

3.1.2 結果

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、物質循環モデルを改変し、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、物質循環モデルの改変結果およびカキ礁の分布条件を変更した解析結果も用いて、貧酸素水塊の軽減効果を評価した。

(1) 再現計算結果

実施ケースのうち、再現ケースとした 2007 年カキ礁分布ケースの計算結果と、前掲図 53 に示した連続観測塔における底層 D0 の観測結果の比較結果を図 54 に示した。

評価対象となる底層 D0 の計算結果は、各観測点で観測値と同様の変動傾向を示す結果が得られた。

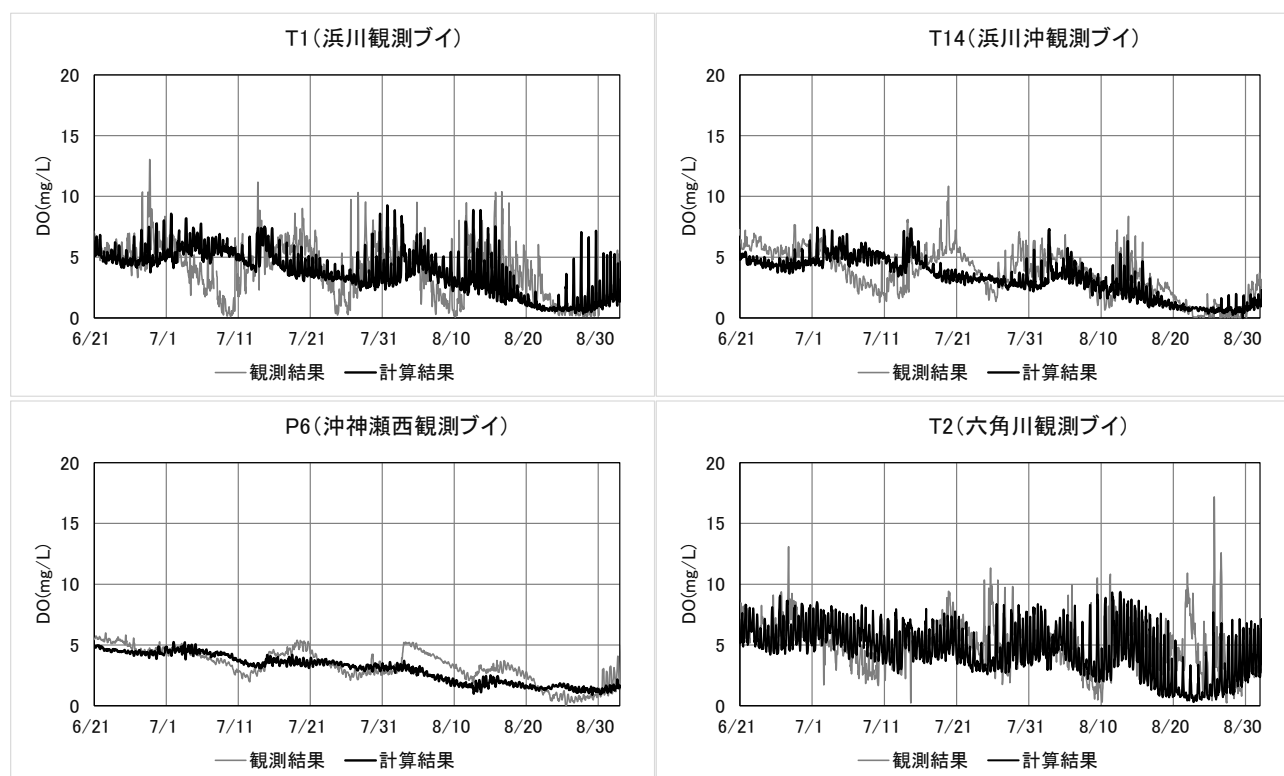


図 54 連続観測塔での観測結果と計算結果比較（底層：D0）

(2) カキ礁の分布条件による貧酸素水塊の軽減効果の予測

①底層 D0 分布の比較

カキ礁の造成による底層 D0 分布への影響を評価するために、貧酸素化が発達した 2007 年 8 月 23 日の各ケースの底層 D0 濃度の水平分布を図 55～図 56 に示し、2007 年カキ礁分布条件と他の各ケースとの差分の各結果を図 57 に示した。

各ケースの D0 の濃度の水平分布図を見ると、カキ礁無しケースでは、湾奥西部の広い範囲に 3.0 mg/L 以下の分布が見られた。さらに、岸に近づくに従って濃度低下しており、鹿島市地先では岸から約 2～5 km 沖合に 1.0 mg/L 以下の貧酸素水塊が分布した。

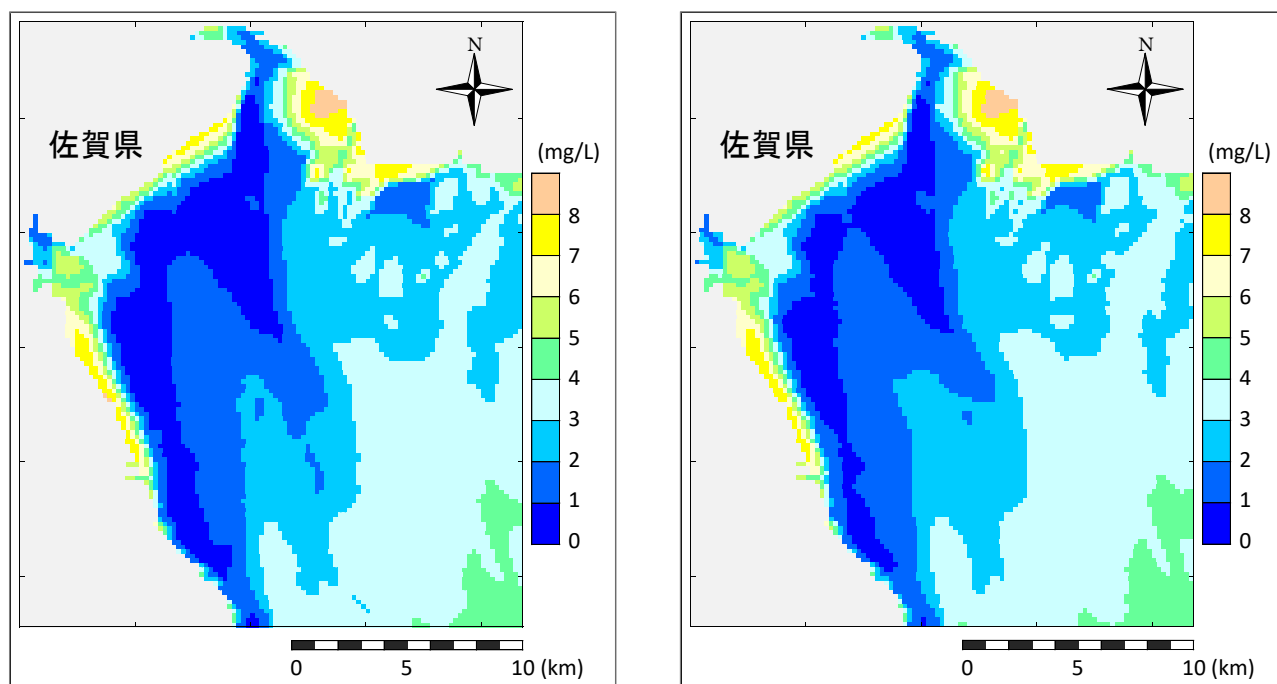
2007 年度カキ礁分布ケース（ケース 2）では、鹿島市地先から七浦付近にかけての沿岸部のほか、六角川

や筑後川の河口沖にカキ礁が分布した効果により、カキ礁分布域と、その近傍域で濃度上昇し、特に 1.0 mg/L 以下の分布域の縮小が見られた。

さらに 1977 年カキ礁分布ケースになると、底層 D0 の濃度低下が弱まり、1.0 mg/L 以下の分布域がカキ礁無しケースや 2007 年カキ礁分布ケースよりも減少した。さらに 3 mg/L 以下の分布域の縮小も見られた。

1978 年のカキ礁分布ケースでは、2007 年カキ礁分布ケースに比べて濃度上昇しているが、1977 年カキ礁分布ケースの濃度上昇に比べて僅かなものとなった。1977 年と 1978 年の両年のカキ礁分布の違いは、六角川河口沖から筑後川河口沖にかけてのカキ礁分布の有無にある。

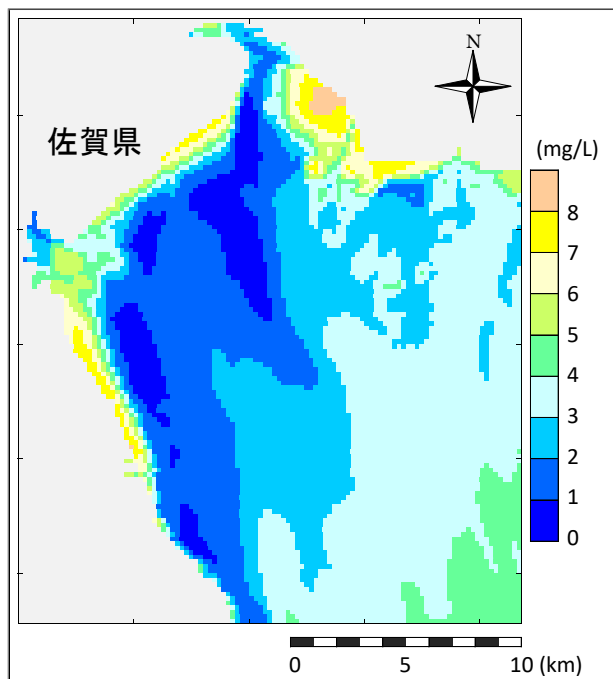
カキ礁分布可能域その 1 では、2007 年カキ礁分布ケースと同様の濃度分布となったが、生物量が約 12% 減少したことにより、2007 年度カキ礁分布ケースに比べて、濃度上昇の範囲が縮小する傾向が見られた。カキ礁造成可能域その 2 は、2007 年のカキ礁分布に加えて約 42.2 ha のカキ礁が分布したことにより、濃度上昇範囲が 2007 年カキ礁分布条件よりも広がるが、1978 年カキ礁分布条件に比べて上昇範囲は縮小する結果となった。



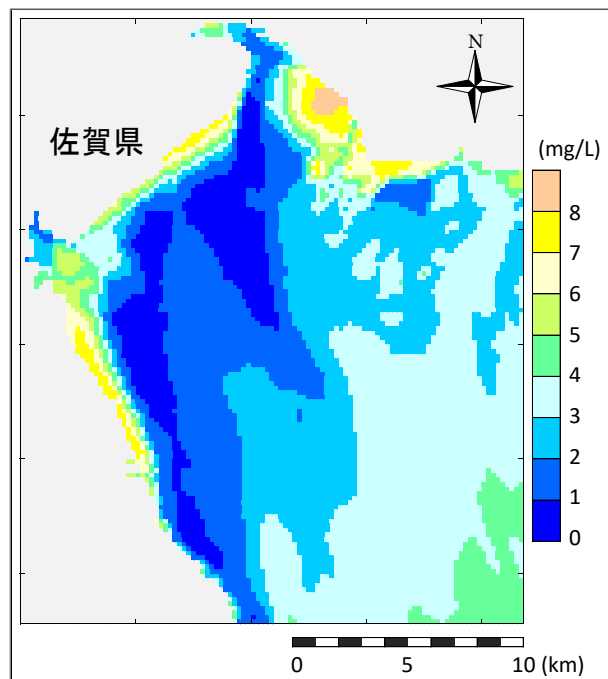
カキ礁無しケース

2007 年カキ礁分布ケース

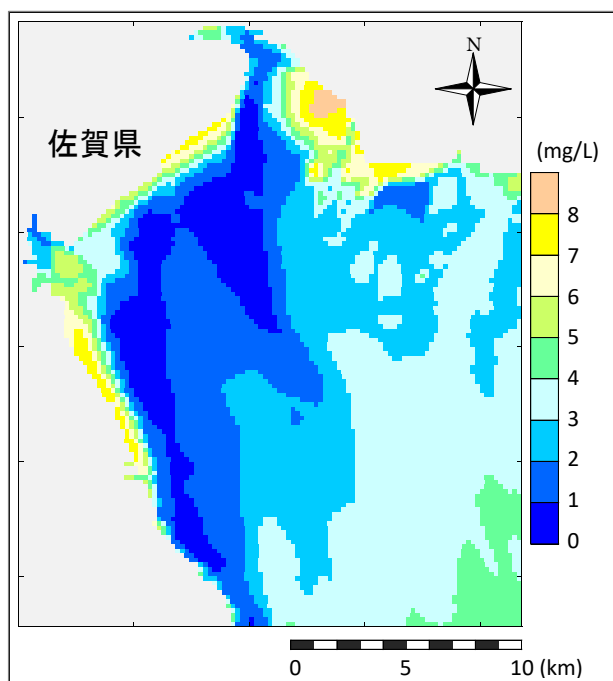
図 55 底層 D0 の水平分布比較 (1)



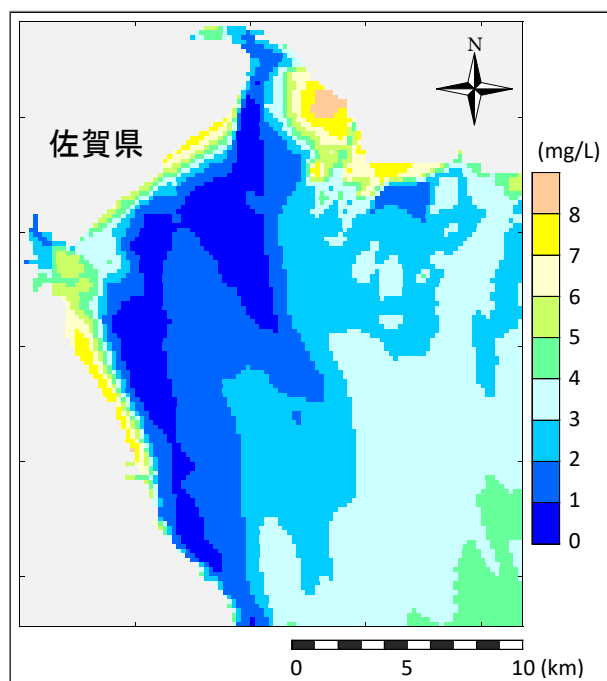
1977 年カキ礁分布ケース



1978 年カキ礁分布ケース

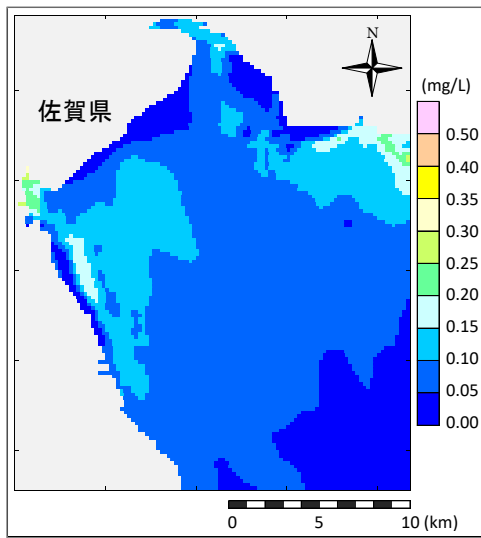


カキ礁造成可能域その1

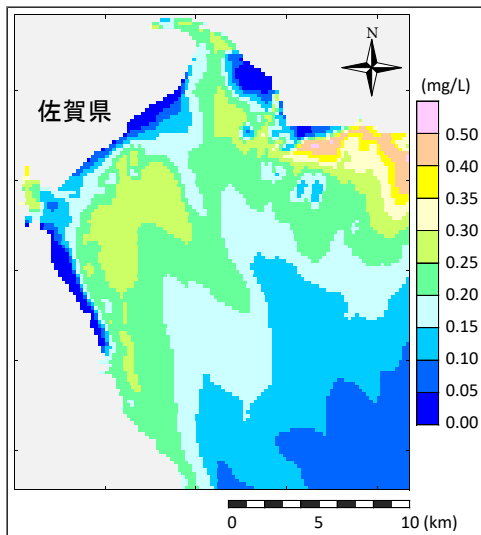


カキ礁造成可能域その2

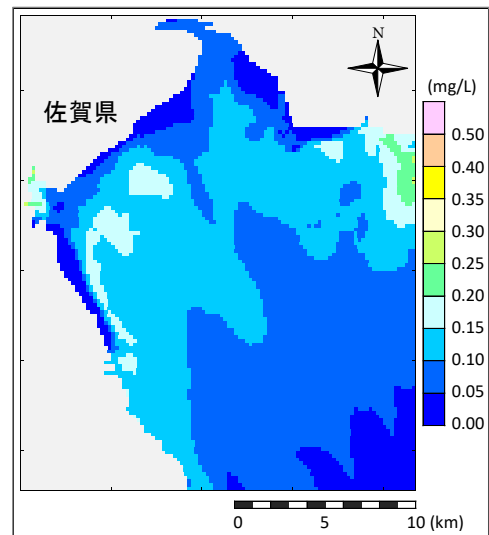
図 56 底層 D0 の水平分布比較 (2)



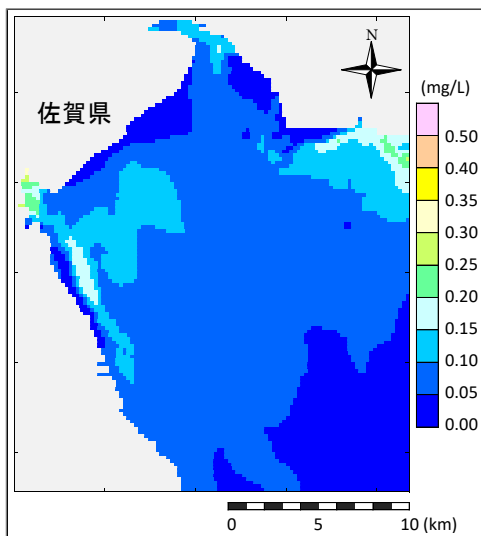
2007 年カキ礁－カキ礁なし



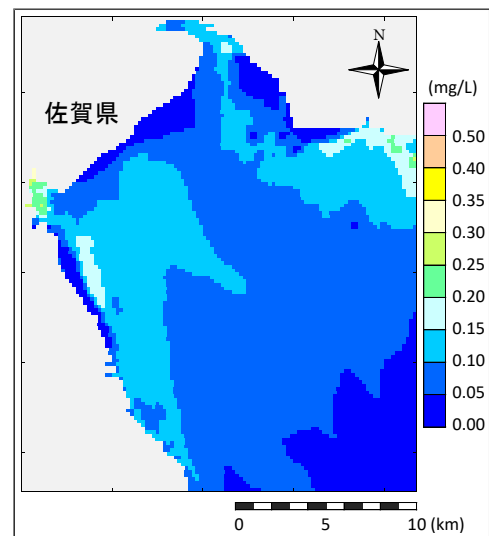
1977 年カキ礁－カキ礁なし



1978 年カキ礁－カキ礁なし



カキ礁造成可能域その1－カキ礁なし



カキ礁造成可能域その2－カキ礁なし

図 57 底層 DO の水平分布の差分

②底層 D0 が 1.0 mg/L 以下となる累積時間の比較

佐賀県沿岸に広く漁場が存在するサルボウガイ、そして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° C, D0 0.05 mg/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たが、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中村ほか（1997）により報告されている。さらに、日向野ら（2009）は、貧酸素に加えて高水温や硫化水素の影響を考察している。海水中の硫化物に関しては、海水中の D0 が 1.0 mg/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。そこで、前掲の図 53 に示した各点のうち、干潟域に位置する 3 地点（T1（浜川観測ブイ）、T14（浜川沖観測ブイ）、T2（六角川観測ブイ））において、底層 D0 が 1.0 mg/L 以下となる累積時間を集計し、図 58 に示した。

各地点ともにカキ礁の存在により、底層 D0 が 1.0 mg/L 以下となる累積時間は減少しており、2007 年カキ礁分布、1978 年カキ礁分布、カキ礁造成可能域その 1、カキ礁造成可能域その 2 の各ケースで 11～15%の累積時間の短縮に繋がる結果となった。さらにカキ礁が最も広く分布する 1977 年カキ礁分布のケースでは、カキ礁無し条件に比べて 30～39 %の累積時間の短縮に繋がり、カキ礁の分布による貧酸素水塊の影響の軽減効果が見られた。

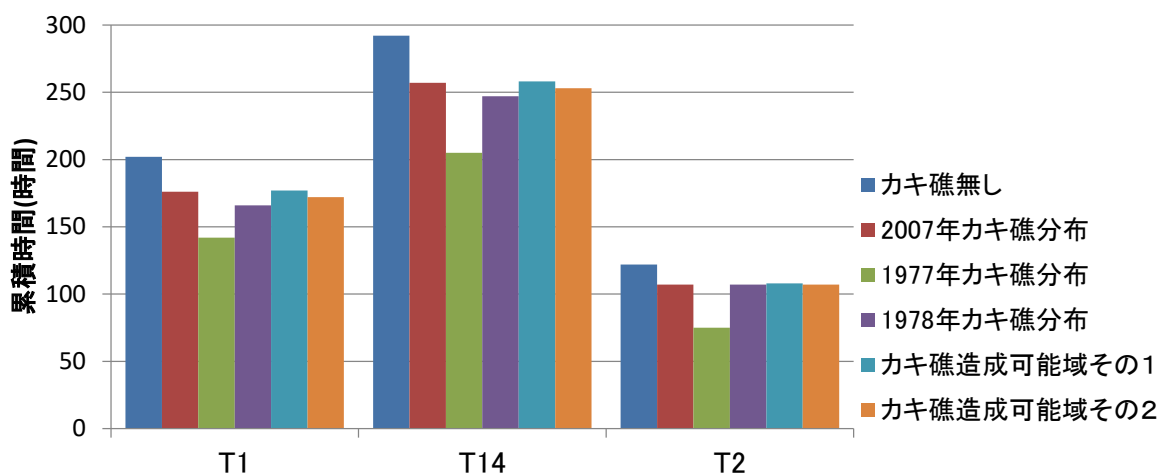


図 58 底層 D0 が 1.0 mg/L 以下となる累積時間の比較

3.1.3 考察

今年度の解析は、地形条件を前掲の図 55 に示した深浅測量結果を反映した条件に改良して実施したが、地形条件の変化も僅かであったため、カキ礁無しケースと、2007 年、1977 年、1978 年の各年のカキ礁分布ケースで得られた解析結果は昨年度と同程度の結果となった。得られた計算結果より、佐賀県前面海域において底層 DO が 1.0 mg/L 以下に貧酸素化する面積の時間変化を図 59 に示した。

底層 DO が 1.0 mg/L 以下となる面積が最も広く分布したのは 8 月 23 日である。この日のカキ礁なしケースの底層 DO 1.0 mg/L 以下の分布面積に比べて、カキ礁が分布する各ケースで面積が減少しており、特に 1977 年カキ礁分布ケースで最も分布面積が小さく、約 24%の減少となった。他のケースでも約 10～12%の面積の減少が見られた。

環境省（2016）は、カキ礁の分布による貧酸素化の緩和効果を積算面積の減少率でも評価しており、同様に 8 月 1 日から 8 月 31 日までの 1 ヶ月間の計算結果より検討すると、カキ礁なし条件に比べて、1977 年のカキ礁分布条件を除く各ケースでは、1.0 mg/L 以下で分布する範囲が、約 19～25 %減少する結果となった。1977 年のカキ礁分布条件では約 41%の減少となり、カキ礁の造成により有明海底層の環境改善の効果が期待された。

各カキ礁分布条件におけるカキ生物量を求め、2007 年カキ礁分布条件の生物量を 1.0 とすると、最も底層 DO が 1.0 mg/L 以下となる面積が減少した 1977 年カキ礁分布条件では、生物量が 6.7 倍であった。他ケースも含めた生物量比と積算面積の減少率を比較すると、図 60 に示した様に生物量の増加により減少率も増加するが、必ずしも線形の関係にならない事が確認された。

ここで、1977 年カキ礁分布条件と 1978 年カキ礁分布条件に積算面積で約 17%の大きな差が見られたが、両ケースのカキ礁分布条件の差は、主に六角川河口沖のカキ礁分布の有無にある。山口ら（2015）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事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。本解析においても、1977 年カキ礁分布ケースでは、六角川河口沖にカキ礁が分布した事により、同様の効果が現れたものと考えられた。

従って、カキ礁分布による貧酸素水塊の経変効果は、生物量の増大だけでなく造成場所による効果も大きいものと推察され、効果的な造成場所の検討も必要と考えられた。

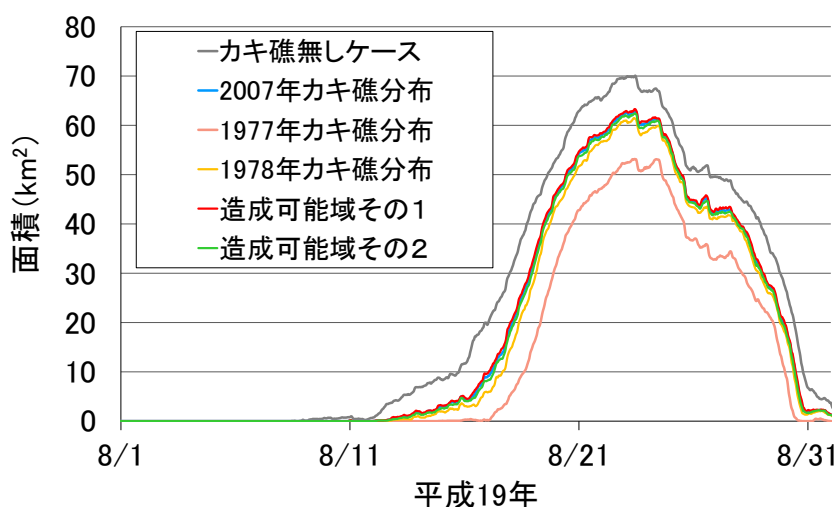


図 59 底層 DO が 1.0 mg/L 以下となる面積の時系列変化

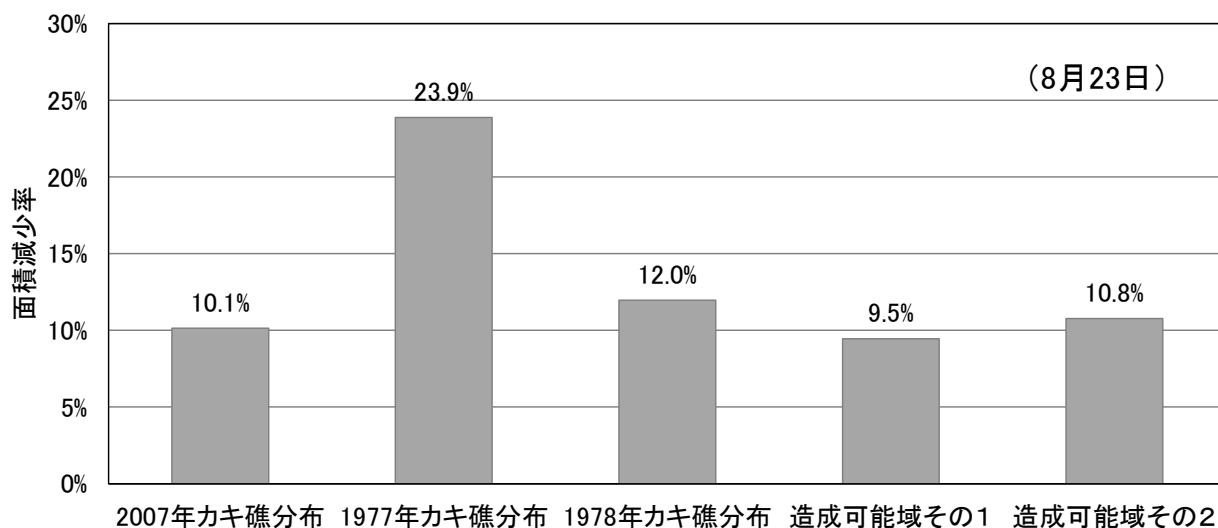


図 60 カキ礁無し条件に比べて各ケースの底層 D0 が 1.0 mg/L 以下となる分布面積の減少率 (8 月 23 日)

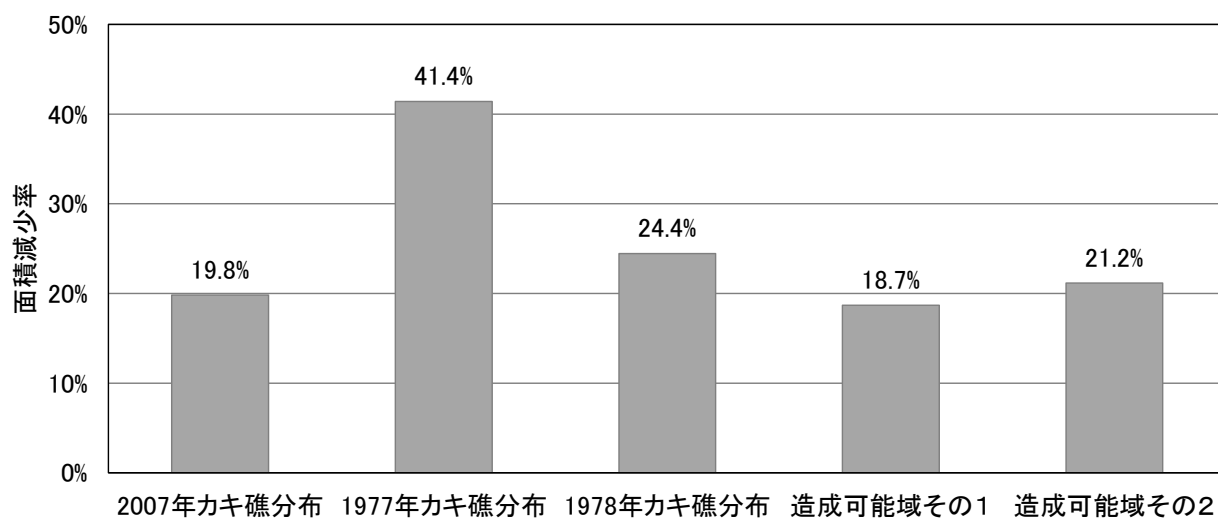


図 61 カキ礁無し条件に比べて各ケースの底層 D0 が 1.0 mg/L 以下の積算面積の減少率 (8 月 1～31 日)

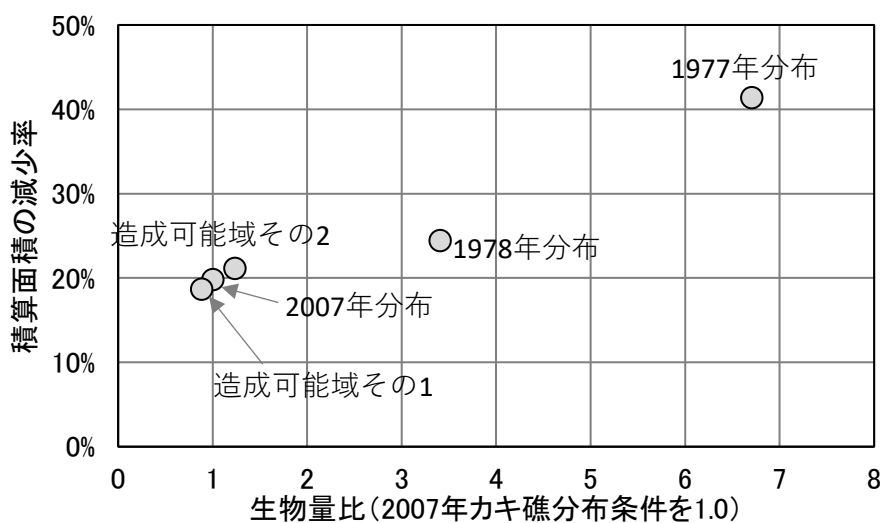


図 62 各ケースのカキ生物量比と底層 D0 が 1.0 mg/L 以下の積算面積の減少率の比較

4. 中課題としての成果と課題

4.1 目標の達成度について

本事業における令和2年度の目標値は、令和元年度に天然カキ礁と同等の着生量を達成したネットにおける、初年度着生したカキバイオマス量とした（0.06wet-kg/m²）。令和2年度は前述の通り7月の大雨の影響もあり夏期調査時には、広域にカキのへい死が確認でき、加えて6月に設置した着生材へのカキの着生は確認できなかった。しかしながら、10月には海域全体としてカキの回復が確認でき、今年度設置した棚式着生材にもカキの着生が確認できた。その量は鹿島地先、浜川河口地先でそれぞれ0.57 wet-kg/m²、0.66wet-kg/m²であり、ネットの設置初年度の着生量を大きく上回る結果が得られた。したがって、今年度の目標は達成とした。

小課題 4-1-1 カキ礁の効率的な造成技術の開発

技術名	検証項目	数値目標	目標達成の判定基準
金網を用いた棚式着生材	バイオマス量	0.06wet-kg/m ² 以上	100%達成（○）：0.06wet-kg/m ² 以上 80%達成（△）：0.05wet-kg/m ² 以上 不達成（×）：0.05wet-kg/m ² 未満

4.2 実用性の検討

令和2年度の設置した棚式着生材の製造および現地設置、加えてカキ礁が造成された際の収入を表5に示す。なお、金網および結束バンド等の資材単価は大型小売店舗にて購入した際の単価を、ロープおよびコンポーズは漁業協同組合にて購入した単価をそれぞれ基準とした。なお、製作から現地設置までの作業手順（作業性）については、前述（図32参照）した通りである。

その結果、棚式着生材（2m×2m）の製造および現地設置費用は1基あたりおよそ¥14,000-であった。なお、今年度使用した金網（無垢）の現地での耐用年数や、期待通りのカキの着生量の確認等、次年度以降も引き続き検証を行うことでメンテナンス等も踏まえたコストの計算が必要であると考える。

表5 棚式着生材の製造費用と期待される売上

	品目	単位	単価	数量	計	備考
材料費	金網（無垢）	m ²	630	168	105,840	1基あたり：幅1m×長さ7m×2枚＝14m ²
	ロープ（クレモナ製）	m	200	276	55,200	1基あたり：2m×4、1.5m×10＝23m
	コンポーズ（FRP製）	m	800	168	134,400	1基あたり：2m×4、1.5m×4＝14m
	その他（結束バンド等）	式			30,000	結束バンド、ビニールテープ等
人件費	製作（陸上作業）	人日	9,000	22	198,000	
	現地設置（干潟作業）	人日	9,000	8	72,000	
備船費	小船	隻日	20,000	4	80,000	船長人件費を含む
小計					675,440	
製造面積	：2m×2m×12基		48m ²			
単位面積当たりの造成費用		円/m ²			14,072	

※単価は今年度の実績に準ずるものであり、佐賀県の労務単価等には準拠していない

4.3 実用性の検討を踏まえた成果と今後の課題

小課題	成果	課題
4-1-1 (造成場所)	①カキ礁造成可能面積：約 42ha ② 上記①の場合、バイオマス増加量 8,400 k t	①現状のカキ礁分布状況把握の範囲を拡大し、精度向上を図る必要がある。 ②天然カキ礁の長さ、幅、高さのデータ蓄積を継続し、これらの平均的なものを継続するとともに、バイオマス原単位をより実態に近づける必要がある。
4-1-1 (造成方法)	① (作業性、コストを考慮した) 作業手順を明確にし、漁業者が実施可能であることが確認できた。 ②棚式着生材のカキ着生バイオマス量が目標値 (0.06wet-kg/m²) を上回った。 ③3 次元流動シミュレーション結果からカキ礁造成の配置次第で上昇流が期待でき、貧酸素水塊軽減効果が期待される。	①明確にした作業手順で棚式着生材の製作・設置を検証する必要がある。 ②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ていく必要がある。加えて、他着生材の経年着生材効果を把握する必要がある。 ③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。
4-1-2 貧酸素水塊軽減	物質循環モデルの計算結果より、カキ礁造成によるバイオマス量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。	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。

参考文献

- 1) 日向野純也, 品川 明 (2009) : 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, 87-100 pp.
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 環境省(2016) : 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.
- 5) 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.
- 6) 中村義治・金綱紀久恵・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.
- 7) 西尾利哉・西島渉・岡田光正・畑恭子・白谷栄作・中田喜三郎(2016) : 数値モデルを活用した泥質干潟の窒素動態の解析. 海洋理工学会誌, 22(1), 13-28.
- 8) 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.
- 9) 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
- 10) 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.

