傾向は、今年度実施のケース1の結果を含めても同様となり、河口近くに集中して造成することが、貧酸素水塊の軽減に効果的であると予測された。

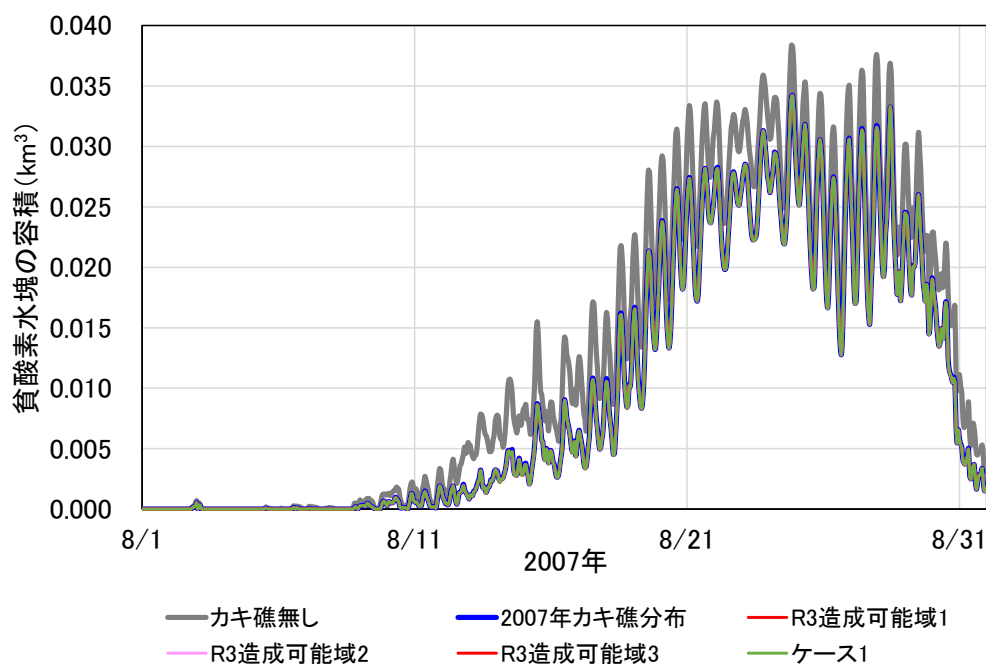


図56 底層D0が1.0 mg/L以下となる容積の変化

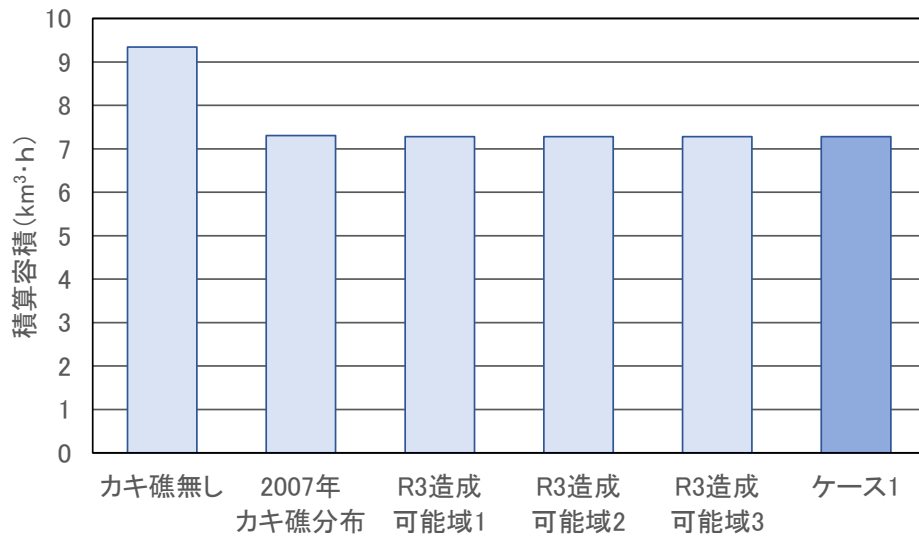


図 57 貧酸素水塊の積算容積のケース間比較

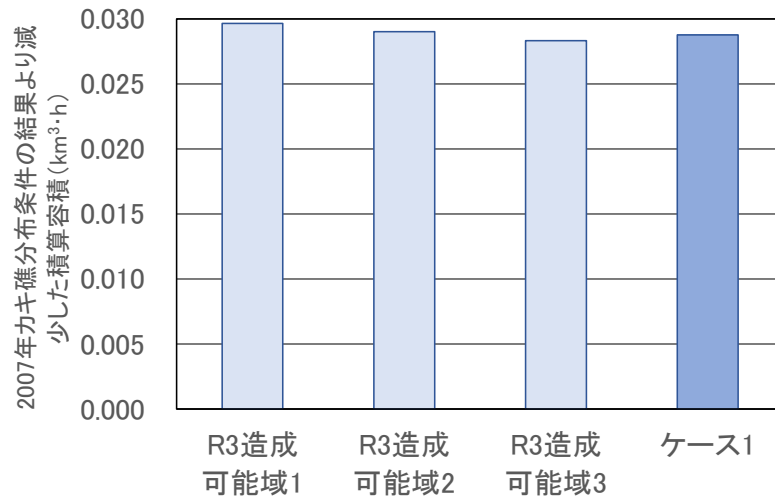


図 58 2007 年力キ礁分布ケースと各造成ケースによる貧酸素水塊の積算容積の差分

(2) カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検討（ケース2）

2007 年のカキ礁分布範囲（161 ha）に、カキ礁造成可能域に配置計画に従いカキ礁を造成した条件で解析（ケース2：造成面積 54 ha）を実施した。得られた解析結果より貧酸素水塊の積算容積を求め、上記(1)で示したカキ礁無しケース、2007 年カキ礁分布ケースとともに、ケース間の比較を図 59 に示した。

カキ礁造成可能域に造成することで、貧酸素水塊の積算容積は、比較した両ケースより減少しており、カキ礁無し条件からは、2007 年カキ礁分布条件で約 22%、ケース2 で約 24%の減少であった。また、2007 年カキ礁分布条件に比べて、ケース2 では約 2.7%の減少が見られた。

同様の検討が、環境省¹⁸⁾の有明海・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13回）においても報告されている。ここでは、山口ら³⁾が解析した、有明海の湾奥東部の筑後川河口沖、湾奥北部、そして湾奥西部に新たなカキ礁を造成した時の貧酸素水塊の軽減効果を検討している。各造成ケースの解析結果のうち、筑後川河口沖に造成したケースで湾奥西部海域の貧酸素水塊の軽減効果が最も大きく、貧酸素水塊積算容積（7/30～9/6）が現況に比べて約 11%減少しており、湾奥西部に造成したケースでは約 5%の減少であった³⁾。

本課題で設定したカキ礁造成面積などの条件は異なるが、既往知見においても貧酸素水塊の軽減効果が報告されており、湾奥西部海域への新たなカキ礁の造成が、貧酸素水塊の軽減に、一定程度の効果を有するものと考えられた。また、過去のカキ礁分布域として、1977 年の航空写真の解析結果より 546ha の分布が報告されている²⁰⁾。この面積は 2007 年のカキ礁分布面積の約 3.4 倍であり、ケース2 の造成量を約 7 倍増やすことで同程度となる。ケース2 による検討結果や山口らの報告³⁾ から、有明海湾奥の北部や東部も含めて 1977 年当時の面積までカキ礁を造成することで、相当な貧酸素水塊の改善効果につながるものと考えられた。

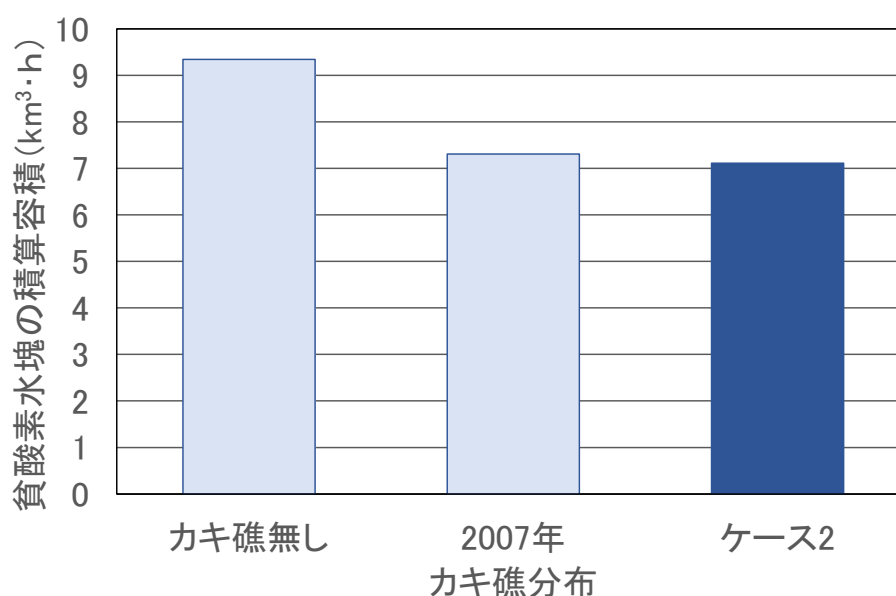


図 59 カキ礁造成可能域全域に造成した場合の貧酸素水塊の積算容積のケース間比較

4.1.3 考察

本事業で検討したカキ礁造成可能域全域にカキ礁を造成することで、2007年カキ礁分布条件に比べて貧酸素水塊の軽減効果が約2.7%向上することが予測された。また、河口近くへのカキ礁の造成が、貧酸素水塊の軽減に効果的であると予測され、優先して実施することが望まれると考えられた。

この河口に近い場所への造成が貧酸素水塊の軽減に効果的なことは、既往知見においても報告されている。山口ら³⁾は、筑後川河口沖、北部の佐賀県沿岸、西部の佐賀県沿岸にカキ礁を造成した解析を行い、筑後川河口沖に造成することで最も高い効果が得られており、エスチャリー循環と河口域で生成された有機物の除去による効果を考察している。本事業で実施した解析においても、同様の効果が現れたものと考えられた。

環境省有明海・八代海等総合調査評価委員会¹⁹⁾は、有明海の貧酸素水塊は、湾奥西部の干潟縁辺域と諫早湾内において、小潮から中潮期を中心に別々に発生すると報告している。この湾奥西部の干潟縁辺域は、カキ礁造成可能域と検討した場所の沖側であることから、上記で効果的と考察した河口近くのエリアだけでなく、造成可能域全域への造成も、少しずつでも進めることが望まれると考えられた。

そこで、河口近くのエリアに配置計画にそってカキ礁を造成した場合と、全域に造成するが設置する着生材を減らした場合の解析を行い、貧酸素水塊の軽減効果にどの程度の違いが現れるかを検討した。実施した解析ケースは、図60および表20に示した通りであり、河口近くのエリアのみに造成したケース（ケース3-1）と、全域に造成するが造成量を1/2, 1/3, 1/4と減らした3ケース（ケース3-2～ケース3-4）である。

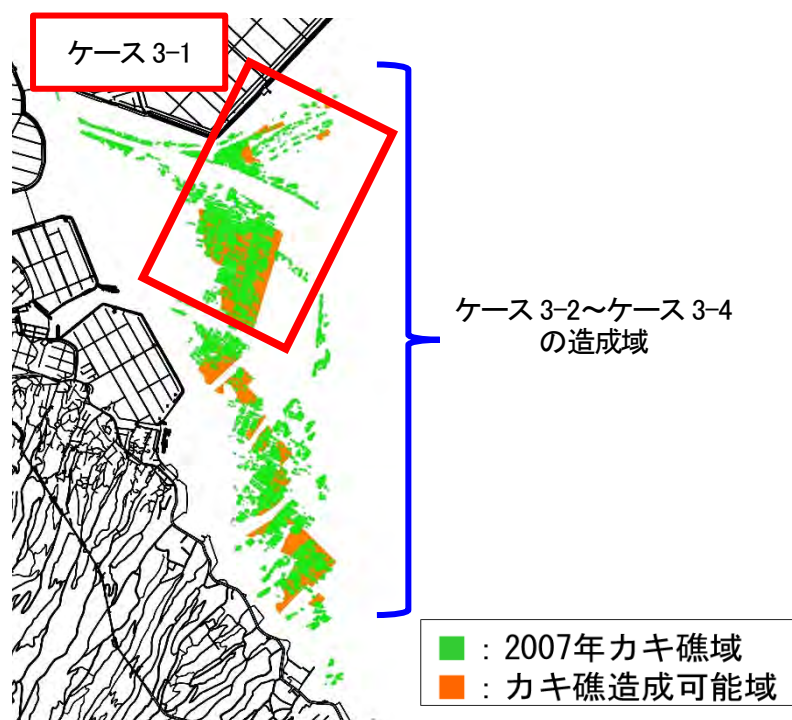


図60 各ケースの造成域

表 20 実施ケース一覧

ケース名	造成場所	設定バイオマス（2007 年分布条件からの増加率）
ケース 3-1	河口近くの造成可能域（図 60 赤枠部）	配置計画より設定（約 17%）
ケース 3-2	造成可能域の全域	配置計画の 1/2（約 16%）
ケース 3-3		配置計画の 1/3（約 11%）
ケース 3-4		配置計画の 1/4（約 8%）

各ケースにより得られた貧酸素水塊の積算容積の比較を図 61 に示した。なお、図には比較のために、造成可能域の全域に配置計画によりカキ礁を設定したケース 2 の結果も示した。

ケース 3-1～ケース 3-4 の各ケースの結果より、全域に配置計画の 1/2 の造成量で設定したケース 3-2 が、河口近くのエリアに造成したケース 3-1 より貧酸素水塊の積算容積が小さくなり、貧酸素水塊軽減効果が高くなる結果が得られた。ケース 3-1 で造成したカキ礁造成可能域の面積は、カキ礁造成可能域全体の約 50 % であり、2007 年分布条件からのバイオマスの増加率で見るとケース 3-2 と同程度である。したがって、造成量と同じ場合は、全域に造成した方が、効果が高まると予測された。

効果的なカキ礁造成場所を個々のエリアで検討した場合は、流入負荷源に近く、より高い有機物の除去効果が期待される河口近くへの造成が、貧酸素水塊の軽減に効果的であった。ただし、河口近くであっても密にカキ礁が造成された場合、流入負荷源に近いカキに比べて、カキ礁中央部など負荷源から離れた位置のカキは摂餌する有機物量が減少しているものと考えられる。しかし、この密に造成されたカキを間引くことで、カキ礁内では効率的に有機物を摂餌することになる。そして間引いた分に相当するカキを他の造成可能域に配置することで、これらカキも効率的に摂餌することになり、ケース 3-2 はケース 3-1 と同程度の造成量であっても、摂餌した有機物量が多くなり、貧酸素水塊の軽減効果の向上に繋がったものと考えられた。

以上より、カキ礁造成にあたり、沿岸地域の広い地区で協働して作業が行えるならば、カキ礁造成可能域全域を対象に少しずつでも着生材の設置を進めることが望まれた。しかし、限られた労力および資材でカキ礁造成を実施する場合は、カキ礁造成可能域の中でも貧酸素水塊の軽減効果の高い河口近くのエリアからの実施が良いと考えられた。

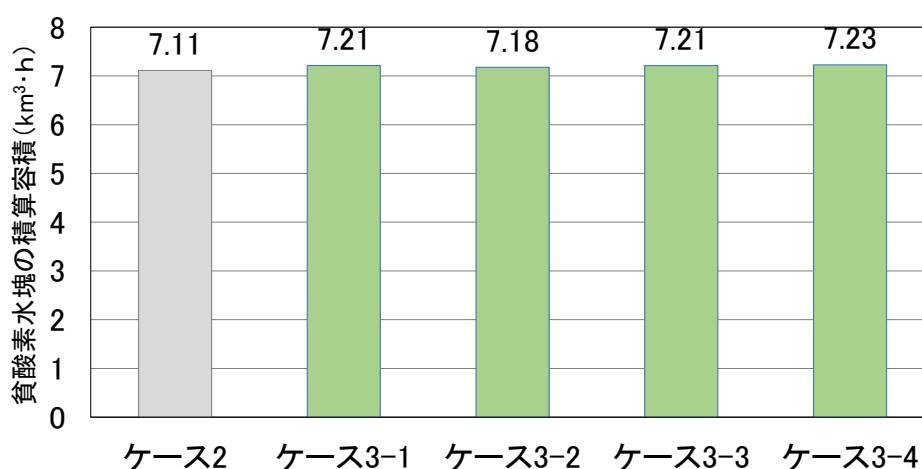


図 61 貧酸素水塊の積算容積のケース間比較

5. 中課題としての成果と課題

5.1 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4-1-1 カキ礁造成場所の検討

本小課題では、カキ礁造成場所の検討として、「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」を実施した。課題の目標達成状況は、表 21 のとおりである。

表 21 カキ礁造成場所の検討の目標達成状況

目標	判定結果	
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	○	これまで未確認であったエリアのカキ礁の位置と形状の把握および平均的な高さを算出し、カキ礁分布の把握範囲を拡大させた。
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把握する	○	3次元流動シミュレーションによる計算結果から、畝状離散型カキ礁の造成によるカキ礁周辺の流れの変化を把握し、着生材配置計画の妥当性を確認した。

小課題4-1-2 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、「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」を実施した。課題の目標達成状況は、表 22 のとおりである。

表 22 カキ礁造成方法の開発の目標達成状況

目標	判定結果	
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	○	棚式着生材の経年的なカキ着生量および金網ロール式着生材の1年目のカキ着生量を把握した。
既存カキ礁のカキバイオマスの年変動を把握する	○	浜川河口と七浦地先の既存カキ礁のカキバイオマスを経年的に確認し、バイオマスの年変動と季節変動を把握した。
作業手引きを完成させる	○	漁業者との実証実験により、金網ロール式着生材の製作から設置までの作業手引きを完成させた。

小課題4-1-3 カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証

本小課題では、「カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証」を実施した。課題の目標達成状況は、表23のとおりである。

表23 カキ礁造成による貧酸素水塊軽減効果の検証の目標達成状況

目標	判定結果
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	○ 着生材配置計画をもとにカキ礁を造成した際の貧酸素水塊軽減効果を把握し、作業性や軽減効果の観点から、優先して造成すべきエリアを推測した。

5.2 実用性の検討

5.2.1 漁獲額/コストの算出

着生材に着生した単位面積あたりのカキの殻付き重量と販売単価から期待される漁獲額を算出し、着生材の製作に係るコストと比較した。各着生材の1基あたりの漁獲額/コストは、表24のとおりである。

算出に用いたカキの販売単価は、既存カキ礁で漁業を営む個人漁業者および漁業協同組合（佐賀県有明海漁業協同組合鹿島市支所）からヒアリングした値を平均したものである。

着生材1基あたりのカキ漁獲量は、令和3年度に設置した棚式着生材のカキ着生量が設置2年目で約18 kg/m²であり、着生材1基あたり4 m²であることから、72 kg/基を用いた。ただし、佐賀県漁業調整規則では、採捕するカキの大きさに制限が設けられていないため、殻高30 mm以上の個体を漁獲対象と仮定した場合、重量割合で約94%のカキが漁獲対象となることから、着生材1基あたりの漁獲量を68 kgと設定した。なお、金網ロール式着生材の設置2年目以降の着生量は令和5年以降に明らかとなるため、本項では棚式着生材と同様の漁獲量を設定した。

以上より、漁獲額/コストの算出結果は、棚式着生材で1.27、金網ロール式着生材で2.24となり、漁獲額/コストで1.0以上を達成した。

また、この漁獲額/コストについては、カキ礁の整備による貧酸素水塊の拡大抑制とそれに伴う貧酸素水塊による水産資源への悪影響の緩和が図られることにより、当該水産資源の漁獲量と漁獲額が増加し、更に向上することが期待される。

表24 漁獲額/コストの算出結果

着生材	カキ販売単価 (¥/kg)	カキ漁獲量 (kg/基)	漁獲額 (¥/基)	製作コスト (¥/基)	漁獲額/コスト
棚式着生材	525 ^{※1}	68	35,700	28,100 ^{※2}	1.27
金網ロール式着生材				15,969 ^{※3}	2.24

※1：漁業者ヒアリングによる平均カキ販売単価（¥400～¥650/kg）

※2：令和3年度の漁業者との実証による実績を用いて算出（人件費を除く部材費）¹⁰⁾

※3：令和4年度の漁業者との実証による実績を用いて算出（人件費を除く部材費）

5.3 実用性の検討を踏まえた成果と今後の課題

5 か年の成果と今後の課題は、表 25 のとおりである。

表 25 5 か年の成果と今後の課題

小課題	成果	課題
4-1-1 カキ礁造成場所の 検討	- 継続的な測量調査と空撮調査により、当該海域のカキ礁の分布状況を把握し、カキ礁造成可能範囲とその面積 (113.5ha) を把握した。また、測量調査結果から、浜川河口域の理想的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。 - 浜川河口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・間隔等) を作成した。	カキ礁の造成に向けて、既存カキ礁の平均カキバイオマスとほぼ同程度のカキが着生する効率的な着生材を開発し、それらは漁業者が実施可能な技術であることを実証した。一方で、カキ礁を造成するためには、着生材に着生したカキが地盤に落下し、それらが複数世代で付着し合い、多重立体の構造である必要があり、今フェーズではそこまでの検証に至っていない。カキ礁の造成のためには、造成場所の環境に応じた造成手法の具体的検討が必要である。
4-1-2 カキ礁造成方法の 開発	- 当該海域 (浜川河口域) の既存カキ礁の平均的なカキバイオマス (20 kg/m²) を把握するとともに、浜川河口域と七浦地先の既存カキ礁の年変動を把握した。 - 材質や形状の異なる着生材を経年的に導入検討し、耐久性とコスト面で実用的でありながら、効率的にカキが着生する着生材を開発した (目標値を概ね達成)。 - 漁業者との実証実験により、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。	
4-1-3 カキ礁造成による 貧酸素水塊の軽減 効果の検証	- 造成可能域全域にカキ礁が造成されることにより、2007 年カキ礁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。 - 貧酸素水塊の軽減効果を高めるためには、沿岸地域の広い範囲で協働しての造成作業が望まれ、限られた労力で場所を限定して造成する場合は、河口に近いエリアを優先することが効果的と推察した。	解析では、カキのバイオマス条件を全域一様に設定した。しかし、カキバイオマスは場所 (底質環境) によって変化するため、場所ごとにバイオマス条件を変更した解析が必要である。

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) 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.
- 7) 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.
- 8) 全国沿岸漁業振興開発協会. 水産生物の環境条件. 沿岸漁場整備開発事業施設設計指針 平成4年度版. 1993; 323-400.
- 9) 阪下真司, 中山武則, 茨木信彦. NaCl 水溶液中における鋼ワイヤの腐食速度と線径の関係. 腐食防食学会誌. 1999;**48**: 514-519.
- 10) 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3年度有明海のアサリ等の生産性向上実証事業報告書. 2022.
- 11) 小谷祐一. カキ礁の価値と保全の必要性(3) —有明海奥部におけるカキ養殖の歴史とカキ礁の実態. JFSTA NEWS 会員通信. 2018; **55**: 1-3.
- 12) Blumberg, A. F., and Mellor, G. L. A description of a three dimensional coastal ocean circulation model, in Three Dimensional Coastal Ocean Models, Coastal Estuarine Sciences. N. S. Heaps, ed., American Geophysical Union, Washington, D. C. 1987; **4**: 1-16.
- 13) Carl F. Cerco, and Thomas Cole. The CE-QUAL-ICM Three-Dimensional Eutrophication Model, Release Version 1.0., US ARMY ENGINEER WATERWAYS EXPERIMENT STATION. 1995.
- 14) 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. 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). 2013; 181pp.
- 15) 伊藤史郎. 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. 2005.
- 16) 中村義治・金綱紀久恵・磯野良介・三村信男. 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. 2003; **50**, 1296-1300.
- 17) 農林水産省. 第55次佐賀農林水産統計年報. 九州農政局統計部. 2009.
- 18) 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13回)配布資料8-2. 2016.
- 19) 環境省. 有明海・八代海等総合調査評価委員会報告書. 2006.
- 20) 独立行政法人水産総合研究センター・株式会社パスコ平成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. 2011.

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	・佐賀県有明海域カキ生産量 ・カキ礁造成による貧酸素緩和効果についての既往知見
	1.2 実施場所	・実施場所 ・過年度に設置した着生材
	1.3 技術開発ロードマップ	・技術開発ロードマップ
	1.4 技術開発フロー	・技術開発フロー
	1.5 過年度までに得られた成果と課題	・小課題の取り組み概要
	1.7 技術開発工程	・技術開発工程
	1.8 使用機器	・使用機器
2. カキ礁造成場所の検討	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	・カキ礁分布範囲のモニタリングの概要 ・浜川河口域の畝上離散型のカキ礁 ・カキ礁のモデル化 ・モデルの連続式と運動方程式 ・ケースの設定 ・ナローマルチビーム測量結果 ・カキ礁の高さの算出例 ・ドローン空撮画像 ・3次元流動シミュレーション計算結果 ・測量、空撮実施範囲 ・測量結果と2007年カキ礁の形状の比較 ・着生材配置計画
3. カキ礁造成方法の開発	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	・着生材のカキ着生量の把握の概要 ・既存カキ礁のカキバイオマスの把握の概要 ・漁業者との実証実験の概要 ・棚式着生材のカキ着生量（令和2年度・令和3年度） ・金網ロール式着生材のカキ着生量（10月・12月） ・既存カキ礁のカキバイオマス ・既存カキ礁のカキ殻高計測結果 ・既存カキ礁のカキ以外のその他生物のバイオマス ・水質連続観測結果（水温、塩分、溶存酸素濃度） ・金網ロール式着生材のモデル ・漁業者との着生材の製作および設置状況

		・作業手引きの抜粋 ・金網ロール式着生材の試験設置 ・棚式着生材と金網ロール式着生材の構造 ・着生材下部のカキ落下状況 ・カキバイオマスの推移（浜川河口・七浦）
4. カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証	4.1 カキ礁造成による貧酸素水塊の軽減効果の検証	・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 ・カキ礁条件 ・2007 年のカキ礁分布 ・カキ礁分布条件 ・低層 DO 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 ・2007 年カキ礁分布ケースと各造成ケースによる貧酸素水塊の積算容積の差分 ・カキ礁造成可能域全域に造成した場合の貧酸素水塊の積算容積のケース間比較 ・各ケースの造成域 ・貧酸素水塊の積算容積のケース間比較