

阿蘇海におけるケーススタディ

阿蘇海は長さ 3km 以上の砂嘴によって、宮津湾から隔てられている。海底は平坦で、西から東へゆるく傾斜し、天橋立の西側 0.5~1.0km のところにある最深部の水深は約 14m である。観光や漁業など、古くから人々の生活や営みと密接に関わりながら、日本三景の一つである天橋立など、美しい景観を形成し、限りない恩恵をもたらしてきた。しかし、1960 年代以降、工業生産の増加、化学肥料への転換、森林の手入れ不足、そして人々のライフスタイルの変化を要因とする富栄養化が進行した結果、阿蘇海の水質が急速に悪化、年々ヘドロが堆積し、アオサやオゴノリ科の海藻類の腐敗等の悪臭、アマモ場の減少等生物多様性の喪失、カキ殻島が天橋立（周辺）の景観を損ねるなど様々な問題が顕在化している。また、川や海で捨てられ海岸に漂着するごみ等も深刻な問題であり、かつての美しく豊かな海は失われつつある。海水の垂直循環も悪く、野田川河口両岸付近では埋め立てにより、従来の海岸線は人工的に改変されているところが多い。田中、瀬戸（2010）によれば、阿蘇海は表層水、中層水、底層水の三層構造をなし、底層水は貧～無酸素状態にあるとしている。

阿蘇海的环境改善の取組については、平成 19 年に設置された「阿蘇海環境づくり協働会議」での地域の関係者による活動から、流域全体の将来像や課題等が共有され、平成 27 年には「阿蘇海流域ビジョン」が策定されるなど、現在もその取組は継続されている。

ここでは、主に「阿蘇海環境づくり協働会議」の取組を基に、事業者（実施主体）が阿蘇海の課題解決のためにどのように対策を選定し、実施してきたのかについて整理した。



出典：NTT 空間情報株式会社 ©NTT 空間情報（2016 年撮影）

(1) ステップ1 体制の構築

1) 取組経緯

阿蘇海では、総合的な環境改善の取組を進めるため、地域住民、関係団体及び行政が、平成19年5月に阿蘇海環境づくり協働会議を設置した。

阿蘇海環境づくり協働会議では、富栄養化による水質悪化やカキ殻島等の問題解決を目指し、地道な活動を展開してきた。徐々に気運が高まる中、活動のステップアップを目指し、将来像や課題等を共有するため住民ワークショップを開催し、平成27年には「阿蘇海流域ビジョン」を策定した。このビジョン策定を契機に阿蘇海フェアを新たに開催し、地元小中高生や大学生の取組発表等を通じて取組の共有・情報発信を推進し、流域全体の取組機運の向上に取り組んでいる。また、景観を損ねたり、悪臭の発生、アサリ漁場喪失等阿蘇海の環境問題を象徴するカキ殻島について、産官学民が連携して大規模な回収・資源化プロジェクトを実施し、カキ殻を通じて流域全体の取組を訴えろと共に、ビジョン実現に向け、地元や大学生との連携を深めながら、流域全体で取組の場づくり・人づくり、環づくりを推進している。

2) 阿蘇海環境づくり協働会議の設置 (H19.5)

阿蘇海では、環境基準の達成や顕在化した問題の解決に向けて、各種調査やシーブルー事業（覆砂）などの環境対策を実施してきたが、海域環境の改善には流域住民や関係団体と行政が連携を強化し、一体となって総合的に取り組んでいくことが必要であるととして、阿蘇海環境づくり協働会議が設置された。

阿蘇海環境づくり協働会議は、学識経験者のサポートを得ながら進められている。地域の関係者としては、環境分野だけでなく、地域の企業をまとめる商工会や観光協会、農林水産業従事者、まちづくりや環境活動を行う団体、教育者など幅広い分野から構成され、また、行政からの構成員も、環境部局のみということなく分野横断的に集められ、流域市町とも連携体制がとられている。

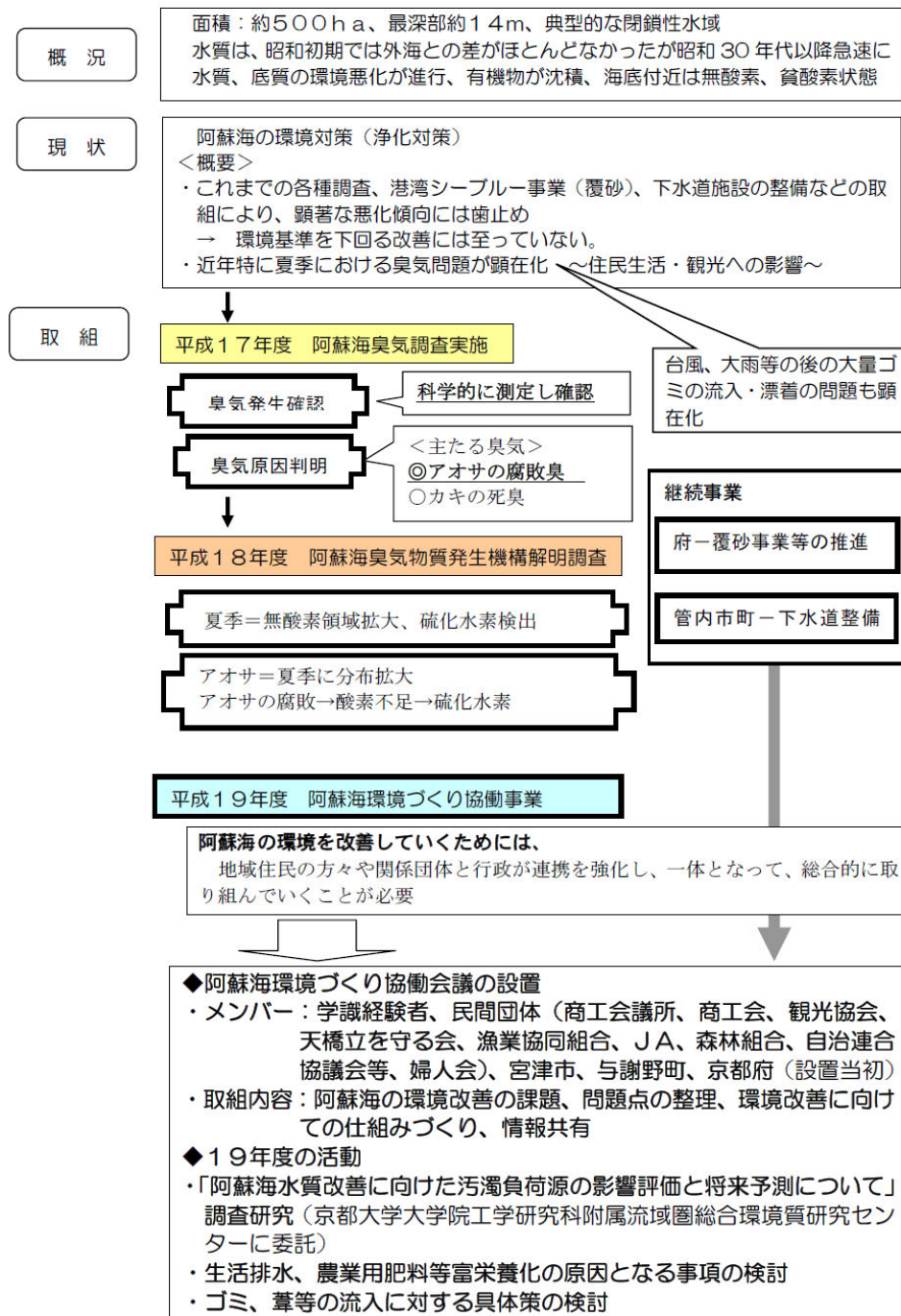
学識経験者：京都大学、舞鶴工業高等専門学校

地域関係団体・行政：宮津商工会議所、与謝野町商工会、天橋立観光協会、与謝野町観光協会、天橋立を守る会、漁協溝尻地区運営委員会、JA 京都野田川支店、宮津地方森林組合、宮津市自治連合協議会、宮津市地域女性の会、与謝野町区長会連絡協議会、与謝野町婦人会、府立海洋高等学校、NPO 法人丹後の自然を守る会、宮津市、与謝野町、京都府



図 3-57 阿蘇海環境づくり協働会議による阿蘇海と流域の環境についての紹介パンフレット

阿蘇海環境づくり協働会議が設置されるまでの経緯は図 3-58 のとおりである。



出典：「阿蘇海環境改善の取組について」（京都府丹後広域振興局資料）

図 3-58 阿蘇海環境づくり協働会議設置までの経緯

(2) ステップ2 海域の現況把握と課題の整理

阿蘇海では、長期的な環境モニタリング調査としては、京都府による公共用水域水質測定調査があり、毎月水質調査が実施されている。その他、調査水域や調査時期は限られるものの、海域の開発事業に伴うアセスメントの調査や事業後の監視調査、大学や高校における調査研究が実施されている。また、平成5年から実施している覆砂事業（シーブルー事業）では、その効果検証を目的に、事業実施箇所周辺での阿蘇海の底質や生物の調査が実施されている。

1) 阿蘇海における環境モニタリング

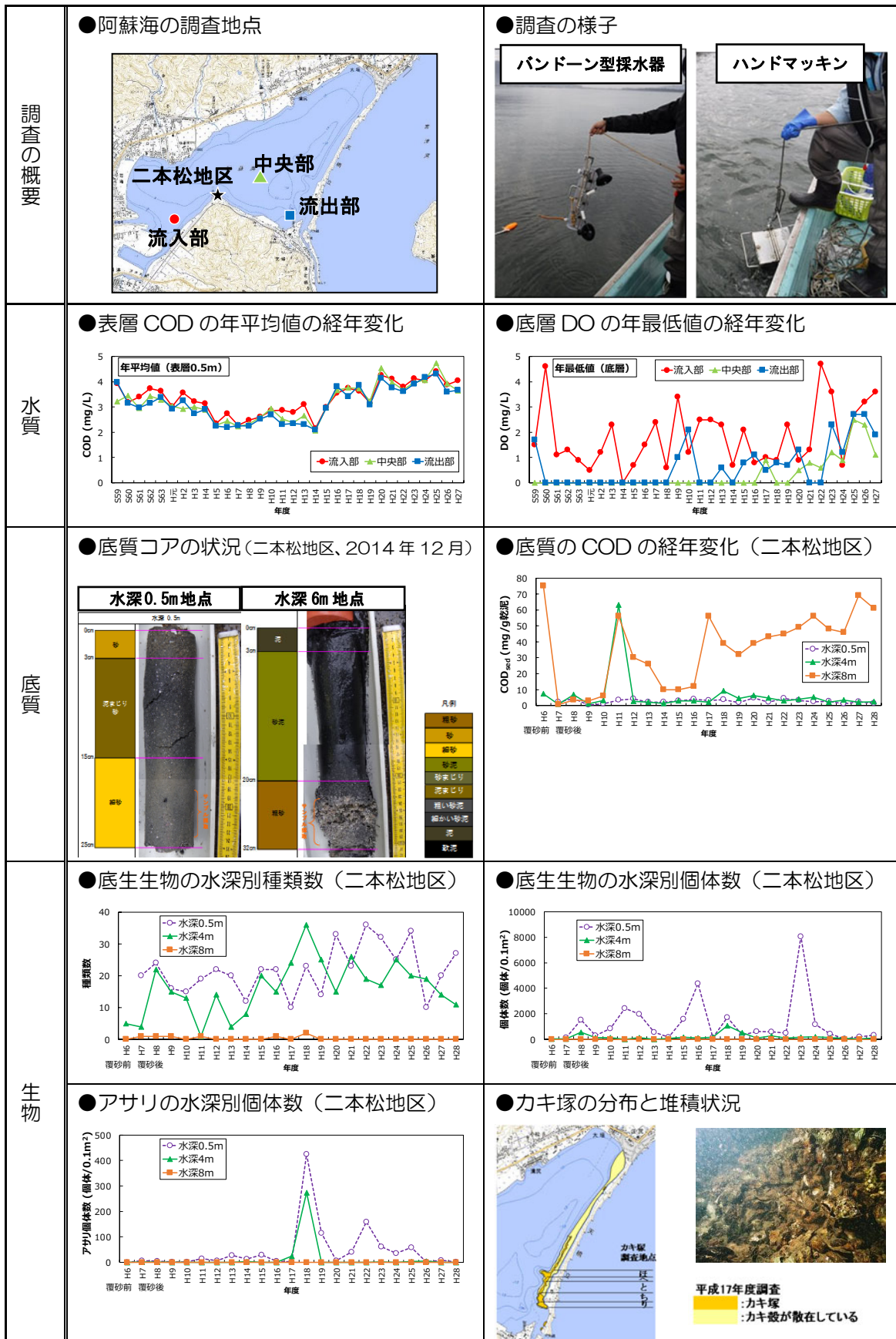
阿蘇海では、公共用水域の水質調査地点が4地点（野田川流入点、中央部、溝尻地先、文珠地先）設定され、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）、全リン（T-P）等の測定が行われている。調査は毎月定期的実施され、京都府及び阿蘇海環境づくり協働会議のホームページ (<http://www.pref.kyoto.jp/tango/ki-kikaku/1211259080561.html>) 上で、水質調査結果が公表されている。

また、この他にも京都府港湾局により海域環境創造事業（シーブルー事業）のモニタリング調査が実施されている。

これらのモニタリング結果から阿蘇海の水環境の現況を図 3-60 に整理した。



図 3-59 公共用水域測定調査地点



出典：水質調査結果については、各年度の公共用水域水質測定結果より作成
 底質及び生物調査結果については「宮津港海域環境創造業務委託報告書」（京都府丹後土木事務所・中央開発（株）、平成27年3月）（同、平成29年3月）より作成

図 3-60 阿蘇海の水環境の現況

2) 阿蘇海における調査・研究

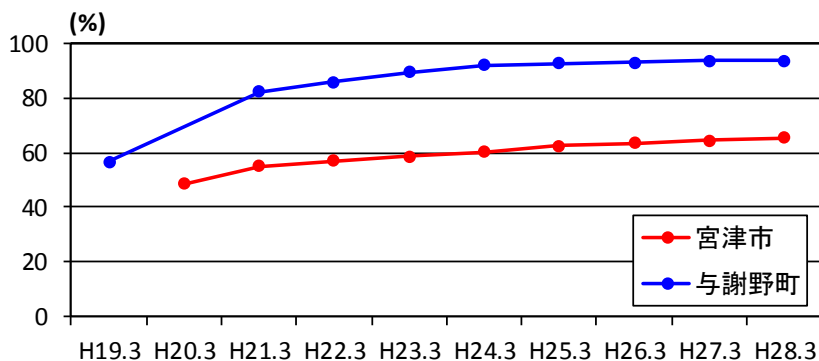
阿蘇海流域における調査研究成果として、エコロジカル・フットプリントの概念を利用した流域管理に関する報告⁹によると、天橋立・阿蘇海流域から、阿蘇海 2.07 個分の総リン(T-P)が流達していることが示された。また、阿蘇海の水質悪化の要因としては有機物汚濁の進行と、その原因ともなる栄養塩類の底質からの溶出が挙げられている。本報告では、この数値を阿蘇海 1.0 個未満とするためには、流達負荷量の削減が必要であり、下水道接続率の向上により T-P の削減が大きく期待できるとしている。しかし、阿蘇海流域の下水道普及率は宮津市が 65.5%、与謝野町が 93.8%となっているものの、下水道幹線への接続率が低く、普及率ほどに効果があらわれていないことが課題であると指摘されている。

表 3-6 阿蘇海沿岸の自治体における下水道普及状況

調査年	H19.3	H20.3	H21.3	H22.3	H23.3	H24.3	H25.3	H26.3	H27.3	H28.3
宮津市	—	48.7	55.1	57.0	58.7	60.1	62.4	63.6	64.5	65.5
与謝野町	56.7	—	82.3	85.9	89.4	92.1	92.6	93.1	93.7	93.8

単位: %

注: “—”は、普及状況が不明であることを示す。



資料: 京都府 HP より <http://www.pref.kyoto.jp/gesuido/>

図 3-61 阿蘇海沿岸の自治体における下水道普及率の経年変化

⁹ 清水芳久「流域内関係者の参加を考慮に入れた天橋立・阿蘇海流域における最適な水環境保全対策の影響評価システムの構築」(河川整備基金助成事業、平成 20 年度)

(3) ステップ3 海域の改善目標の設定

海域の改善目標を設定するための考え方は様々であるが、一般的には①過去の良好な状態を目標にする考え方、②対象となる良好な地点の状態を目標にする考え方、③潮干狩りや海水浴といった目的となる行動を実施できる状態を目標にする考え方などがあげられる。

阿蘇海においても、阿蘇海環境づくり協働会議を中心として、流域全体で将来ビジョンの共有の必要性が議論され、阿蘇海流域ビジョンの策定へとつながった。

1) 阿蘇海流域ビジョンの策定

阿蘇海流域の将来のあるべき姿や目標、取組の基本方針等を示すことにより、環境改善の取組をさらに推進するため、平成27年3月に「阿蘇海流域ビジョン」が策定された。策定に当たって、阿蘇海の将来イメージを共有するため、地域住民と計4回、延べ151人によるワークショップが開催された。



ワークショップ参加者の皆さん。阿蘇海沿岸、流入河川流域と住む場所が異なる方たちが一堂に会し、熱心に意見が交わされました。

「阿蘇海流域将来ビジョン」の策定に向けたワークショップを開催

阿蘇海環境づくり協働会議(事務局・京都府丹後広域振興局)では、5名の専門家と行政機関で構成する「専門家研究会」を設置し、阿蘇海の水質改善について協議しています。研究会での「地域の皆さんが阿蘇海の将来ビジョンを自分たちで決め、共通認識して、このビジョンに近付ける浄化対策に取り組むことが必要」との意見を受け、「阿蘇海流域将来ビジョン」の策定に向けたワークショップを開催しました。

昨年9月から12月まで計4回にわたって開催されたワークショップには、宮津市や与謝野町から延べ151人が参加。「阿蘇海フェアを開催します」

■日時 5月11日(日)
午後1時30分～4時
■場所 生涯学習センター知遊館 (与謝野町字岩滝)
■主な内容
・阿蘇海の現状についての講演
・子どもたちによる取組発表
・阿蘇海流域「食」体験、展示
※申込不要・参加無料

阿蘇海の魅力と将来イメージ「阿蘇海流域の将来イメージと施策のアイデア」。「目指すべき環境・目標年」等について協議し、「阿蘇海流域将来ビジョン(案)」が取りまとめられました。今年度は、この案に基づき、専門家研究会で具体的な浄化対策について検討が行われる予定で、パブリックコメントを経て、「阿蘇海流域将来ビジョン」を策定します。

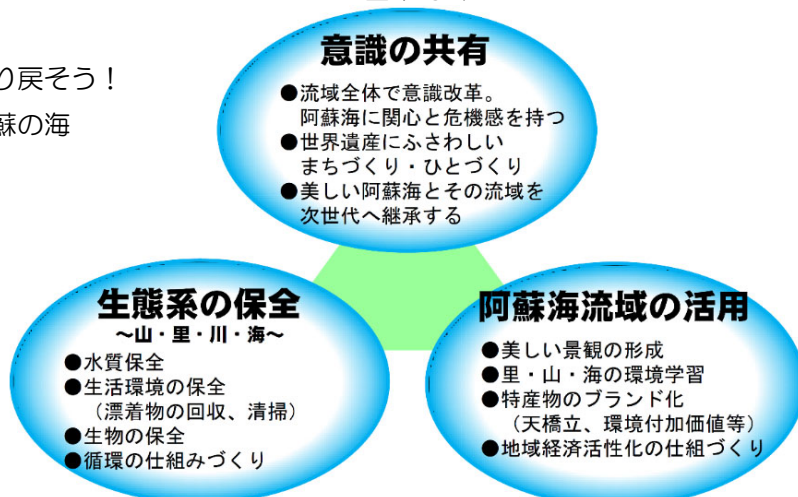
今回のワークショップを通じて、阿蘇海流域のこれからの環境保全のあり方について意識を共有することができました。

出典：広報みやづ (平成26年4月)

■スローガン

みんなの力で取り戻そう！
未来へそぞく阿蘇の海

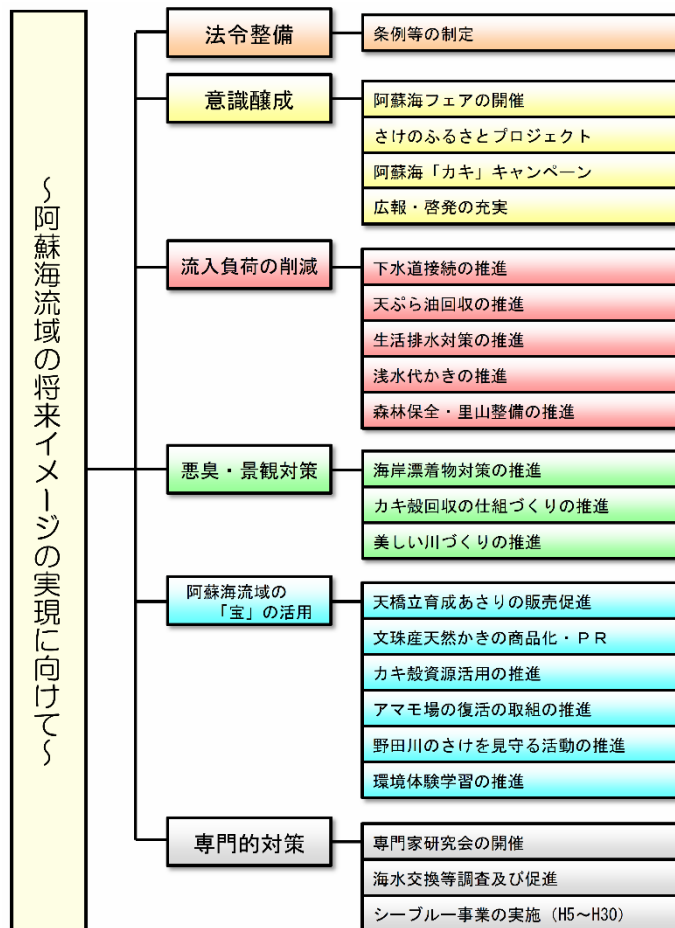
■3つの基本方針



■目指すべき環境・目標年

- ・目標年： 2030年（中間目標：2020年）
- ・内海： 外海と同じくらいきれいで豊穡な海
- ・上流： 豊かな自然の維持と人の営みとの共生
- ・暮らし： 下水道が100%接続され生活排水が流されない
2020年までに不法投棄ごみをゼロにする

■地域と協働した取組の体系



出典：阿蘇海流域ビジョン（全体版）

2) 「美しく豊かな阿蘇海をつくり未来につなぐ条例」の制定

阿蘇海流域ビジョン策定を契機として、宮津市及び与謝野町により「美しく豊かな阿蘇海をつくり未来につなぐ条例」が共同制定された。

この条例は、住民、事業者及び行政が一体となって美しく豊かな阿蘇海を取り戻し、次世代へ継承していくための行動規範と位置付けられ、美しく豊かな阿蘇海の実現に向けて、次世代への継承、周辺環境との調和、協働を基本理念に置くとともに、住民、活動団体、事業者など各主体それぞれの責務や取組項目などが規定されている。

■制定までの経緯

- ・平成 26 年 8 月、宮津市及び与謝野町に阿蘇海流域の環境保全に関する条例制定の要請
- ・条例制定講演会：平成 27 年 5 月 29 日
- ・条例制定検討会：平成 27 年 8 月～2 月（10 回）
- ・条例施行：平成 28 年 4 月 1 日

(4) ステップ4 具体的な改善方策の決定

1) 専門家研究会における検討

阿蘇海では、各分野の専門的な見地から、阿蘇海の水質改善に向けた対応策を多面的に分析・研究等を行うことで今後の施策づくりに役立てることを目的として、阿蘇海環境づくり協働会議の中の専門部会として「専門家研究会」が設置された（H23）。専門家研究会のまとめ（H26.7）では、阿蘇海の水質改善対策において、阿蘇海約3個分の環境容量が必要な流入負荷である現状を試算したうえで、最優先課題としては“流入負荷削減”を位置づけ、抜本的な解決には海水交換の向上等、専門的対策が不可欠とした見解がまとめられた。

阿蘇海では、これまで各分野で様々な調査や試験研究が行われるとともに、具体的な取組も行われている。専門家研究会では、阿蘇海環境づくり協働会議の活動をサポートする形で、阿蘇海の将来ビジョン（基本理念）の検討や、阿蘇海の水質改善に向けた環境改善対策などが検討されてきた。

その結果をとりまとめ、不足するデータの取得のため、大学と協働し、阿蘇海と宮津湾の海水交換の現状調査を実施するなど、取組をけん引している。このようなサポートは、行政が具体的な改善方策を決定するうえでも重要な知見となっている。

<専門家研究会のまとめ（H26.7）>

阿蘇海の水質改善目標としては、定量的な数値目標は設定されていない。流域全体で将来像を共有し、一人ひとりの行動を促すことを目指していることから、改善方策も住民、活動団体、事業者など各主体それぞれが考えていくものとなっている。そのため、流域住民の生活排水対策や下水道接続率の向上など、陸域からの流入負荷を削減することが最優先課題と位置付けられている。一方で、抜本的な解決には海水交換を向上させるための対策が必要であると、現状を把握するための調査や具体的な対策手法の検討が提案されている。

1 阿蘇海流域の水質改善には流入負荷削減が最優先課題

- 将来イメージや目標を共有し、流域全体で取り組む機運を醸成
 - ・ 「阿蘇海流域将来ビジョン（仮称）」の策定（将来イメージ、目標、基本方針等）
 - ・ 「阿蘇海環境改善条例」の制定
- 生活排水や農業排水等を削減する取組の更なる推進
 - ・ 下水道接続率の向上、浅水代かきの推進等
- 阿蘇海の活用や取組の「見える化」による更なる機運醸成、ネットワークの拡大
 - ・ 天橋立育成あさりの生産体制の充実、地産地消の推進
 - ・ アオサやオゴノリ科の海藻類やカキ殻の回収及び肥料化試験等有効活用の検討
 - ・ カキ島等の除去による景観保全、悪臭対策、あさり漁場の保全
 - ・ 広報誌等による普及啓発と地元主体の取組の推進
 - 各区合同清掃の実施
 - 河川敷の草刈と焼却の検討
 - さけのふるさとプロジェクト（住民交流会、川の学校、ごみ拾い等）
 - ・ 住民運動の更なる推進（ ⇄ 現在：阿蘇海約3個分の流入負荷）
 - 抜本的な解決には海水交換の向上等、専門的対策が不可欠

2 阿蘇海と宮津湾の海水交換の向上による浄化能力の向上

- 阿蘇海と宮津湾の海水交換の現状については未調査
 - ・海水交換を促進するためには、更なる予算措置による専門的な対策が必要
 - ヘドロ浄化等、個々の専門的対策についてより正確な費用対効果を検証する上でも、まずは海水交換調査が必要。

3 個々の対策の実施検討 ※海水交換調査結果に基づき検討

- 一時貯水池の整備等による流入負荷量削減の費用対効果の検証
- 浄化能力をより向上させる海水交換対策の検討
 - ・既存水路に堆積した土砂の浚渫、海底への水路設置等
- ヘドロ浄化方法の検討（浚渫、曝気等）
 - ・流入負荷対策が十分でないと再びヘドロ化する恐れがあるため、他の取組の進捗状況を見ながら検討
 - ・実施する際は、生物や景観に対する影響を考慮し、地元住民や漁協等関係団体との十分な事前協議が必要。

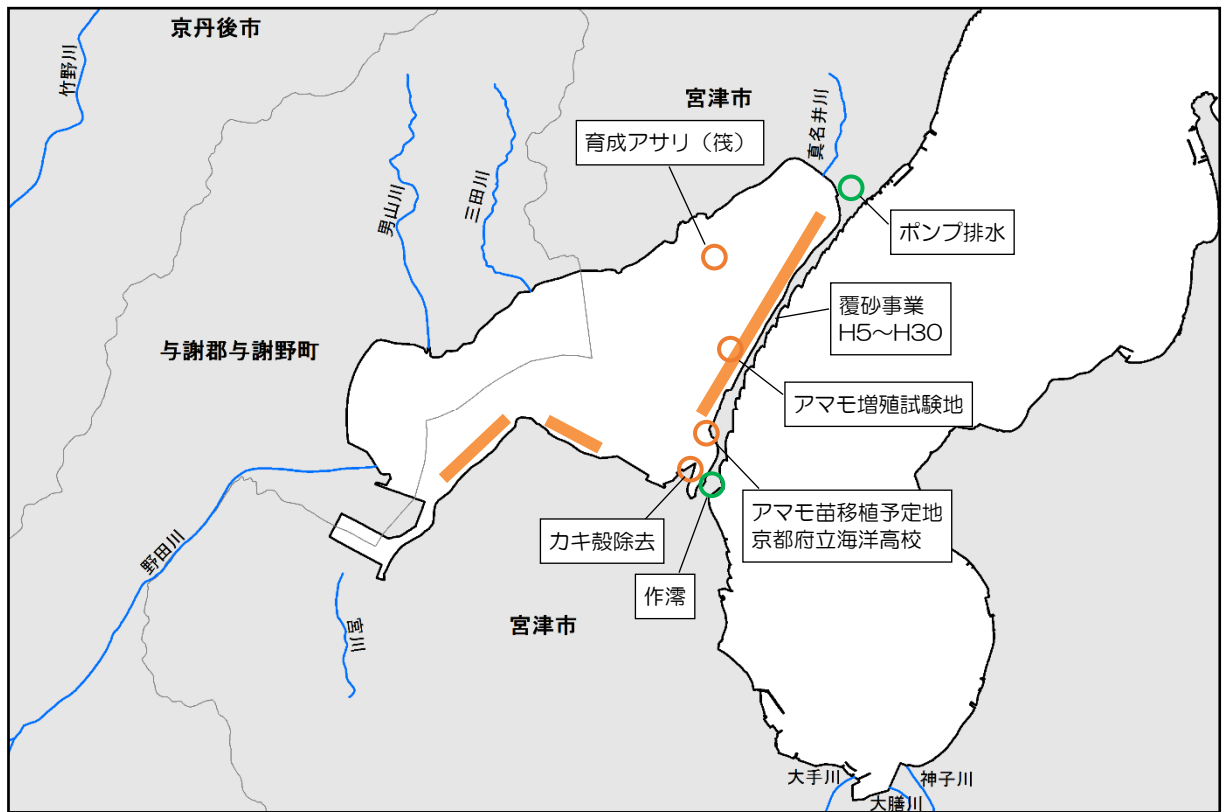
2) 数値シミュレーションモデルによる検討

阿蘇海の現況把握結果を踏まえ、阿蘇海に適用可能な環境改善技術を検討するために、数値シミュレーションモデルを活用し、実施効果や副次的な影響、複数の技術の組合せによる相乗効果などについて検討した。

数値シミュレーションモデルで予測する改善技術は、図 3-62 に示すこれまで阿蘇海で実施されてきた環境改善施策や検討中の施策を踏まえ、表 3-7 のとおり設定した。

表 3-7 阿蘇海における環境改善シナリオと予測計算ケース

予測する改善技術		設定内容	数値シミュレーションモデルで評価できる改善効果
海水交換促進ケース	カキ殻の除去	①カキ殻島周辺の地形を浚渫	海水交換の促進 ⇒ 水質改善
	作濤	②現在の水路部を浚渫（作濤）	
	排水	③外海へ排水するポンプを設置	
底質改善ケース		底泥中の有機物・間隙水濃度を0と設定	底泥有機物の減少 ⇒ 溶出・酸素消費の減少 ⇒ 水質改善
アマモ場造成ケース		浅海域に藻場を造成	酸素供給・栄養塩固定 ⇒ 水質改善
アサリ養殖ケース		垂下式の養殖を想定し、浅海域以外にもアサリ現存量及び有機物の除去機能を設定	有機物の取り上げ ⇒ 水質改善
複合ケース		カキ殻の除去ケース、排水ケース、アサリ養殖ケースを組み合わせ設定	上記効果の組み合わせ



- : 実施済み・実施中の環境改善施策
カキ殻除去、覆砂、藻場造成（アマモ）、貝類養殖（アサリ）
- : 今後、実施を検討中の環境改善施策
海水交換促進技術（作溜、排水等）

図 3-62 阿蘇海におけるこれまでの環境改善施策と今後の環境改善施策（案）

カキ殻回収活動（夏の活動内容：平成 29 年 8 月 25 日～28 日）

■ 参加学生数：106 名（関西の大学生が中心、関東・九州からも参加あり）

■ 実施内容

○ 阿蘇海の現状を知るフィールドワーク

- ・カキ殻散布先（天橋立ワイン）での見学
- ・船上環境学習会

○ 「カキ殻クリーン大作戦」の実施

- ・2 日間で約 23.4 t のカキ殻を回収
- ・地元高校生や企業、環境団体等からも参加あり

○ イベント等での普及啓発

- ・「海の京都 クレージングフェスタ」
- ・「海と日本プロジェクト」バスツアーでの取組紹介
- ・活動報告会の実施

○ 阿蘇海産牡蠣を活用した新商品開発ワーキング

- ・地元事業者と大学生がコラボして新商品開発を実施

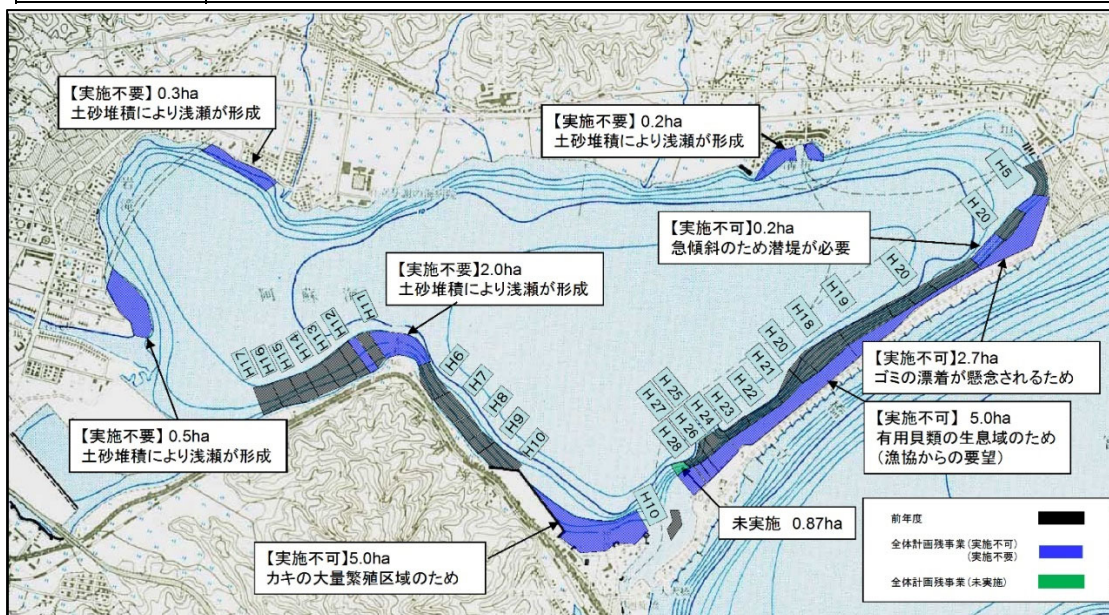
○ 最終日に国際ボランティア学生協会

- （IVUSA）と丹後広域振興局との包括連携協定の締結式を実施



覆砂事業（宮津港海域環境創造事業）

事業の名称	宮津港海域環境創造事業（シーブルー事業）
目的	阿蘇海の沿岸部の浅い海底（6m以浅）をきれいな砂で覆い、景勝地に相応しい景観の創造と快適な海浜空間を創出する。また、覆砂により白砂の浜辺が創出されるとともに海底の生物生活環境を改善し自然浄化能力を高める。
実施期間	平成5年度～平成30年度（予定）
事業費	1,360百万円
維持管理費	100万円/年（事業完了後の推定）
利用した制度（補助金等）	社会資本整備総合交付金事業（海域環境創造・自然再生等事業）
対策の概要	<p>多くの人を訪れる海岸沿いの浅い海底をきれいな砂で覆い（覆砂）、海底にたまったヘドロから汚濁物質が溶け出すことを防ぐとともに、親水性の高い良好な海浜空間の創出と、景勝地としての美しい景観を創造し、海浜利用の増進に努める。</p> <p>また、清浄な砂層の拡大により、底生生物の生息域が拡大し、水質浄化能力を有するアサリ等の有用貝類の増加や生態系の復元による自然浄化能力の向上も期待される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・覆砂面積 A = 19ha ・覆砂量 V = 91 千 m³
実施体制	<p>◇事業実施主体 京都府</p> <p>◇連携した組織と役割分担（事業立ち上げ時～H5）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・阿蘇海シーブルー調査計画検討会 役割：日本海側の閉鎖瀬水域における水質浄化対策の基本方針検討、阿蘇海に限定した浄化工法の検討 （国）旧運輸省 港湾技術研究所、港湾局、第三港湾建設局 （府）保健環境部、宮津保健所、水産課、水産事務所、下水道課、公園緑地課、港湾課、宮津土木事務所、港湾事務所 （市町）宮津市、岩滝町（現与謝野町） <p>◇連携した組織と役割分担（事業立ち上げ後 H19～）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・阿蘇海環境づくり協働会議 役割：地域住民や関係団体および行政が連携を強化し、覆砂事業以外にも総合的な取組を進める



出典：京都府港湾局資料

図 3-63 覆砂の実施状況図

アサリ養殖（阿蘇海環境改善対策事業）

事業の名称	阿蘇海環境改善対策事業
実施期間	平成 20 年度～平成 24 年度
対策の概要	アサリをはじめとする二枚貝類やアマモ等の海草類の水質浄化機能に着目し、両者を利用した阿蘇海の水質環境改善のための技術開発を実施
実施体制	実施主体：京都府農林水産技術センター海洋センター 連携組織：地元漁業者、海洋高校、沿海市町等

■天橋立育成アサリ

本事業は、京都府農林水産技術センター海洋センターと宮津市が、溝尻地区の漁業者と共同で、平成 20 年 10 月から阿蘇海において垂下式のアサリ育成試験を実施（筏 1 基）。

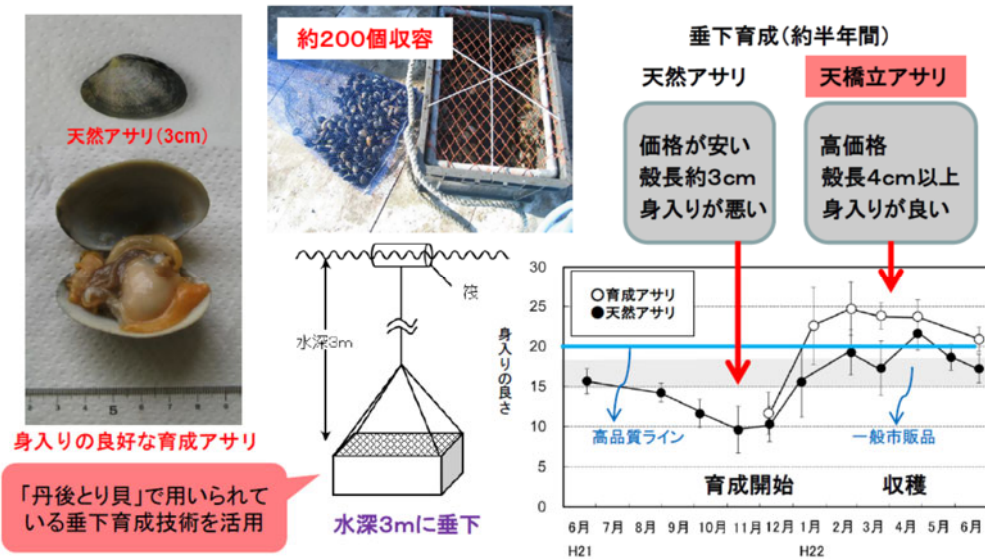
試験結果を踏まえ、アサリのブランド化を視野に地元漁業者へ育成の事業化を提案。

平成 22 年 10 月、溝尻地区の漁業者の賛同を得て、実証試験の実施を決定。

市では、地産地消計画の重点プロジェクト「食の観光まちづくり推進事業」の一つとして、今後の食のブランド化に繋げるため、宮津天橋立旅館協同組合へ働きかけた。

平成 22 年 12 月から京都府漁業協同組合溝尻地区では、漁業者 11 名で「溝尻育成あさり部会」を結成し、阿蘇海でのアサリ育成（養殖）をスタートした。

アサリは海中水深 3m に網状の籠をつるして約 1 年育成する。貝幅が 35mm 未満のものは出荷しない規定を設けて、沖合の筏でアサリを引き上げ寄り分けている。出荷するアサリは、大型のものは、宮津天橋立旅館協同組合の組合員に提供しており、宮津天橋立の新たな食のブランドとなることが期待されている。



出典：京都府立農林水産技術センター海洋センター

図 3-64 阿蘇海でのアサリ育成

① 対策の実施による改善効果 (DO)

阿蘇海において水環境上の課題となっている底層の貧酸素化に対し、表 3-7 に示した 6 種類の環境改善対策 (カキ殻の除去・作濤・ポンプ排水・覆砂・アマモ場造成・アサリ養殖) を実施した場合の改善効果について予測した。

なお、改善効果の評価は、いずれのケースとも、対策の実施箇所での変化ではなく、夏季に無酸素状態となる阿蘇海中央部の底層 DO 濃度の変化をもって行っている。

カキ殻の除去

阿蘇海では、国際ボランティア学生協会 (IVUSA) と連携した阿蘇海環境づくり活動が行われており、景観の悪化や悪臭の要因となっていたカキ殻の回収が実施されている。

これらの活動によりカキ殻が除去されると、湾口部を通しての外海 (宮津湾) との海水交換が変化することが考えられ、この場合の水質改善効果を予測した。

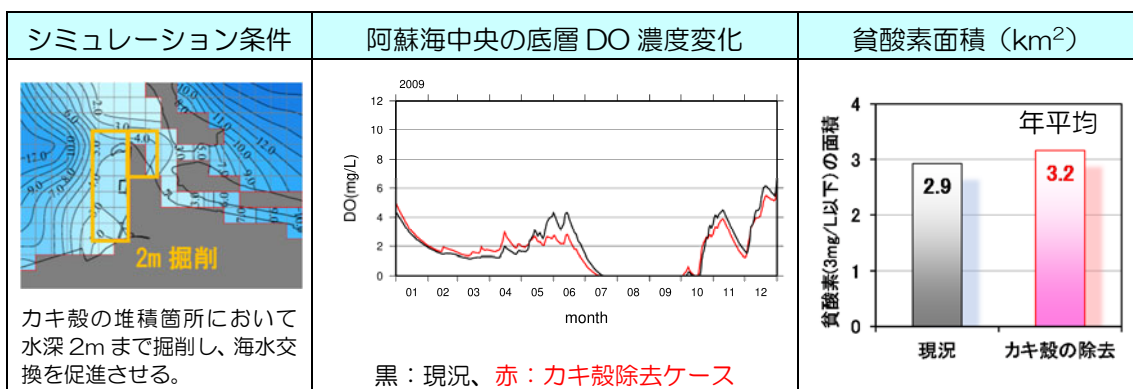


図 3-65 カキ殻の除去による貧酸素水塊の変化予測

数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 水路部を通じた宮津湾との海水交換 (流入量・流出量) が向上した。
- 春先に DO 濃度の改善がみられたが、初夏～秋季には、DO 濃度が低下する結果となった。これは、海水交換が良くなり、宮津湾からの高塩分水の流入量が増加したことから、密度成層が強化されたためと考えられる。その結果、貧酸素水塊の面積も増加していた。
- 掘削による海水交換の向上には、正の効果 (外海水の流入) と負の効果 (密度成層の強化) の両側面があることが明らかとなった。
- その他、数値シミュレーションモデルでは考慮していないが、景観向上や海水交換が促進されたことにより、悪臭解消に資すると推測される。また、環境悪化の象徴にもなっているカキ殻島を除去する取組を通じた地域住民の環境意識の高まりなどの効果が期待できる。

作滯

阿蘇海は非常に閉鎖性が高く、外海（宮津湾）との海水交換を促進することで、湾内の水質環境の改善が期待できる。そのため、阿蘇海と宮津湾を繋ぐ水路部を掘削し、水深を確保した場合の水質改善効果を予測した。

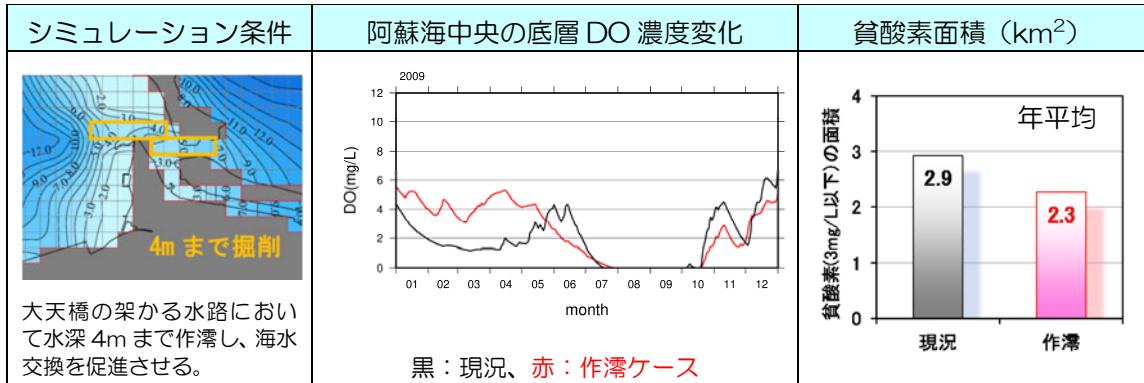


図 3-66 作滯による貧酸素水塊の変化予測

数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 水路部を通じた宮津湾との海水交換（流入量・流出量）が向上した。
- 冬季から春季の貧酸素化は解消していたが、6 月以降 DO 濃度が低下し、秋季の回復時期も遅れる傾向であった。海水交換が良くなり、宮津湾からの高塩分水の流入量が増加したことから、6 月頃から現況よりも密度成層が強化されたためと考えられる。しかし、年平均では貧酸素水塊の面積は、減少していた。
- 掘削による海水交換の向上には、正の効果（外海水の流入）と負の効果（密度成層の強化）の両側面があることが明らかとなった。

ポンプ排水

海水交換を促進する方法として、海水が滞留し、水質が悪化しやすい湾奥部底層の湾内水をポンプ等により、外海（宮津湾）へ排水した場合の阿蘇海の水質改善効果を予測した。

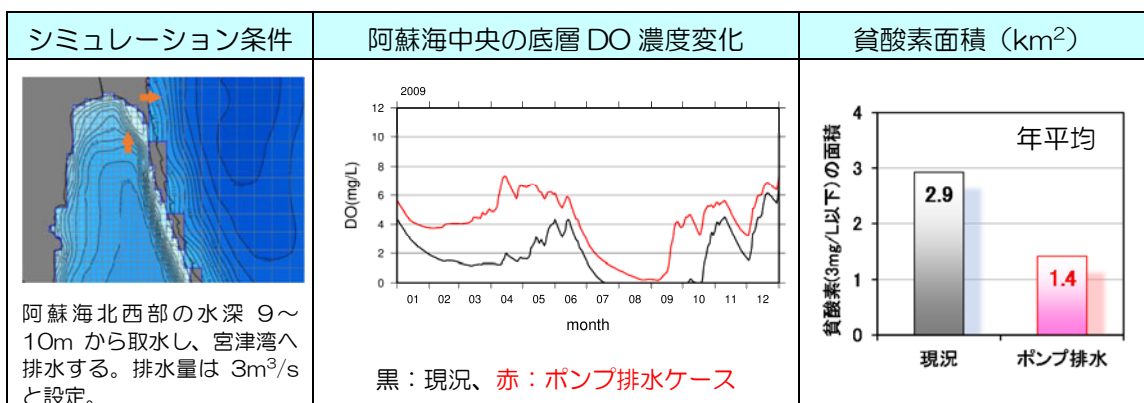


図 3-67 ポンプ排水による貧酸素水塊の変化予測

数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 年間を通して DO 濃度が上昇しており、改善効果が大きかった。夏季のわずかな時期を除き、無酸素の状態は改善されていた。
- 貧酸素水塊の面積は、1/2 程度まで減少していた。

覆砂（底質改善）

京都府では、阿蘇海の底質や生物生息環境を改善するため、平成5年から覆砂（シーブルーム事業）が実施されている。これら覆砂を、より広範囲に実施した場合の水質改善効果を予測した。

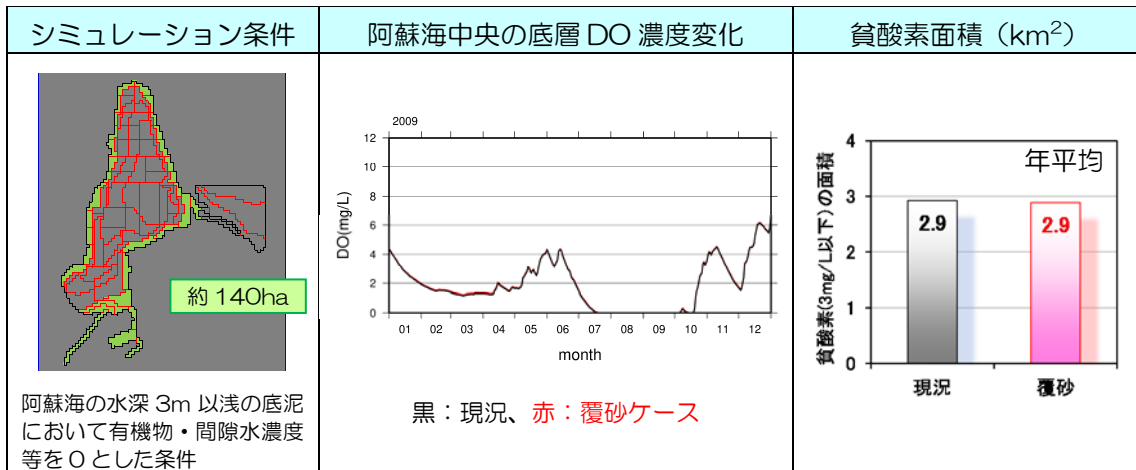


図 3-68 覆砂による貧酸素水塊の変化予測

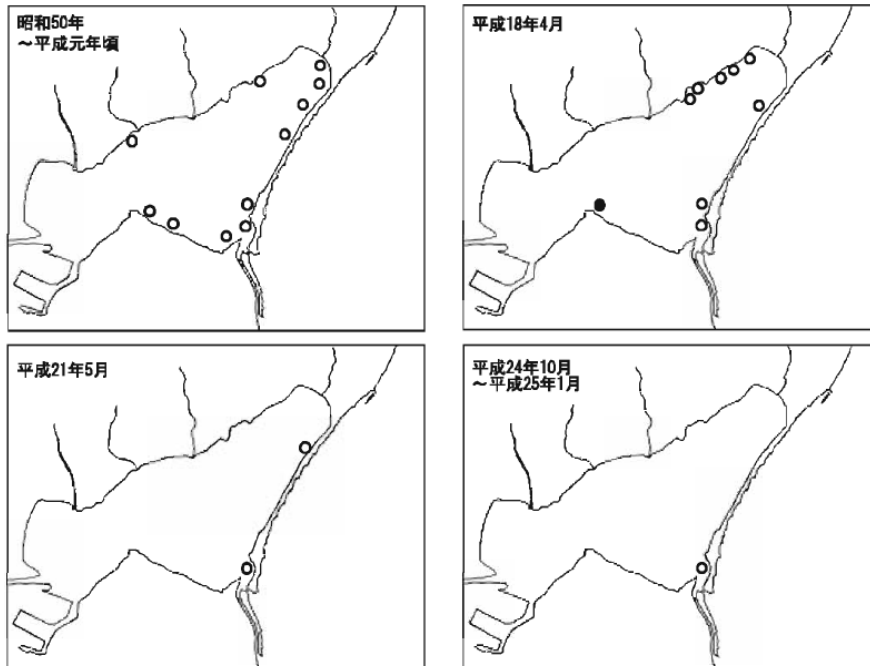
数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 阿蘇海中央部の DO 濃度に対して、覆砂による改善効果はほとんど見られなかった。貧酸素水塊の面積も同様に、変化はほとんど見られない。
- 覆砂施工場所での変化としては、現地モニタリング調査結果により、COD 濃度の低下、底生生物の種類数の増加、有用貝類が確認されるなど、一定の改善効果が見られている。
- シミュレーション条件として、底質改善にともなう生物量の増加の効果は見込んでいないため、生物生息機能の向上による底質改善効果を考慮できない。しかし、現地モニタリング調査結果のとおり、場所により生物種類数の増加等が確認されており、覆砂による生物を介した間接的な改善効果が期待できる。

アマモ場造成

京都府農林水産技術センター海洋センターと京都府立海洋高等学校との協働で天橋立の藻場（アマモ）造成の取組が実施されている。生殖株の採取や播種試験、育成調査とあわせて、平成 25 年春には地元小学校と合同でアマモ苗の海中移植が実施された。また、かつては図 3-69 のとおり阿蘇海の浅瀬にはアマモが分布していた記録もある。

アマモ場が造成された場合の水質改善効果を予測した。



出典：「アサリとアマモを用いた阿蘇海の水質改善」（京都府農林水産技術センター海洋センター、季報第 105 号、平成 25 年 3 月）

図 3-69 アマモの分布状況

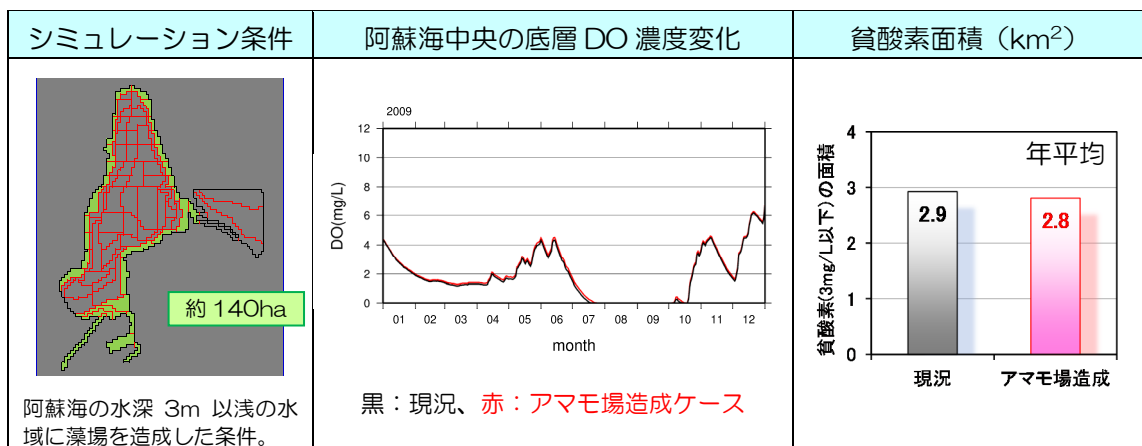


図 3-70 アマモ場造成による貧酸素水塊の変化予測

数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 阿蘇海中央部の DO 濃度に対して、アマモ場造成による改善効果は顕著には見られなかった。貧酸素水塊の面積もわずかに減少する程度にとどまっていた。
- アマモ場の造成は光環境から浅場域に限定され、阿蘇海中央部等の貧酸素の深刻な水域への効果は限定的と考えられる。
- その他、数値シミュレーションモデルでは考慮していないが、アマモ場造成による生物生息機能の向上等の改善効果が期待できる。

アサリ養殖

京都府農林水産技術センター海洋センターでは、平成 20 年度からアサリの濾水能力や海藻草類の栄養塩吸収能力等を活用した阿蘇海的环境改善に向けた技術開発が進められている。

湾奥部の水域で比較的高密度でアサリの垂下養殖が実施された場合の水質改善効果を予測した。

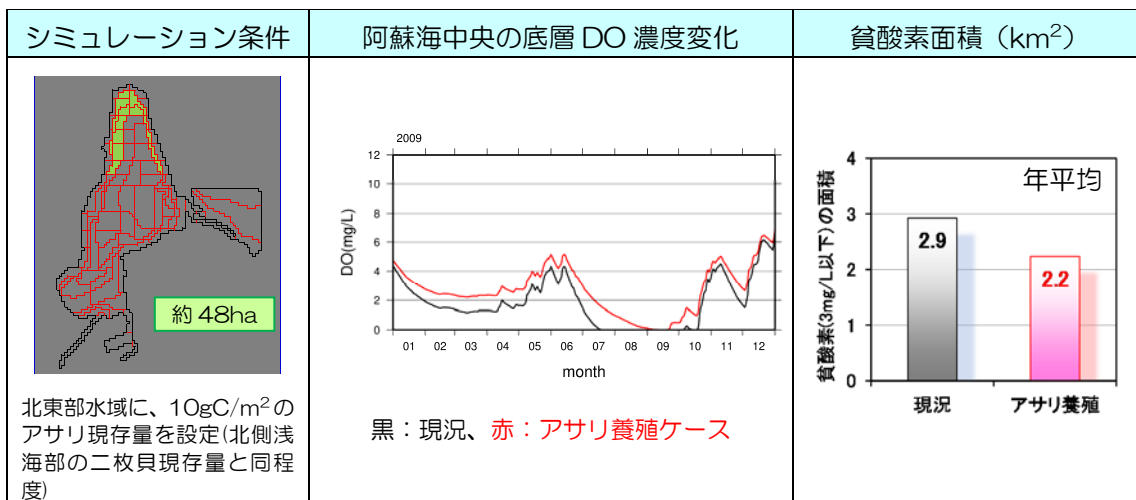


図 3-71 アサリ養殖による貧酸素水塊の変化予測

数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 年間を通して DO 濃度が上昇しており、改善効果が大きかった。夏季のわずかな時期を除き、無酸素の状態は改善されていた。
- 貧酸素水塊の面積は、2/3 程度まで減少していた。
- なお、シミュレーション条件として養殖アサリの増減は考慮しておらず、取り上げ量を与条件として設定している。そのため、餌不足や高密度養殖による発育不良等の影響は加味されていない。

② 複数の技術の適用による相乗効果

カキ殻除去、ポンプ排水及びアサリ養殖の技術を組み合わせた場合の相乗効果について、水質改善効果を予測した。

これらの技術は比較的小規模であり、副次的な環境改変が生じた場合には、ポンプを止める等により、施策実施前の状態に戻ることができる技術である。

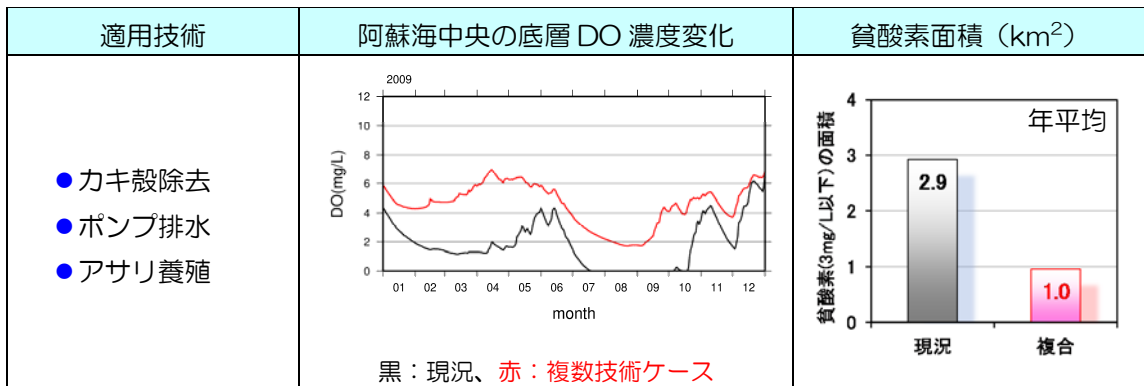


図 3-72 複合技術（カキ殻の除去+ポンプ排水+アサリ養殖）による貧酸素水塊の変化予測

数値シミュレーションモデルによる予測結果

- 年間を通して DO 濃度が上昇しており、改善効果が大きかった。
- 貧酸素水塊の面積は、1/3 程度まで減少していた。
- 複合ケースとすることにより、カキ殻除去による宮津湾との海水交換促進を維持しながら、ポンプ排水の効果によりデメリットであった密度成層強化を避けることができた。

③ 対策の実施による改善効果の比較

各改善効果の定量的な相互比較（水質濃度）の結果、ポンプ排水による効果が最も大きかった。

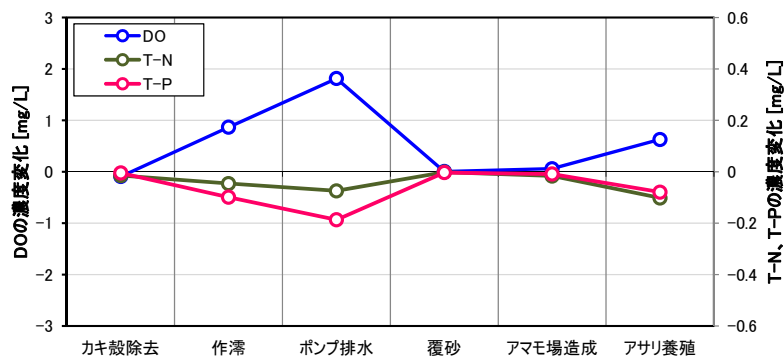


図 3-73 各環境改善技術の相互比較

(DO、T-N、T-P の濃度変化量の比較、阿蘇海中央の底層、年平均)

④ 副次的な影響

阿蘇海奥部底層から取水し、宮津湾へ排水するケースでは、湾内の貧酸素状態の改善が見られたが、同時に排水先での宮津湾での水質悪化の有無等の副次的な影響についても把握しておく必要がある。シミュレーション結果によると、宮津湾は夏季においても貧酸素化することなく、底層で6~7mg/LのDO濃度となっている。排水の影響でDO濃度の低下がみられるが、5mg/L程度は確保されており、貧酸素化が問題となる懸念は小さいと考えられる。

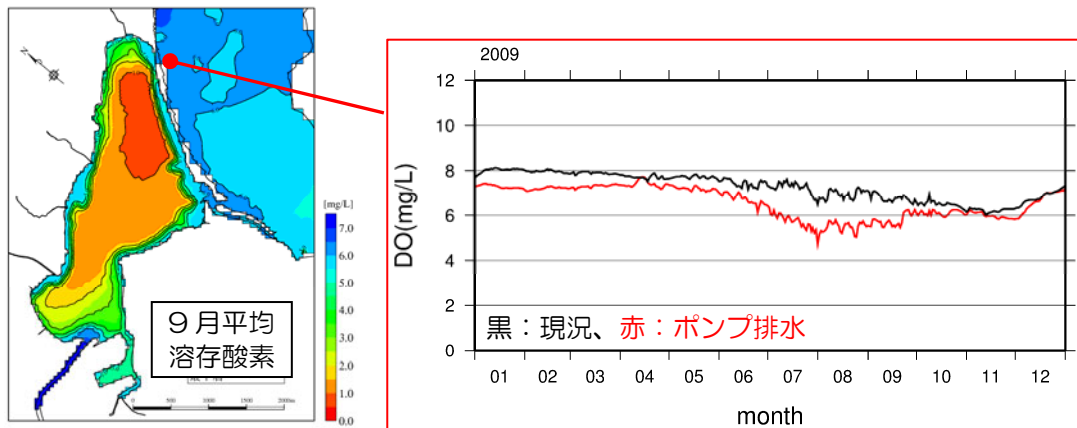
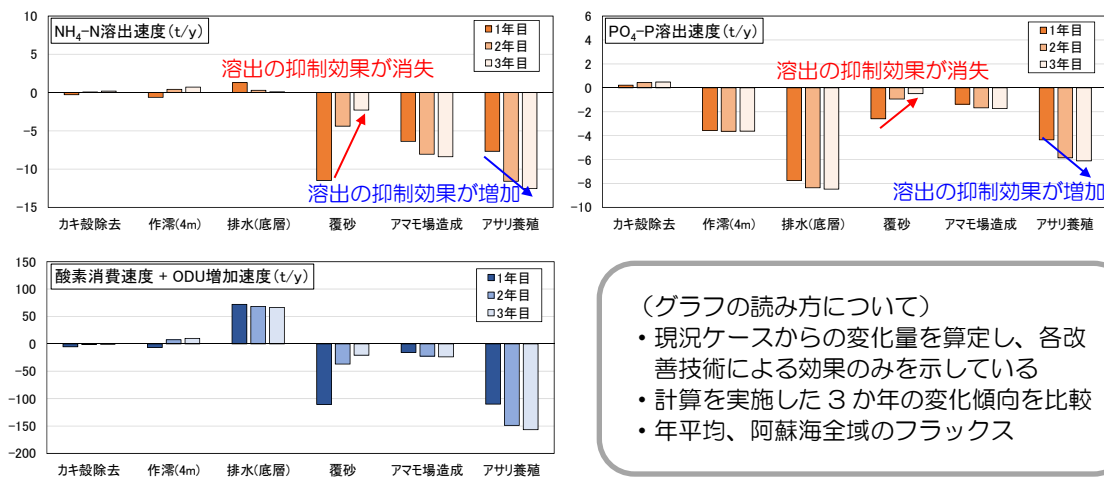


図 3-74 ポンプ排水ケースにおける外海（宮津湾）での底層 DO の変化

⑤ 適切な環境改善技術の選定

覆砂のように、毎年実施することが難しい底質改善技術では、施工後は徐々にその効果が消失してしまう結果となった。一方、アサリ養殖の場合は、毎年取り上げることで、直接的に底質改善を行わなくても、新生堆積物の沈降量の減少に伴い、底泥の栄養塩溶出や酸素消費が抑制され、効果が徐々に増加していく結果となっていた。これは、アサリ養殖により、表層で有機物が固定され、底泥への堆積量が減少したためであり、水中での栄養塩の除去が、底質改善へとつながり、さらに水質を改善するという、正のスパイラルを形成することから、改善効果が増加したものと考えられる。



(グラフの読み方について)

- ・ 現況ケースからの変化量を算定し、各改善技術による効果のみを示している
- ・ 計算を実施した3か年の変化傾向を比較
- ・ 年平均、阿蘇海全域のフラックス

図 3-75 各ケースにおける底泥からの栄養塩溶出および酸素消費速度の変化予測

⑥ 海域環境の悪化要因の把握（メカニズムの解明）

阿蘇海は閉鎖性が高く、流入河川から供給される淡水と、宮津湾から流入する海水により、密度成層（塩分成層）の発達が特徴的な海域である。湾内の密度成層は、河川流入に応じて、成層期と混合期に分けられ、成層期に底層の DO 濃度が低下し貧酸素化が深刻となり、混合期に貧酸素状態が改善することを把握できた。

このような海域特有の貧酸素化等のメカニズムを踏まえたうえで、改善施策の効果を評価することが重要となり、作濤のように海水交換が向上しても、密度成層が強化すれば、阿蘇海では貧酸素化が進行してしまう。また、時期により施策を制御することで（ポンプ排水等や水門管理など）、デメリットを緩和しながら効率的に環境改善技術を運用することも可能となると考えられた。

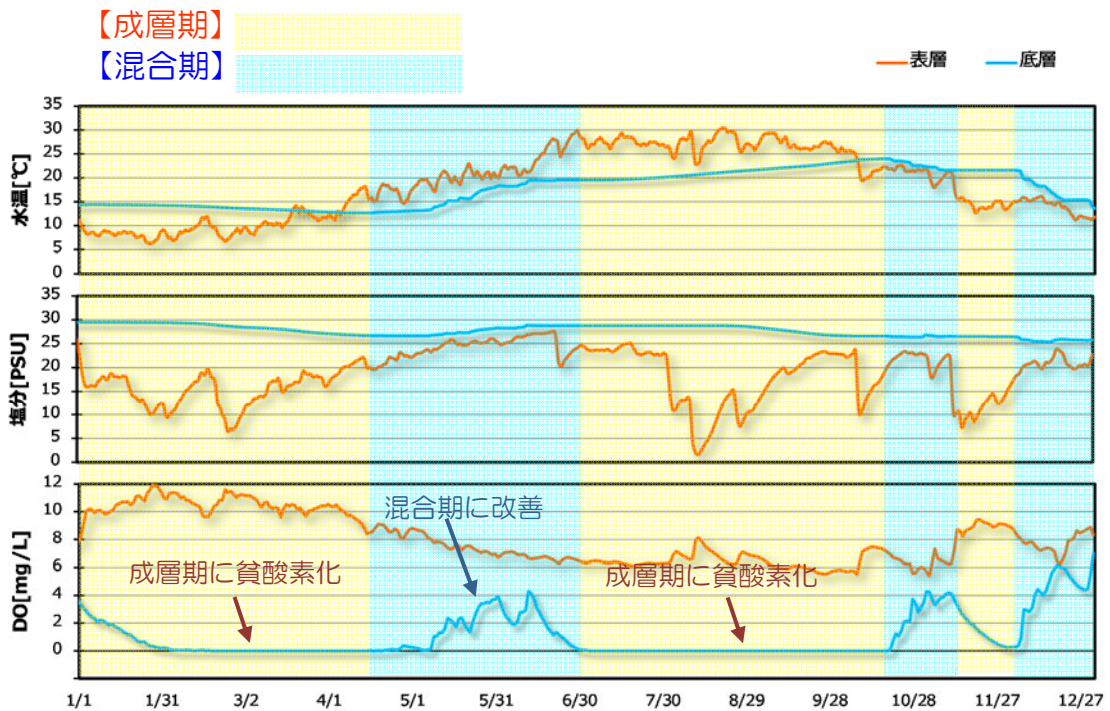


図 3-76 阿蘇海中央部における、水温・塩分・DO の季節変化（2009 年）

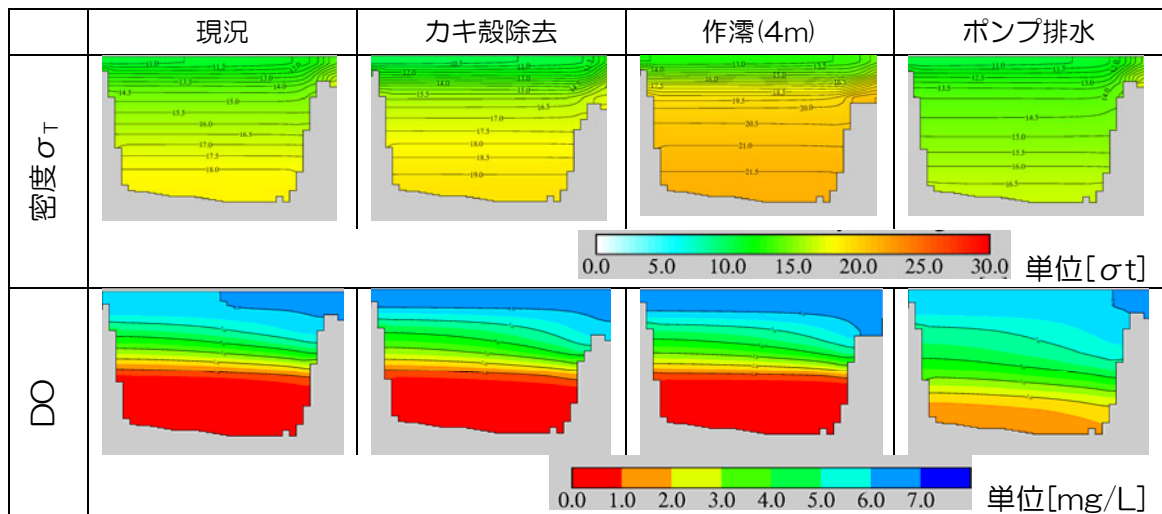


図 3-77 海水交換改善施策による阿蘇海の密度成層と DO の分布の変化（9 月平均値）

(5) 阿蘇海における施策の実施・推進のポイント

- 阿蘇海環境づくり協働会議を中心とした活動の展開
- 阿蘇海流域ビジョンにより流域全体の将来像や課題等を共有
- 地域外の大学生の熱意と行動により地域が前向きに変化し、取組が発展的に拡大

地元の活動を盛り上げるため、大学生を核としながら、カキ殻回収、環境学習、カキ商品開発、アサリ復活試験など、現場サイドから取組を起し、小さなモデルケースを積み重ねながら広く住民を巻き込んでいき、“技術ありきでは無い、住民を巻き込んだ環境づくり”を指すという進め方は特徴的である。

阿蘇海環境づくり協働会議を中心とした活動の展開

平成19年度に阿蘇海環境づくり協働会議が設立されたことで、地域の関係者による活動の基盤となり、流域全体の将来像や課題等を共有する場として機能していることがあげられる。

阿蘇海環境づくり協働会議では、関係団体と連携しながら、海岸清掃の実施、環境学習会の開催、環境改善啓発パンフの配布、田植前の農家への農業濁水流出防止パンフ配布、市町広報誌での啓発、地元小中高校生の海、川の取組発表、ポスターコンクール入賞作品の展示、高校生による「阿蘇海環境づくり宣言」など様々な活動が展開されている。

この中に専門家研究会が設置され、「まず技術があるのでは無い」、「水をきれいにするだけではダメ」、「どんな技術が必要なのか利害関係者や地域住民を巻き込み、流域全体であるべき姿を浮き彫りにしながら、必要な技術を模索していかなければならない」といった助言に基づき検討を重ね、阿蘇海流域ビジョンの策定や水交換調査の実施などへ繋がっていったと考えられる。

阿蘇海流域ビジョンの策定

富栄養化による水質悪化やカキ殻島等の問題解決を目指し、将来像や課題等を共有するため計4回の住民ワークショップを開催し、延べ151人が参加し、阿蘇海流域ビジョンが策定された。

この阿蘇海流域ビジョン策定が契機となって、宮津市及び与謝野町が、「美しく豊かな阿蘇海をつくり未来につなぐ条例」を平成27年度に共同制定。毎年「阿蘇海の日」を定めることが条例に規定され、阿蘇海フェアを新たに開催するなど、地元小中高生や大学生の取組発表等を通じて取組の共有・情報発信を推進し、流域全体で同じ方向を向いて取組を進める基盤となったと考えられる。

地域外の大学生の熱意と行動により地域が前向きに変化し、取組が発展的に拡大

景観悪化、悪臭発生、アサリ漁場喪失等阿蘇海の環境問題を象徴するカキ殻島について、産官学民が連携したカキ殻回収・資源化プロジェクトが実施され、地域の外から大学生ボランティアが参画することで、取組が加速し、社会的認知度が大きく向上した結果、従来の悪いイメージでのカキ殻報道が一転、良いイメージで報道されるようになり、環境改善活動の象徴に変化した。

平成 29 年 12 月にはこのような取組が評価され、公益社団法人日本水環境学会関西支部から阿蘇海環境づくり協働会議に対して、関西水環境社会・文化賞が授与されるなど外部からの評価も高まってきている。

現在も地元と大学生ボランティアが協働して大規模なカキ殻回収を実施するほか、サケやアユが自然に遡上する野田川の美化活動を地元区、農業団体と大学生とが初めて協働実施する計画などもあがり、地域との連携を深めながら、大学生の活動領域を上流域にまで広げ、流域全体での活動の実践者を増やす取組が進められている。

(6) 今後の取組課題と展開方策

天橋立育成アサリについては、宮津天橋立旅館協同組合に提供され、新たな食のブランド化へ期待されている取組であるが、垂下式の漁法は重労働であることや担い手の高齢化などから、生産体制に課題もある。

カキ殻の回収・資源化プロジェクトについては、地域への様々な波及効果がみられている。回収・処分の側面では、自然に堆積したカキ殻は一般廃棄物とされ、資源化に対して廃掃法との兼ね合いから回収作業にも制限があったこと、処分先での受入制限やコストなどの課題があった。これらについては、売却先企業との交渉、漁業団体や関係官庁との協議を重ね、市を通じて回収カキ殻を売却する新しい仕組みを構築し、大幅なコスト削減（7 万円/トン：除去・運搬・処分費 → 1 万円台/トン：用具・運搬費）となった。

資源化の側面では、カキ殻売却先の地元企業が取り組む「カキ殻でワインづくり」が、環境・観光・農・工・商が連携するゼロエミッションの取組の一事例として発表されるなど、活動が盛り上がるにつれ、カキ殻の資源活用先が拡大し、これまで接点の無かった山間部と沿岸部で交流が新たに生まれ、カキ殻と放置竹林を混合した土壌改良資材づくり試験など、新たなカキ殻資源化の取組も始まった。

海から山へのカキ殻の循環が広まるとともに、阿蘇海産天然マガキの消費拡大、商品化に取り組む事業者が新たに現れるなど、「カキを食べてカキ殻を減らす」地産地消の取組も始まっている。