

図 3.4-5 三津湾における水質環境（上：11月及び1月、下：6月及び8月）

楠木豊（1978）マガキ排せつ物量と懸濁物捕捉量との関係．日本水産学会誌，44（11）、pp. 1183-1185.

森勝義・今井丈夫・豊島清明・臼杵格（1965）松島湾におけるカキの大量斃死に関する研究 IV．性成熟及び産卵に伴うカキの生理的活性と糖源量の変化．東北海区水産研究所報告，25，pp. 49-63.

(2) 底質の悪化

課題の1つである底質悪化の要因として、「カキ養殖筏からの負荷」及び「底生生物による底質浄化機能の低下」が考えられる。そこで、三津湾の底泥に関する情報を整理した上で、これらの要因のメカニズムを以下のように検証した。

1) 底質の状況

✓ 一部の海域（湾奥のカキ養殖筏付近）の底質環境が悪化していると考えられた。

カキ養殖筏（3年養殖）近傍の St. 5 では、堆積物の粒度が細かかったことから、細かい粒子でも沈降しやすい、すなわち様々な物質が堆積しやすい底質環境だと考えられた。同地点における底泥の COD は他地点と比べてほぼ同等もしくは若干高い程度であったが、全窒素、全りんは高かったことから、海洋生物起源の有機物が多いと考えられた。また、St. 5 における全硫化物は他地点より顕著に高く、水産用水基準を1年通じて超過していた。一方、St. 5 以外の地点では、1年を通じて水産用水基準を超過し続けることはなかった。

以上のことから、三津湾の底質環境は、ほとんどの海域で良好であるものの、一部の海域では悪化していると考えられた。

2) カキ養殖筏からの負荷

✓ 湾奥のカキ養殖筏付近における底質の悪化要因の1つとして、カキ養殖筏からの有機物負荷の可能性が挙げられる。

セジメントトラップ調査の結果から、1月に比べて8月に沈降粒子が多くなることを確認した。沈降粒子に含まれる TOC、全窒素及び全りんは、1年養殖筏直下（イクス^{*1}もしくはヨクセイ^{*1}）に比べて、3年養殖筏直下（ノコシ^{*1}）で多かった。これは、川口ら（2011）と同様、養殖期間が長く、サイズが大きくなった結果、排糞による TOC、全窒素、全りんの海底への負荷量が大きくなったためと考えられる。さらに、3年養殖筏付近に位置する St. 5 では流速が遅いため、沈降物が堆積しやすい物理環境であることも要因の1つであると考えられた。

以上のことから、St. 5 ではカキ養殖期間が長く、沈降粒子が多いこと、さらに流速が遅く、物質が堆積しやすいことから、底質悪化が起こっていると考えられた。

3) 底生生物による底質浄化機能

✓ 底生生物による底質浄化機能は、維持されていると考えられた。

✓ 一部の海域（St. 5）では、底質環境（高含有量の全硫化物など）によって、特異な種が生息しやすくなっている可能性がある。

底生生物の調査結果から、現存量は11月、1月に比べて、6月、8月に多くなり、特に St. 2 及び St. 5 で顕著に多かった。その要因は、三津湾では1年を通じて貧酸素水塊が出現していなかったことから、水塊から生息空間への影響はなく、底泥の性状、餌の供給（海水からの有機物供給）が底生生物に応じたものであると考えられた。

一方、底生生物群集の種組成をみると、環形動物門の個体数が多く、特に汚濁指標種^{*2}とされているカタマガリギボシイソメが、St. 3 を除いた地点で常に優占種となっていた。特に St.

川口修・平田靖・若野真・山本民次・陸田秀実（2011）カキ養殖の実施形態別有機物負荷特性の評価. 日本水産学会誌, 77（6）、pp. 1043-1050.

5においては、8月調査時に優占種として、硫化物耐性種として知られているシズクガイが出現し、その現存量は他地点と比べて顕著に多かった。つまり、三津湾の底質環境は、底生生物の個体数を減少させるほど深刻でないものの、極めて良好ともいえず、特に St. 5 の8月には硫化物への耐性を有する種が有利になることが示唆された。

これら優占種の食性は、ほとんど堆積物捕食者であり、海水から海底に沈降供給された表層底泥の有機物を餌としていると考えられた。

以上のことから、St. 5を除いて、三津湾では底生生物による底質浄化機能が低下しているとは考えられなかった。

4) 底質悪化のメカニズム

- ✓ カキ養殖筏からの全窒素、全りんを多く含む沈降粒子が、流速が緩やかな湾奥に堆積しやすいためだと考えられる。

上記の底質環境に関する検証を図 3.4-6 のようにまとめた。三津湾で一部の海域（湾奥の養殖筏周辺）の底質環境が悪化していることが明らかになったが、その要因として、湾奥では流速が遅く、3年養殖カキの糞などが堆積しやすいことが考えられた。

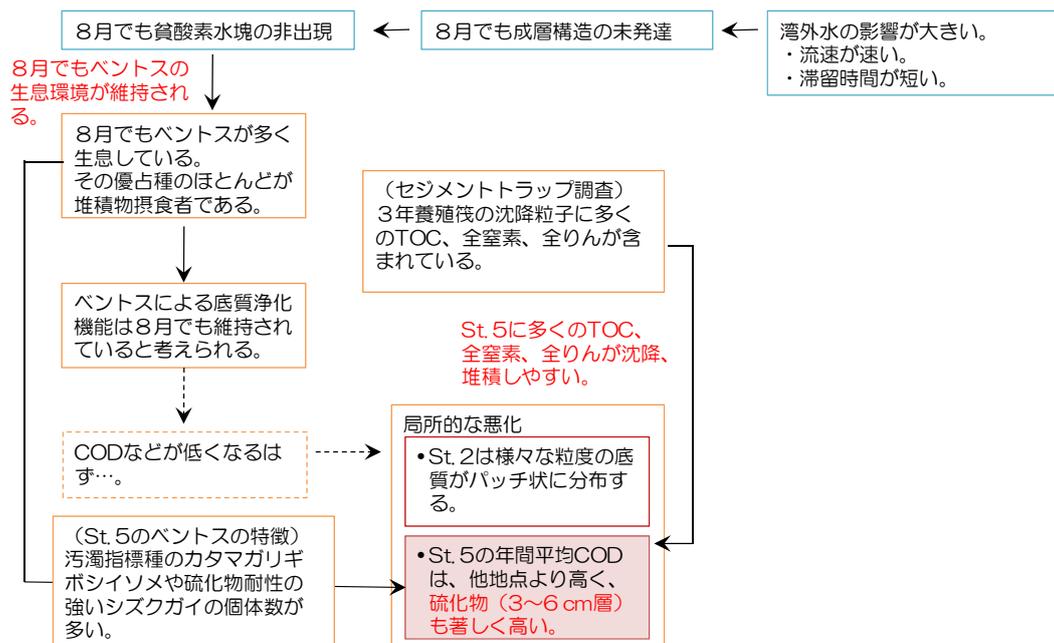


図 3.4-6 三津湾における底質環境

※1 イキス、ヨクセイ、ノコシとは・・・

カキ養殖方法の名称で、それぞれの方法は以下のとおりである。

- イキス：種苗、本垂下後、1シーズンの育成期間を経て収穫する方法
- ヨクセイ：イキスより長い抑制期間を経て本垂下する養殖方法で、シーズン後半に出荷される。
- ノコシ：ヨクセイのカキの養殖期間を長くし、翌シーズンの最初の出荷時期に残す方法

※2 汚濁指標種とは・・・

環境因子をよく反映する生物のうち、汚濁（有機物が多いなど）された環境の指標となる種のことをいう。

(3) その他の課題

前述で、【基礎生産力の低下】及び【底質の悪化】について検証したが、それ以外に【食害の影響】が不健全な事象の要因として挙げられた。

1) 食害

✓ 食害魚が確認されたため、食害によるカキの斃死の可能性は否定できなかった。

食害調査により、11月にはクロダイ、コモンフグ、ウマヅラハギが、8月にはウマヅラハギが養殖筏周辺で確認された。これらの魚類は、近隣海域で貝類に食害をもたらす主な魚類として報告されている。そのため、三津湾においてもこれらの魚類による養殖カキの食害の可能性は否定できなかった。

(4) まとめ

上述した検証の結果、各不健全な事象の要因として確認された項目を表 3.4-1 にまとめた。

表 3.4-1 不健全な事象と主な要因

不健全な事象	主な要因
カキの小粒化（成育不良）	✓ 湾外との海水交換が良いため、湾内に栄養塩及び植物プランクトンが留まりにくく、餌生物が少ない ✓ カキの摂餌量に比べて、植物プランクトンの細胞数が少ない
カキの斃死	✓ 貧酸素水塊によるものでない ⇒しかし、一部の海域の底質環境は悪化していると考えられ、今後の貧酸素水塊の発生は否定することはできなかった ✓ 食害魚の影響は否定できなかった
アサリの減少	✓ アサリ自体が確認されなかった ✓ 少なくとも貧酸素水塊によって減少した可能性は低い
魚介類の減少	✓ 湾内に餌生物（動、植物プランクトン）が少ない

4. 三津湾地域の目指す姿

4.1 三津湾の海域利用状況

✓ カキ養殖が盛んで、現在でもほぼ湾全域に養殖筏がある。

三津湾では、少なくとも 1957 年にはカキ養殖が行われており、養殖量は 1965 年をピークに、その直後急激に減少したが、近年ではほぼ横ばいである（図 4.1-1）。また、現在でも三津湾のほぼ全域にカキ養殖筏がある（図 4.1-2）。

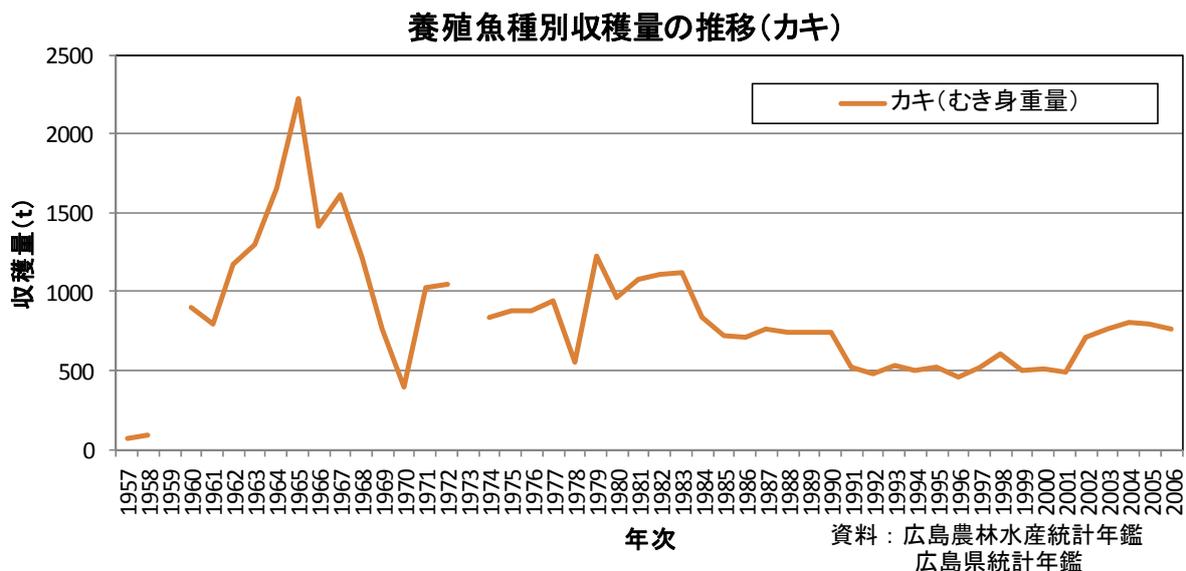
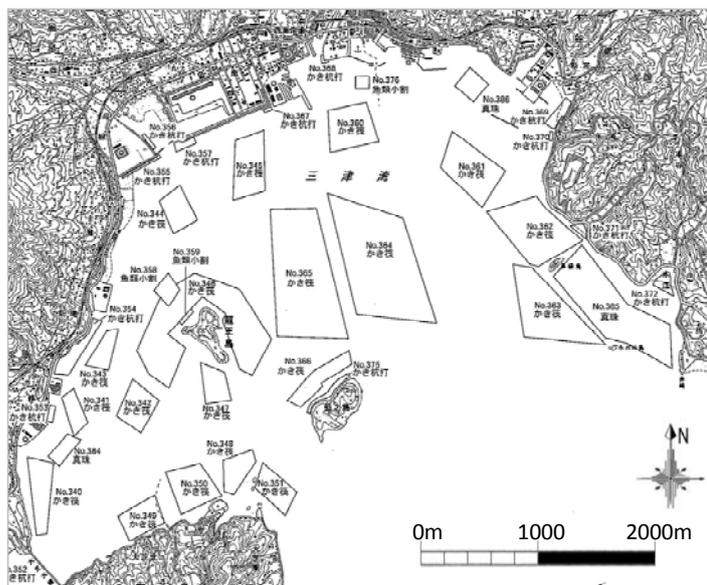


図 4.1-1 三津湾のカキ収穫量（むき身重量）の推移



資料：広島県水産課

図 4.1-2 平成 20 年 9 月におけるカキ養殖区画の配置図

4.2 三津湾の望ましい海域像

- ✓ 『三津湾の海域利用と共存し、良好な環境を維持できる豊かな海』を望ましい海域像とした。
- ✓ 三津湾の比較的良好な環境を、一部の不健全な事象で悪化することがないように、底質改善対策を基本として、栄養塩不足対策を併用する。

三津湾では、現在までに湾全域を対象とした調査が実施されたことはなかったが、本調査の実施で明らかになったことは、

- ✓ 湾外水の影響が大きい
- ✓ 魚介類に負の影響を及ぼすような貧酸素水塊は発生しにくい
- ✓ 湾内の物質（栄養塩や植物プランクトンなど）が、湾内に留まりにくい
- ✓ 一部の海域で、底泥の全硫化物含有量が高いなどの底質悪化が確認された

であった。三津湾の環境は、現在のところ、比較的良好であるが、一部の海域で不健全さが表れ始めていると考えられ、局所的であるが、一部でみられた底質悪化が、今後の水質悪化の原因となる可能性は否定できない。

この一部の課題に対策を実施して解決する際には、目標となる「望ましい海域像」を各主体（地元住民、行政、有識者など）で共有しておくことが重要である。その際、単純に過去に遡って、例えば高度成長期あるいは海域利用（養殖など）の前に戻すというような目標設定は現実的ではなく、発展的でもない。つまり、三津湾固有の発展を遂げてきた海域利用の現状を肯定的にとらえて、それらと可能な限り共存する持続的な系を「望ましい海域像」とすることとした。（図 4.2-1）。

以上により、ここでは三津湾の「望ましい海域像」を『三津湾の海域利用と共存しながら、現在の良好な環境を維持できる豊かな海』と定義した。なお、この定義は、当然ながら今後の社会情勢や自然環境の変動につれて、見直されるべきである。

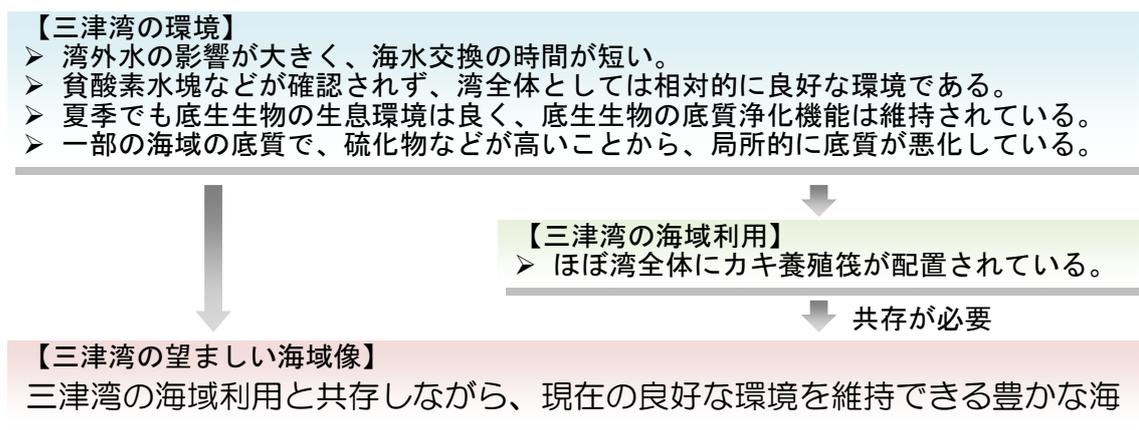


図 4.2-1 三津湾の環境から望ましい海域像の設定

5. 管理方策策定のプロセス

5.1 健全化基本方針の決定

三津湾地域における健全化基本方針

三津湾の海域利用と連携した底質環境の改善と基礎生産力の向上による物質循環健全化

三津湾における健全化基本方針は

『三津湾の海域利用と連携した底質環境の改善と基礎生産力の向上による物質循環健全化』

とし、現在の比較的良好な環境を維持するために、「底質改善対策」を基本として、「栄養塩不足対策」を併用することとした。なお、栄養塩不足対策では、増加した栄養塩が三津湾の富栄養化をもたらしたり、湾外に流出して周辺海域に影響を及ぼしたりしないように、慎重な検討が必要となる。

5.2 管理方策のリストアップ

底質改善対策及び栄養塩不足対策として、全国では様々な取り組みが実施されている。ここでは、論文及び報告書などから情報を収集し、三津湾の物質循環健全化に活用できる可能性がある方策を、表 5.2-1 に示す。

表 5.2-1 (1) 管理方策 (案) リスト

【底質改善対策】

方策	目的	方策の概要	メリット	デメリット	主な事例・論文
【覆砂】	覆砂によって新たな底質を創造し、底泥からの栄養塩の溶出及び酸素消費を抑制する	【主な改善対象】底質 【主な指標項目】底質の成分、D0、栄養塩、底生生物 【効果】 • 酸素消費水の発生を抑制 • 底泥からの栄養塩供給の抑制 • 生物生息環境の創造	• 覆砂材として、カキ殻や鉄鋼スラグも利用可能 • 短期的に効果が得られる	• 事業規模が大きく、多大な経費を必要とする • 覆砂材が底泥に埋没して効果が減衰する可能性がある • 覆砂材の下の底質環境が悪化する可能性がある	長谷川清治 (2009) 東京湾における覆砂効果のモニタリング評価について、ヘドロ, 104, pp. 18-22. 泉田典彦・中泉昌光・三上信雄・米山正樹・若松純子・菊池有 (2004) 水産系副産物 (貝殻) の覆砂代替材としての有効活用に関する実験的研究。海洋開発論文集, 20, pp. 1043-1048.
【耕耘】	還元状態の底質に酸素を供給することで、底質を改善する	【主な改善対象】底質 【主な指標項目】底質の成分 (酸揮発性硫化物 (AVS)、有機物など) 【効果】 • 酸揮発性硫化物や有機物量の減少 (低水温期を除く)	• 経費が安い • 漁業者が実施可能な簡便な方法	• 効果が一時的である • 一時的に海底直上水の D0 が下がる	江崎恭志・松井繁明 (2009) 福岡湾における海底耕耘による底質改善効果。福岡県水産海洋技術センター研究報告, 19, pp. 41-50.
【底質改善材】 (熱風乾燥カキ殻)	底泥の硫化物イオンを吸着し、底質を改善する	【主な改善対象】底質 【主な指標項目】底質の成分 (酸揮発性硫化物や有機物など) や底泥間隙水の成分 (硫化水素など) 【効果】 • 酸揮発性硫化物や間隙水中の硫化水素の減少	• 熱風乾燥したカキ殻を使用するため、三津湾で発生するカキ殻の有効利用 (地産地消) が可能 • 方法によっては、漁業者でも実施可能になる	• カキ養殖筏などの直下で実施する場合は、工法に工夫が必要	T. Yamamoto, S. Kondo, K. H. Kim, S. Asaoka, H. Yamamoto, M. Tokuda and T. Hibino (2012) Remediation of muddy tidal flat sediments using hot air-dried crushed oyster shells. <i>Marine Pollution Bulletin</i> , 64, pp. 2428-2434. 藤澤真也・近藤正美・岩本俊樹・鳥井正也・穴口裕司・片山真基・田原実 (2011) カキ殻など二枚貝の貝殻を利用した閉鎖性海域における底質改良技術の開発。土木学会論文集 B3 (海洋開発), 67 (2), pp. 370-375. 岡山県 (2013) カキ殻を利用した総合的な底質改良技術ガイドライン。
【人工中層海底】	カキ養殖筏直下に沈降有機物をトラップするための構造物を設置する	【主な改善対象】底質への負荷の軽減 【主な指標項目】底質の成分 (有機物、全窒素、全りんなど) 【効果】 • 沈降物を水中で回収するため、海底への有機物負荷が減少する • 中層水中の好氣的環境下における有機物の分解を促進する • 生物生息環境の創造	• 方法によっては、漁業者でも実施可能	• 設置場所の制限 (水深や構造物など)	山本民次・笹田尚平・原口浩一 (2009) 人工中層海底によるカキ養殖場沈降物の軽減性能評価一設置後半年間の調査から一。日本水産学会誌, 75 (5), pp. 834-843. 加村聡・大原啓史・片山貴之・片山真基 (2012) 人工中層海底による閉鎖性海域における生物生息環境の改善技術。第 15 回日本水産学会シンポジウム講演集, pp. 22-23.

表 5.2-1 (2) 管理方策 (案) リスト

【底質改善対策】

方策の概要	目的	方策の概要	メリット	デメリット	主な事例・論文
<p>【底生生物 (ナマコなど) を用いた底質浄化】</p>	<p>底生生物の底質浄化機能を利用して、有機物を減少させる</p>	<p>方策の概要 【主な改善対象】 底質、底生生物 【主な指標項目】 底質の成分 (有機物など)、底生生物 【効果】 ・底質の有機物を減少させて底生生物を増やす ・漁獲対象種 (ナマコなど) の成長を促す</p>	<p>メリット ・ナマコの場合、夏眠する場所として、カキ殻を利用できる ・ナマコの場合、漁獲することによって栄養塩類を系外除去が可能になる</p>	<p>デメリット ・成長や生存などをコントロールできな ・貧酸素水塊などが発生する劣悪環境には適用できない ・移植した生物が死亡すると、その遺骸が有機物の負荷源になる</p>	<p>主な事例・論文 岡本健太郎・山本潤・上平大介 (2009) 底質が汚濁した港内でのナマコの摂餌行動について. 第52回北海道開発技術研究会, 環-32.</p>

表 5.2-1 (3) 管理方策 (案) リスト

【栄養塩不足対策】

方策の概要	目的	方策の概要	メリット	デメリット	主な事例・論文
【湾口部への構造物設置】	湾外との海水交換を抑制するために、堤防、潜堤もしくは洋上風力発電施設を設置する	【主な改善対象】 栄養塩 【主な指標項目】 水質 (有機物、栄養塩類及びプランクトンなど)、流況 【効果】 • 流況変化に伴う栄養塩の増加 • 栄養塩の増加に伴うプランクトンの増加	• 湾内の物質の滞留時間を長くする • 自然エネルギー (洋上発電) の地産地消 • カキの大粒化に期待	• 多大なコストがかかる • 海域の富栄養化を適正にコントロールするのが難しい可能性が高まる • 他の水面利用との調整が難しい	海域の物質循環健全化計画播磨灘北東部地域検討委員会・環境省 (2013) 播磨灘北東部地域ヘルシープラン (案)
【カキ養殖量の調整】	カキ養殖筏の配置を変更、または養殖量を調整することで、物質循環を改善する	【主な改善対象】 カキ 【主な指標項目】 水質 (栄養塩類及びプランクトンなど)、カキの成長 【効果】 • 養殖期間 (イキス、ヨクセイ、ノコシ) 毎の筏の配置を環境に合わせて変更する • カキ養殖量を三津湾の環境収容力に合わせて調整 (多くの場合削減) する	• カキによる湾内の物質の利用効率を最大にする • 養殖量の削減に伴うカキの大粒化に期待	• 地元産業との兼ね合い • 海面利用上の調整が必要 • 三津湾の環境収容力の精査が必要	
【施肥】	カキの付着物または枯れたアマモなどを水中に係留し、それらを分解させることにより、栄養塩濃度を上昇させる	【主な改善対象】 栄養塩の添加 【主な指標項目】 水質 (栄養塩類、植物プランクトンなど) 【効果】 • 有機物が分解され無機物化することで、栄養塩が増える • 栄養塩濃度の上昇によって、植物プランクトンが増える	• カキ殻の付着物などの湾内の有機物を活用する。	• 地元住民、関係者の理解が必要 • 三津湾では栄養塩を供給しても流れによって湾外へ流出する可能性がある • 湾外へ栄養塩類が流出した際、近隣海域への考慮が必要	
【下水処理水の放流調整】	浄化センターからの栄養塩濃度の高い (排水基準上限) 下水処理水を湾内に放流し、栄養塩濃度を上昇させる	【主な改善対象】 栄養塩の添加 【主な指標項目】 水質 (栄養塩類、植物プランクトンなど) 【効果】 • 栄養塩濃度の上昇によって、植物プランクトンが増える • 植物プランクトンの増加によって、カキの餌環境が好転する	• 既存施設の活用	• 地元住民、関係機関の了解及び調整が困難 • 湾外へ流出した際、近隣海域への考慮が必要	海域の物質循環健全化計画播磨灘北東部地域検討委員会・環境省 (2013) 播磨灘北東部地域ヘルシープラン (案)

5.3 管理方策の絞り込み

- ✓ 数多くの方策の中から、三津湾に適合すると考えられる管理方策を絞り込んだ結果、以下の4つの方策に関して効果検証を行うこととなった。また、施肥に関しては、今後のヘルシープランの見直す際に参考情報となるよう、感度実験としてシミュレーションを行った。

【実証試験+シミュレーションによる検証を行う方策】

- 底質改善材の鋤き込み（底質改善材+耕耘）

【シミュレーションによる検証を行う方策】

- 人工中層海底の設置
- 下水処理水の放流調整
- カキ養殖量の調整

【シミュレーションによる感度実験】

- 施肥（感度実験）

表 5.2-1 に挙げた方策のうち、実際に三津湾地域で実施可能であり、さらに効果が期待できる方策を絞り込むために、本プランでは下記の項目について検討した。

✓ 対象となる場所の特徴による制限

底質改善対策では、対象海域が湾奥のカキ養殖筏直下となる。対象海域の水深は6～7m程度であるが、養殖カキのレンが、潮汐によって海底近くまで達することがあると考えられる。そのことを踏まえて底質改善対策を絞り込む必要がある。

三津湾では、湾外水の影響が大きく、流速が速いことが特徴である。よって、栄養塩不足対策、特に栄養塩類を新たに添加するような対策では、どこに添加するか、また近隣海域への影響を検討することが重要になる。

✓ 効果が現れるまでの期間

方策の効果が現れるまでの期間は、方策によって異なる。特に緊急性の高い不健全な事象（例：貧酸素水塊への対策）では、方策効果が比較的早く発揮されるものが望ましい。しかし、三津湾では、一部で底質悪化が確認されているものの、環境は全体的に良好であり、貧酸素水塊の発生は確認されていない。そのため、本プランにおける本項目の検討は、他項目の検討より優先順位が低いと考え、今後の本プランの見直しで参考にするための資料として検討した。

✓ 効果の持続性

方策の効果は、課題に対して持続的かつ自律的に将来に及ぶことが望ましい。そのため、リストアップした方策に関して、それらの効果の持続性についても検討し、絞り込むこととした。

✓ 簡便性

方策を実施する場合、実施主体が誰であるかで制約を受けることがある。実施主体が誰であろうとも実施可能な方策であることが望ましい。特に、漁業者はほぼ毎日、海で作業をしており、三津湾を熟知しているため、漁業者が実施できる簡便性を備えていることはとりわけ重要である。

✓ コスト

方策を実施する場合、必ずコストが掛かる。特に大規模な工事を必要とする方策では、膨大な経費が必要となり、実施に困難が生じる。そこで、参考程度ではあるが、可能な範囲内で各方策のコストを評価することとした。

上記の検討項目につき、表 5.2-1 で挙げた方策を三津湾地域の現状に即して、表 5.3-1 のように評価した。

表 5.3-1 (1) 管理方策 (案) の評価

【底質改善対策】

方策	対象海域の制限	効果を現れるまで期間	効果の持続性	簡便性	コスト (金額は参考値)
【覆砂】	× 対象海域の水深が浅いため、実施した場合、海域利用ができなくなり、カキ養殖場への影響が懸念される	○ 覆砂材及びび覆砂厚によるが、栄養塩の溶出などの水質、底質への効果はすぐに現れると考えられるが、生態系への効果は長期的な視点が必要	? 水産庁のマニュアルでは10年と記載しているが、関東経済産業局では1.5年(新生堆積物が多い海域)	× 事業規模が大きく、作業も大規模である	× 関東経済産業局では、覆砂材として鉄鋼スラグを想定した場合、覆砂実施の単価は3,000円/m ³
【耕耘】	△ 養魚筏を動かす際に、漁船による実施が可能である	○ 酸揮発性硫化物 (AVS) は、1日後には効果が現れる	× 有機汚濁を軽減する効果は1~2週間程度	○ 地元住民 (漁業者など) で実施可能	○ 耕耘器具及びポンプなどで20~30万円程度
【底質改善材】 (熱風乾燥カキ殻)	○ 流れが緩やかであり、再懸濁しにくい場所、かつ水深が浅くても施工可能	○ 硫化水素の低減効果は、10日目には現れる	○ 持続性は、本モデルのシミュレーションの結果によると、10年	○ 地元住民 (漁業者など) で実施可能	○ 熱風乾燥カキ殻の単価は、600~700円/20 kg
【人工中層海底】	△ 水深が浅い海域では、養殖カキのレンと衝突する可能性がある	× 効果が現れるまで、長時間を要すると考えられる	△ 持続的な効果を得るには、設置場所の流速、人工中層海底の形状を勘案する必要があり、さらにメンテナンス(人工中層海底に溜まった物質の除去)が必要	△ 地元住民でも可能であるが、筏に設置するには大きな人工物の設置が必要	○ 人工中層海底の材質によっては、安価にできる可能性がある
【底生物 (ナマコなど) を用いた底質浄化】	○ 底生物の生息水深及び生息環境の条件を満たせば可能であると考えられる	△ ナマコの摂餌試験では、4週間後には、底質の窒素、炭素除去が確認されている	? 底生物の生息状況によって変化すると思われる	? 継続的に稚ナマコを供給する必要があり、それを人工的に実施するには専門家及び専門施設が必要となる	? ナマコの生活史が、海域内で完結すれば、安価になる可能性がある

表 5.3-1 (2) 管理方策 (案) の評価

【栄養塩不足対策】

方策	対象海域の制限	効果が現れるまでの期間	効果の持続性	簡便性	コスト (金額は参考値)
【湾口部への構造物設置】	△ フェリー航路などを考慮する必要がある	? 構造物の種類 (防波堤の種類) によって異なる	? 海水交換が低下すれば、方策の効果が持続する可能性はあるが、湾内流況の変化に伴い、他の環境項目の悪化 (貧酸素水塊の発生など) を招く可能性がある	× 大規模な工事が必要	× テトラポットの 20 トンクラス (高さ 3 m) の製作費用 : 20~30 万/個 + 工事費用など
【カキ養殖量の調整】	○ 現状と変わらない	? 底質への負荷の減少を把握するには長い年月がかかるので、現時点では不明	○ カキ養殖量を減らして底質改善がみられた場合、その養殖量を維持すれば、改善効果が持続する可能性はある	○ 養殖量削減は、方法として容易であり、地元住民 (漁業者) で決定できる	× コスト自体はあまり掛からないと思われ、養殖量減少と品質向上 (大型化) とのバランスに不確実性がある
【施肥】	? 施肥の原材料及び必要量によって、制限される可能性がある	? 海水交換が良い三津湾で即効的な効果を得るためには、相当量の施肥が必要になると考えられる	△ 効果を持続させるには、継続的な施肥が必要となる	? 施肥に用いる資材の種類、量及び方法によって、簡便性が異なる	△ カキの付着物を用いる場合、低コストであるが、養殖棚につける場合は、量の制限がある
【下水処理水の放流調整】	○ 現在の下水処理場から栄養塩が供給されるので海域選択の検討は不要	△ 排出口付近では即効的な効果が得られるが、海水交換が良い三津湾では、湾全体への効果は不明	△ 排出口付近では、放流調整中は効果が継続するが、三津湾では海水交換が良いので、放流を停止すると効果がなくなる可能性がある	△ 地元住民の理解や関係機関の調整が必要	△ 大規模な新規設備は必要なく、コストもかからないが継続的なモニタリングと放流調整との間でフィードバックが必要

表 5.3-1 の評価結果を受けて、以下のように、さらに4つの方策に絞った。また、「施肥」に関しては、今後、三津湾において本プランを見直しする際に参考となるよう、シミュレーションによる感度実験として扱うこととした。

【底質改善対策】

“底質改善材+耕耘(方策名：底質改善材の鋤き込み)”及び“人工中層海底”

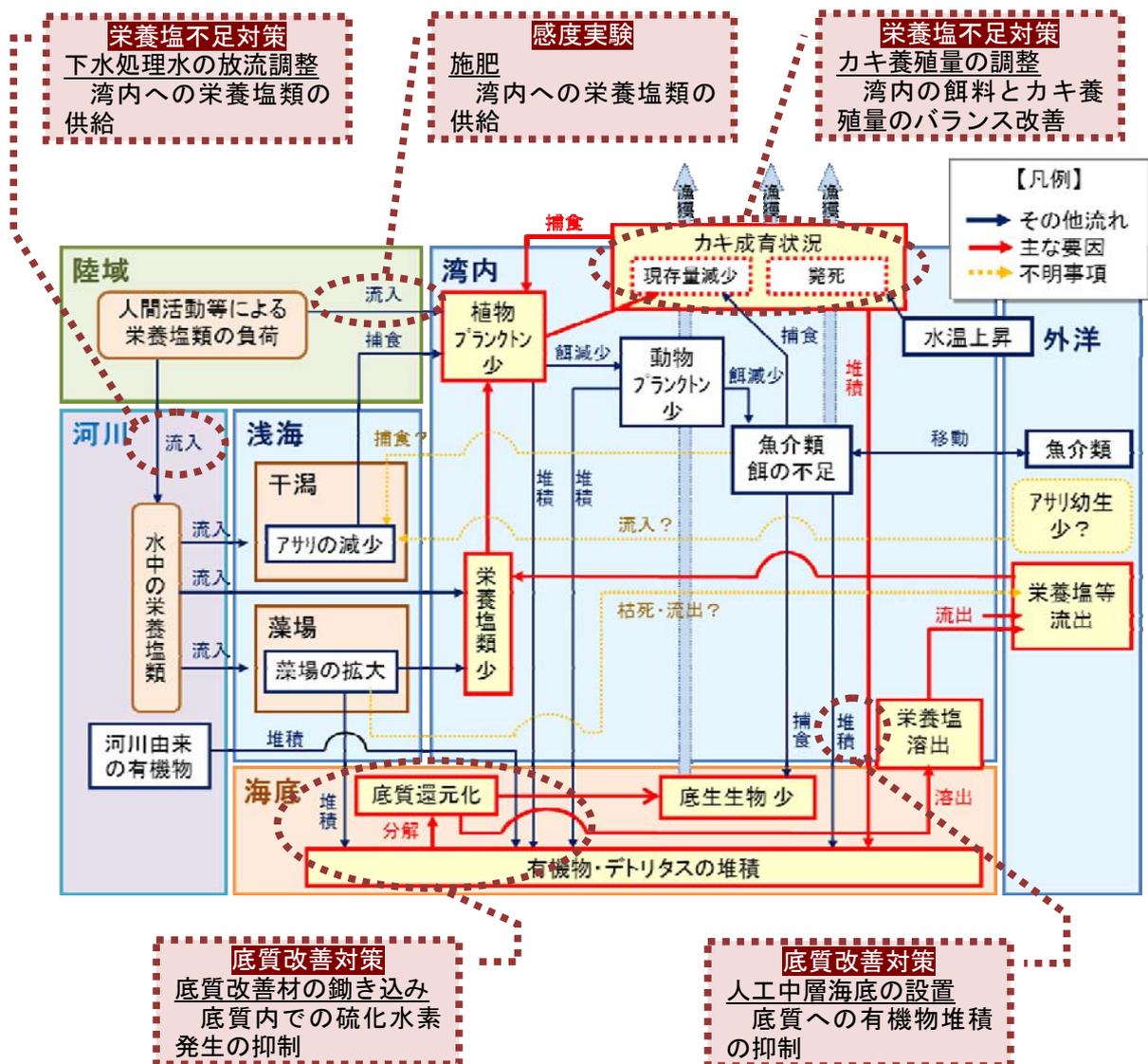
【栄養塩不足対策】

“下水処理水の放流調整”及び“カキ養殖量の調整”

【感度実験】

“施肥”

上記の4つ方策及び1つの感度実験と不健全な事象との関連を図 5.3-1 に図示した。これらのうち、現在の三津湾で比較的容易に実施できる「耕耘」と「底質改善材」については、実海域における実証試験を実施するとともに、物質収支モデルによるシミュレーションで評価することとした。他の3方策に関しては、シミュレーションで評価することとした(表 5.3-2)。



※図中の引き出し枠(点線)は施すべき対策を示す。

図 5.3-1 三津湾の物質循環と管理方策(案)との関係

表 5.3-2 効果検証を実施する管理方策

方策	選定理由	効果の把握方法
耕耘	底質改善材の鋤き込みの対照実験として実施できる（底質改善材のみの効果の把握）	実証試験結果及びシミュレーション （方策名：底質改善材の鋤き込み）
底質改善材	底質改善材の効果の即効性及び持続性、特に硫化水素の減少が期待でき、本事業内で実施が可能である	
人工中層海底	底質改善の候補地における水深が浅いため、実証試験としては見送った	
カキの養殖量の調整	実際に養殖量を調整するには討議と時間が必要であり、効果が発現するまでに長期間を要するため、実証試験としては見送った	シミュレーション
下水処理水の放流調整	地元住民の理解、行政的な手続き及び効果的な放流プログラム策定に長時間を有するため、実証試験としては見送った	シミュレーション
感度実験	選定理由	実験方法
施肥	シミュレーションの結果、海水交換が良い三津湾では膨大な量の栄養塩負荷が必要であり、今年度の実施は不可能と判断 （ただし、今後の参考資料として、近隣海域に影響を及ぼさない範囲で、どの程度の栄養塩負荷が可能かを算出）	シミュレーション

5.4 管理方策などの効果の検証結果

以下に、前述した方策及び感度実験に対する効果検証及び感度実験結果をまとめた。

5.4.1 【方策】底質改善材の鋤き込み（実証試験及びシミュレーション）

【底質改善材の鋤き込み（底質改善材+耕耘）】

- ✓ 実証試験の結果、硫化物や硫化水素の発生が低減されたので、三津湾の局所的な底質の悪化を改善する方策として有効であると考えられた。
- ✓ シミュレーションの結果にも同様な効果がみられ、約 10 年間は効果が持続すると試算された。

(1) 方策の目的

三津湾では、カキ養殖筏付近の St. 5 において底泥の全窒素、全りん、TOC 及び硫化物が他地点よりも高くなっている。特に硫化物は毒性の強い硫化水素の発生源となりやすいため、硫化水素を吸着することが知られている熱風乾燥カキ殻^{*}を底質改善材として鋤き込み、硫化水素の発生を低減させることを目的とした。

(2) 効果の検証方法

1) 実証試験による検証

底質改善材である熱風乾燥カキ殻を鋤き込む際、底泥は耕耘される。そこで、底質改善材の効果と耕耘の効果を識別するために、実証試験では、“試験区（底質改善材あり）：以後‘改善区’と記載”、“試験区(底質改善材なし)：以後‘耕耘区’と記載”及び“対照区”の3区（5m×5m）を設けることとした（図 5.4-1）。また、底質改善材は、耕耘深度 10cm に、熱風乾燥カキ殻：底泥量=1：2 となるように鋤き込んだ。

実証試験による効果検証のために実施した内容及び現地調査項目を、表 5.4-1 にまとめた。

※熱風乾燥カキ殻とは・・・

400℃で熱風乾燥させた後、大きさ 4～7mm 程度に粉碎したカキ殻のこと

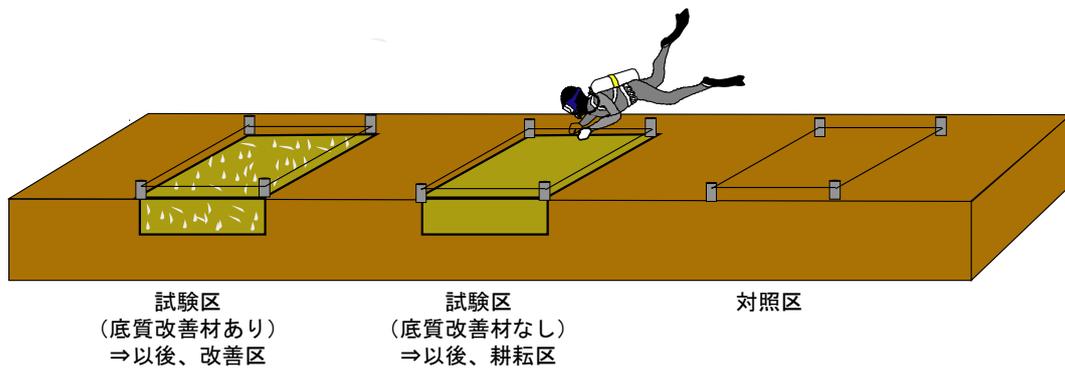


図 5. 4-1 実証試験のイメージ

表 5. 4-1 実証試験の内容及び調査項目

項目	施工内容	備考
施工時期	平成 25 年 7 月 24 日	
施工規模	5m×5m/区画、底層 (0~10cm)	
施工方法	底質改善材と堆積物の比率を 1:2 になるようにし、ダイバーで鋤き込んだ	
調査項目	調査目的 (調査実施時期)	調査項目
水塊構造の把握	調査背景として、水塊構造を観測する (平成 25 年 7 月 (施工前)、8 月、10 月の計 3 回)	水温、塩分、クロロフィル a、溶存酸素量、濁度の鉛直分布
底質改善効果の把握	底質の成分への効果を把握する (平成 25 年 7 月 (施工前)、8 月、10 月の計 3 回)	底質 (0~10cm 層) の酸揮発性硫化物 (AVS)、全窒素、全りん、クロロフィル a
底泥間隙水効果の把握	底泥間隙水中の成分への効果を把握する (平成 25 年 7 月 (施工前)、8 月、10 月の計 3 回)	底泥間隙水中 (0~10cm 層) の硫化水素、窒素 (溶溶性全窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素、アンモニア態窒素) 及びりん (溶溶性全りん、りん酸態りん)
栄養塩の溶出速度及び酸素消費速度	底泥の栄養塩溶出速度及び酸素消費速度の変化に対する効果を把握する (平成 25 年 8 月の計 1 回)	底泥 (0~30cm 層) から溶出する栄養塩 (全窒素、全りん) 及び底泥が消費する酸素量
底生生物調査	底生生物に与える効果を把握する (平成 25 年 7 月 (施工前)、8 月、10 月の計 3 回)	底生生物の出現種及び現存量

2) モデルによる検証方法

効果を検証するためのシミュレーションの設定条件は、以下のようにした（表 5.4-2）。

表 5.4-2 底質改善材の鋤き込みによるシミュレーションの設定条件

方策	底質改善材の鋤き込み	
条件	底泥間隙水中の硫化水素の吸着	
設定方法	Yamamoto <i>et al.</i> (2012) 及び Asaoka <i>et al.</i> (2009) に基づいて、底泥間隙水中の硫化水素が底質改善材（熱風乾燥カキ殻）によって毎日、75.3%吸着（モデル系外に排出）し、吸着量が 12 mgS/g に達したときに吸着効果がなくなるものとした。	
計算ケース	計算ボックス（図 5.4-2 参照）	
	ケース①	ボックス 7~9 （モデル上で硫化物の上位 3 ボックス）
	ケース②	ボックス 3~12 （モデル上でカキ養殖筏として設定している全ボックス）
期間	7 月 1 日に施工（効果開始）	
設定根拠	Yamamoto <i>et al.</i> (2012)、Asaoka <i>et al.</i> (2009)	

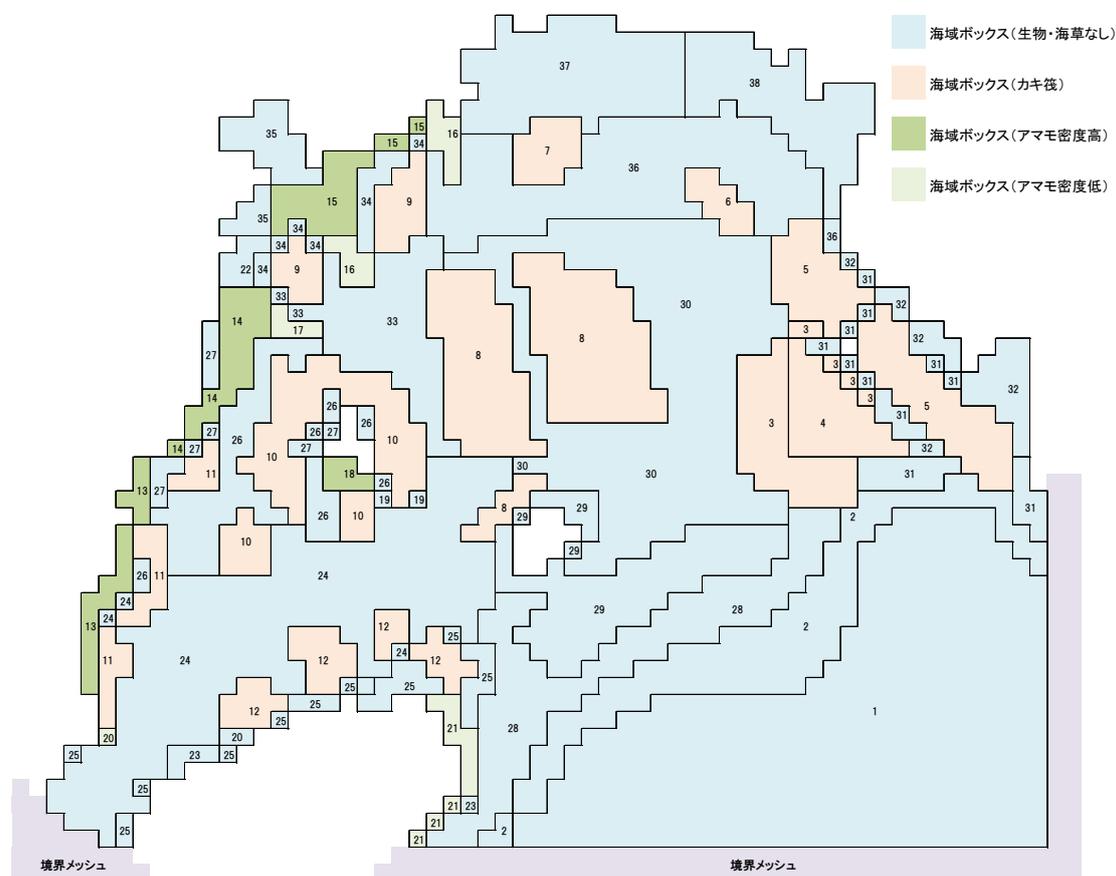


図 5.4-2 モデル上のボックスの位置

T. Yamamoto, S. Kondo, K. H. Kim, S. Asaoka, H. Yamamoto, M. Tokuda and T. Hibino (2012) Remediation of muddy tidal flat sediments using hot air-dried crushed oyster shells. *Marine Pollution Bulletin*, 64, pp. 2428-2434.

S. Asaoka, T. Yamamoto, S. Kondo and S. Hayakawa (2009) Removal of hydrogen sulfide using crushed oyster shell from pore water to remediate organically enriched coastal marine sediment. *Bioresour. Technol.*, 100, pp. 4127-4132.

(3) 実証試験及びシミュレーションの結果

1) 実証試験の結果

① 水塊構造の把握 (図 5. 4-3)

水塊構造を調べたところ、平成 23 年度及び平成 24 年度の現地調査と同様、全ての調査月 (7 月、8 月及び 10 月) に密度躍層は確認されなかった。また、下層の DO も上層と大きな差異はなく、貧酸素水塊 (水産用水基準: 4.3mg/L 未満) に至らなかった。

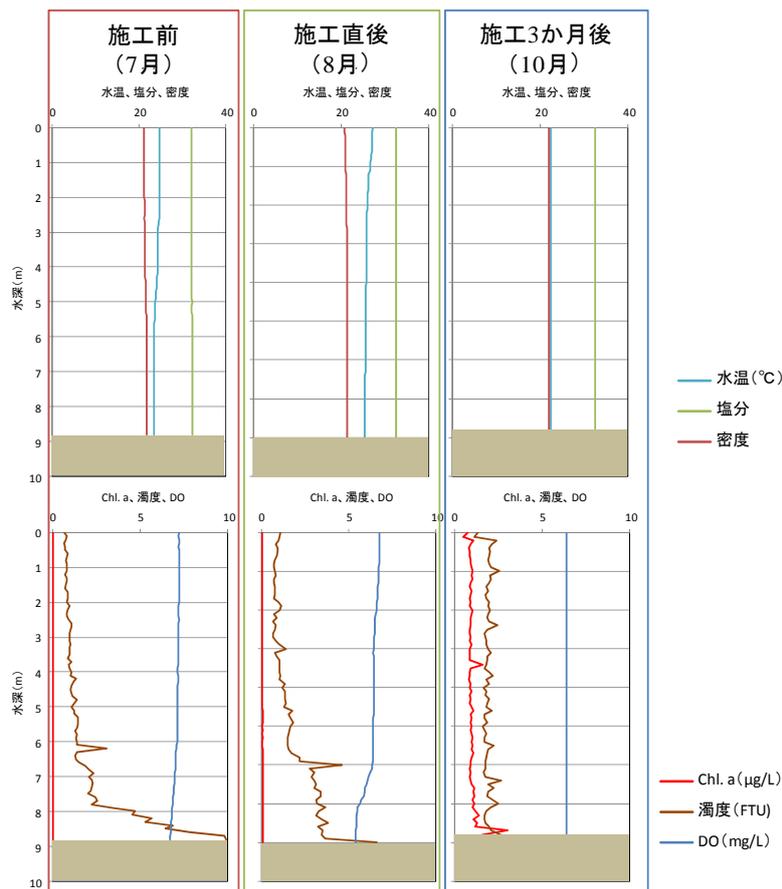


図 5. 4-3 実証試験時の水塊構造

② 底質改善効果の把握

(a) 酸揮発性硫化物 (図 5. 4-4)

底泥の酸揮発性硫化物 (AVS) は、施工前である 7 月には全区画間で顕著な差はみられなかったが、施工後の 8 月及び 10 月には、耕耘区及び対照区では 7 月より高含有量になったのに対し、改善区では 7 月よりも低くなっていた。図中の 8 月の欄に、平成 24 年 8 月に近接する St. 5 で測定された酸揮発性硫化物の値も参考に示した。その結果、平成 24 年の測定値は本実証試験 (平成 25 年) の対照区における値よりも低かったが、改善区における値はそれよりも明らかに低かった。このことは、本方策によって年変動を超える程度に酸揮発性硫化物が低下しているといえる。一方、耕耘区の酸揮発性硫化物は、8 月には平成 24 年 8 月の値よりも高く、かつ対照区と同様な経時変化を示した。

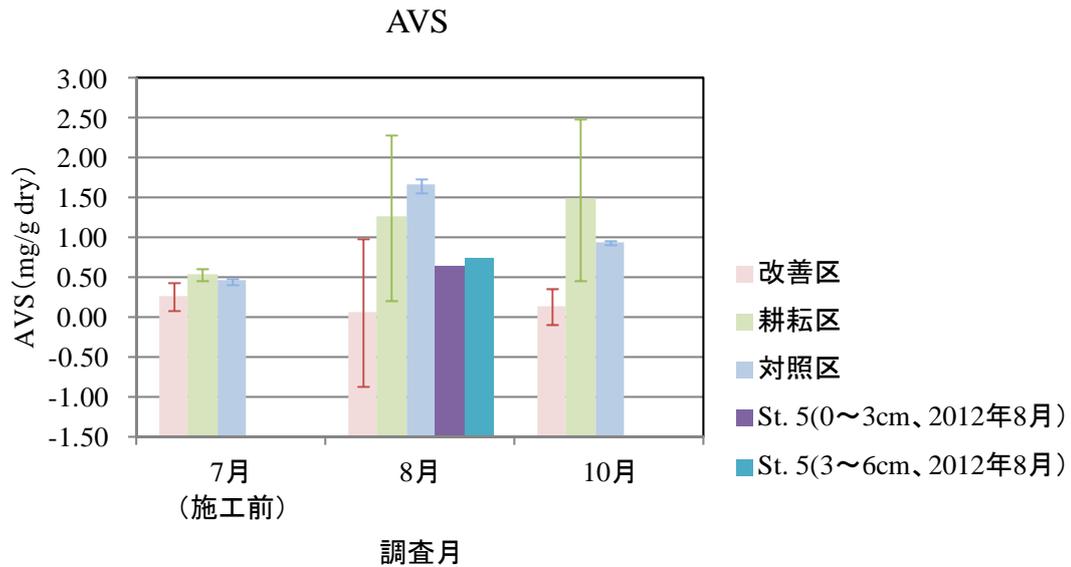


図 5. 4-4 実証試験による底質変化（酸揮発性硫化物（AVS））

(b) 全窒素及び全りん（図 5. 4-5）

底泥の全窒素含有量及び全りん含有量は、改善区、耕耘区及び対照区において顕著な変化を示さなかった。また、それらの値は、平成 24 年 8 月調査時と同程度であった。以上のように、酸揮発性硫化物は底質改善材の鋤き込みによって低下したのに対し、全窒素及び全りんは変化しなかった。

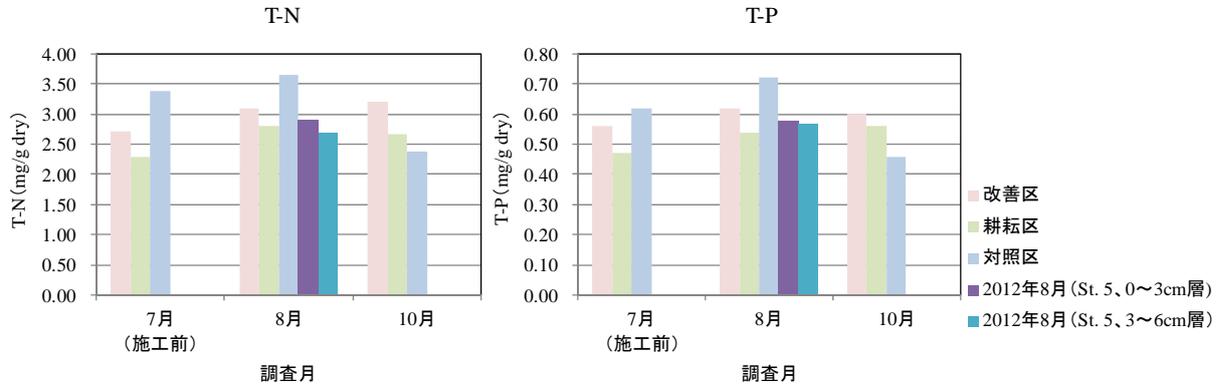


図 5. 4-5 実証試験による底質変化（左：全窒素（T-N）、右：全りん（T-P））

(c) クロロフィル a (表層 1cm、図 5.4-6)

底泥のクロロフィル a は、改善区及び耕耘区において大きな変動を示したが、一定の傾向はみられなかった。対照区における年変動も大きく、酸揮発性硫化物、全窒素及び全りんはいずれも平成 24 年 8 月と同程度であったのに対し、クロロフィル a は平成 24 年 8 月の方が高かった。以上のように、底泥のクロロフィル a は変動性に富んでいるため、その量の変化によって、底質改善材の働き込みの効果を判定するには至らなかった。

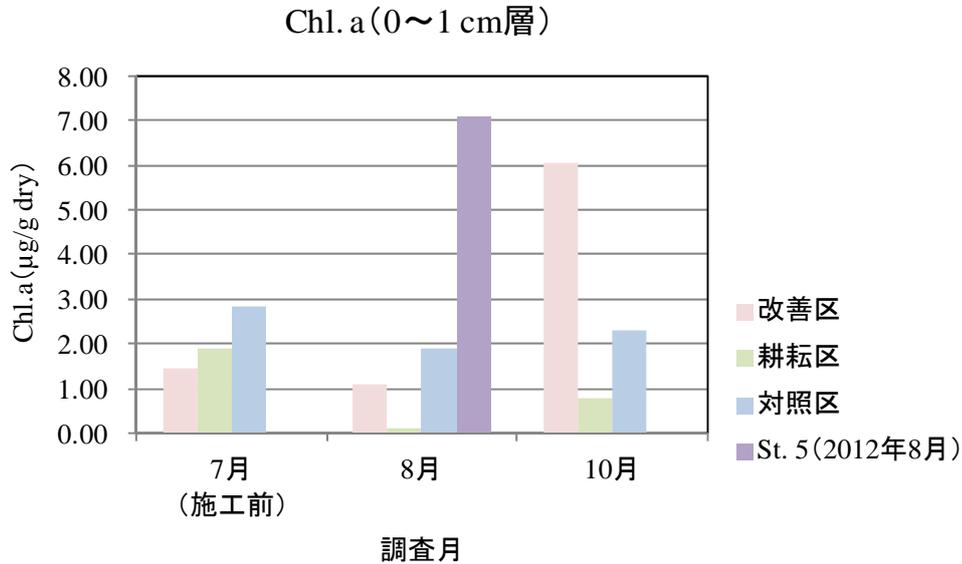


図 5.4-6 実証試験による底質変化 (クロロフィル a (Chl. a))

③ 底泥間隙水効果の把握

(a) 硫化水素 (図 5.4-7)

底泥間隙水中の硫化水素濃度は、改善区において 7 月に比べて施工直後の 8 月には顕著に低くなり、10 月にも継続して低かった。改善区における施工前(7 月)との比は、8 月には 17.7%、10 月には 15.6%であった。一方、耕耘区における変動は、対照区の変動と差異がなく、7 月から 8 月にかけてやや増加し、10 月には減少した。

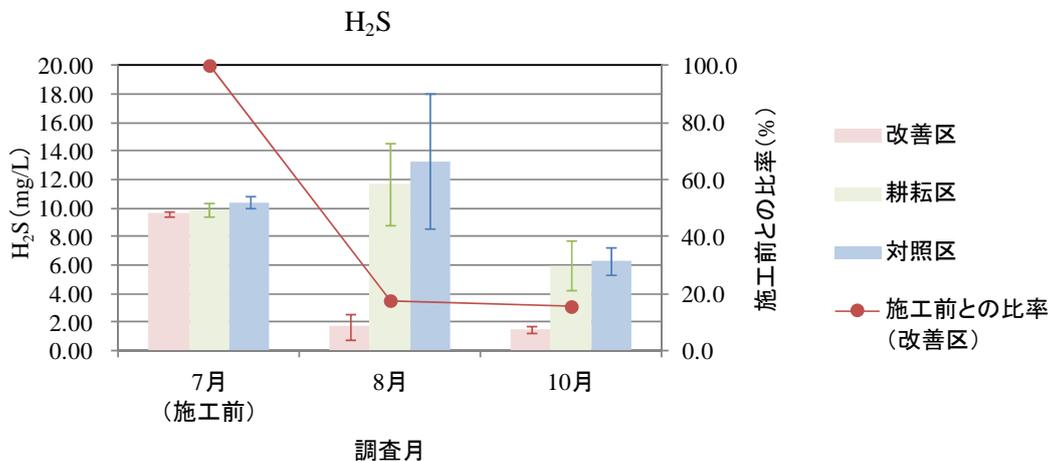


図 5.4-7 実証試験による底泥間隙水の変化 (硫化水素)

(b) 全窒素及び全りん (図 5.4-8)

底泥間隙水中に溶存していた全窒素 (T-N) の中で、アンモニア態窒素 (NH₄-N) の割合が常に 50% を超えていた。一方で、亜硝酸態窒素 (NO₂-N) 及び硝酸態窒素 (NO₃-N) はほとんど検出されなかった。また、改善区の全窒素濃度に経時的な変化はなく、他区と比較しても、一定の傾向をもった変化を示さなかった。全りん (T-P) に関しては、りん酸態りん (PO₄-P) 濃度が主に高く、耕耘区及び対照区に比べて改善区で顕著に高かったが、経時的な変化はみられなかった。

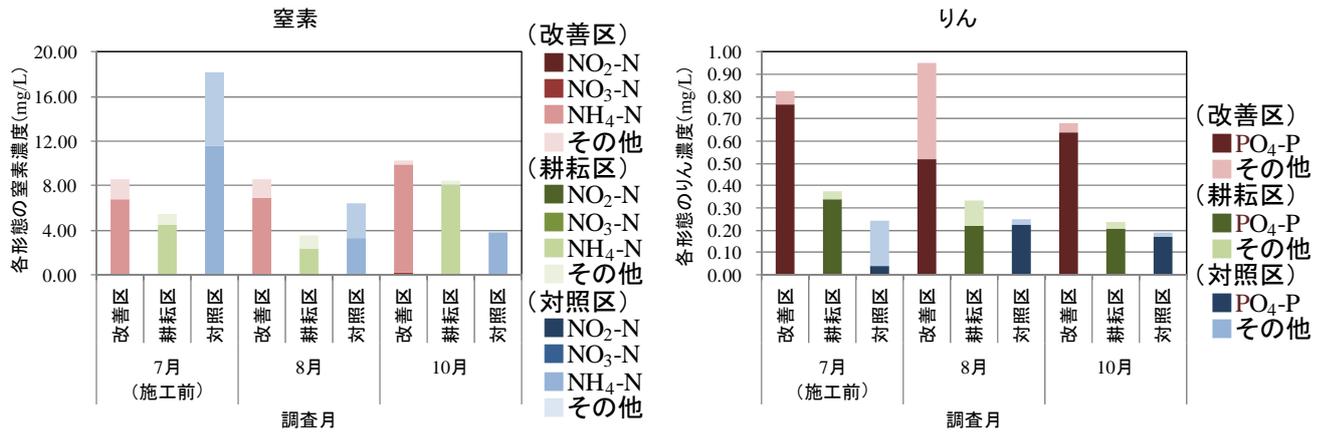


図 5.4-8 実証試験による底泥間隙水の変化 (左：窒素、右：りん)

④ 栄養塩の溶出速度及び酸素消費速度

(a) 酸素消費速度 (図 5.4-9)

底泥の酸素消費速度を測定した結果、改善区では 2.13mg/m²/day、対照区では 2.38mg/m²/day であり、両区間に差異はみられなかった。これらの値は、平成 24 年 8 月に St. 5 で測定した結果 (2.52 mg/m²/day) と比較しても差はなかった。

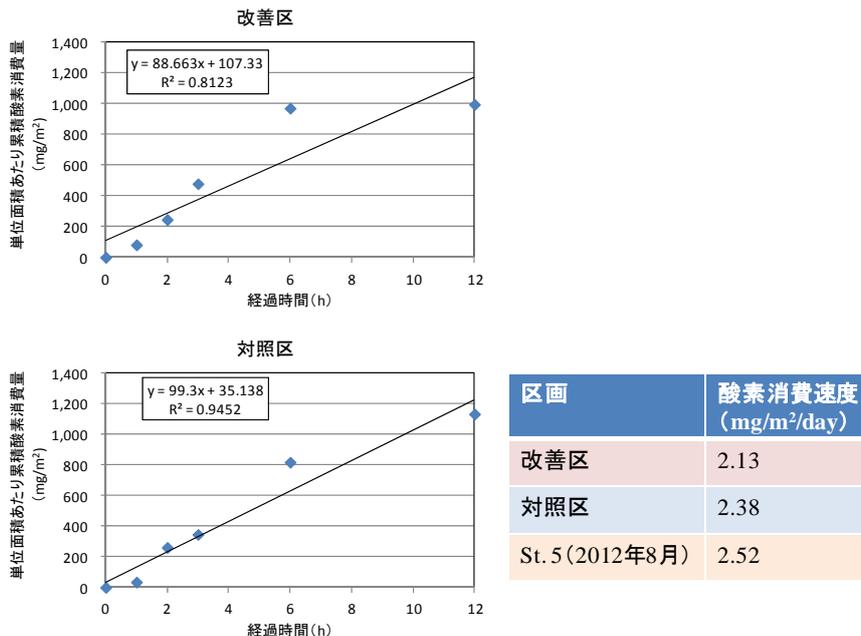


図 5.4-9 実証試験による底泥の酸素消費速度の影響

(b) 栄養塩の溶出速度 (表 5.4-3)

底泥からの栄養塩の溶出速度を測定 (N=2) した結果、全窒素の溶出速度は、対照区 (144.5mg/m²/day) に比べて改善区 (48.2mg/m²/day) で低かった。

全りん溶出速度も、対照区では 41.4mg/m²/day であったのに対し、改善区では低く、わずかに 0.1mg/m²/day にすぎなかった。

表 5.4-3 酸素消費速度と栄養塩の溶出速度の調査結果

	酸素消費速度 mg/m ² /day	全窒素の溶出速度 mg/m ² /day	全りんの溶出速度 mg/m ² /day
改善区	2.13	48.2	0.1
対照区	2.38	144.5	41.4
St. 5 (2012年8月調査)	2.52	-10.1	23.4

⑤ 底生生物調査

底生生物の現存量及び種類数は、全区画ともに7月から10月にかけてほぼ規則的に減少していたが、改善区において10月(施工3か月後)に現存量がやや回復した(図 5.4-10)。このとき、第1優占種はそれ以前のカタマガリギボシイソメからルドルフイソメへと変化していた(表 5.4-4)。前者のカタマガリギボシイソメは強汚濁指標種として知られており、後者のルドルフイソメはそれに随伴する種といわれている(広島県環境保健協会、2004)。実証試験期間中、耕耘区では一貫してカタマガリギボシイソメが、対照区では8月及び10月になってカタマガリギボシイソメが第1優占種であった。

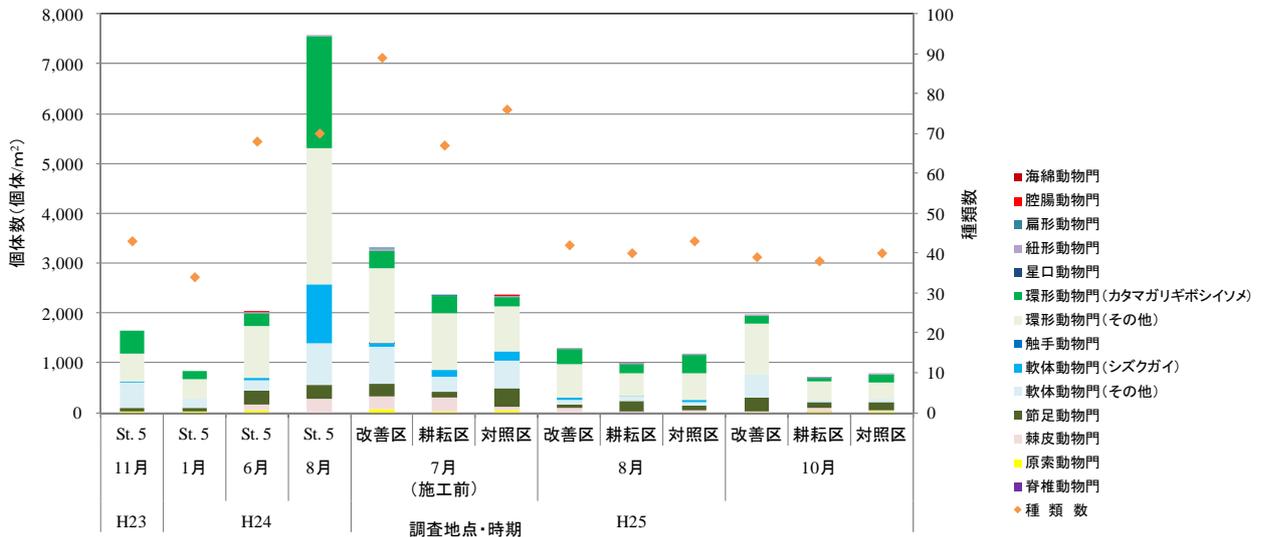


図 5.4-10 実証試験における底生生物調査の結果

表 5.4-4 底生生物調査結果（優占種とその食性）

地点名\調査時期		施工前（7月）	施工直後（8月）	施工3か月後（10月）
改善区	種類数	89	42	39
	現存量 (個体/m ²)	3,288	1,304	1,955
	優占種	カタマカリギボシイソメ (10.1) キヌマトイガイ (7.3) Harmothoe sp. (6.1)	カタマカリギボシイソメ (24.5) Heteromastus sp. (14.8) ニホンヒメエラゴカイ (10.2)	ルドルフィソメ (21.8) ニホンヒメエラゴカイ (11.9) オトヒメゴカイ科 (7.8)
耕耘区	種類数	67	40	38
	現存量 (個体/m ²)	2,357	986	717
	優占種	カタマカリギボシイソメ (14.1) ニホンヒメエラゴカイ (10.5) Ophiopeltis sp. (8.2)	カタマカリギボシイソメ (17.4) Nebalia sp. (10.8) ニホンドロソコエビ (8.8)	カタマカリギボシイソメ (8.4) Heteromastus sp. (8.4) フサゴカイ科 (6.6) Nebalia sp. (6.6)
対照区	種類数	76	43	40
	現存量 (個体/m ²)	2,364	1,167	770
	優占種	キヌマトイガイ (12.1) Harmothoe sp. (9.0) カタマカリギボシイソメ (7.9) シズクガイ (7.9)	カタマカリギボシイソメ (32.6) フサゴカイ科 (9.2) ニホンドロソコエビ (6.3) Harmothoe sp. (6.3)	カタマカリギボシイソメ (19.9) Pista sp. (6.1) Amaeana sp. (6.1)
St. 5 (昨年度)	種類数		70	
	現存量 (個体/m ²)		7,560	
	優占種		カタマカリギボシイソメ (29.8) シズクガイ (15.6) ニホンヒメエラゴカイ (6.6)	

注：1. () 内の数値は、現存量に対する出現比率 (%) を示す。

2. 優占種は、上位3種を示す。

3. 優占種の文字色は、**橙色**は堆積物摂食者、**緑色**は懸濁物摂食者、**青色**は肉食者を示す。

2) 実証試験のとりまとめ

耕耘区と対照区での結果を比較すると、底泥の酸揮発性硫化物及び間隙水中の硫化水素にも、また、底泥及び間隙水中の栄養塩類にも、ともに明瞭な差異はなかった。さらに、底生生物の現存量及び種類数にも差異はみられず、両区ともにカタマカリギボシイソメが最優占種となった。江崎・松井（2009）は、福岡湾の高水温期における耕耘による汚濁軽減効果は1～2週間程度しか持続しないと報告しており、本実証試験の調査頻度では、耕耘の効果を把握することができなかったと考えられる。

一方、改善区において底泥の酸揮発性硫化物と間隙水中の硫化水素は、耕耘区及び対照区に比べて、施工直後（8月）だけでなく、施工3か月後（10月）でも顕著に低かった。これらの結果は、耕耘だけの効果は限定的であるが、底質改善材による硫化水素及び酸揮発性硫化物の低減効果は、少なくとも3か月は持続することを示している。

江崎恭志・松井繁明（2009）福岡湾における海底耕耘による底質改善効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告, 19, pp. 41-50.

3) シミュレーションの結果

① 底泥間隙水中の硫化水素

表 5.4-2 に示したケース①及びケース②について行ったシミュレーションの結果、両ケースにおいて底泥間隙水中の硫化水素は、現況よりも減少することを示した (図 5.4-11)。特に硫化水素濃度が最も高いボックス 7 では、方策開始から計算終了時まで、概ね 70%以上の減少が持続した。ボックス 7 における硫化水素は、計算終了時までの累積で 3.15mgS/g 吸着されており、これは年平均約 1.17mgS/g 吸着されたことに相当する (図 5.4-12)。

この吸着速度が継続すると仮定すると、方策開始から約 10 年後に本実証試験で用いた底質改善材 (熱風乾燥カキ殻) 1g が持つ硫化水素最大吸着量 (12mgS/g) に達することになる。この最大吸着量に達する (飽和する) までを効果継続年数と考え、表 5.4-2 で設定した計算条件下においては、効果は約 10 年継続すると言える。

しかし、底泥間隙水中の硫化水素濃度は季節変化しており、元々濃度が低い場所 (例: ボックス 9) では一時的に発生率が吸着能 (硫化水素濃度の 75.3%/日) を超える場合が生じる。本シミュレーションの結果でも硫化水素が前日の濃度の 75.3%以上増加する可能性があることが示された (図 5.4-13)。

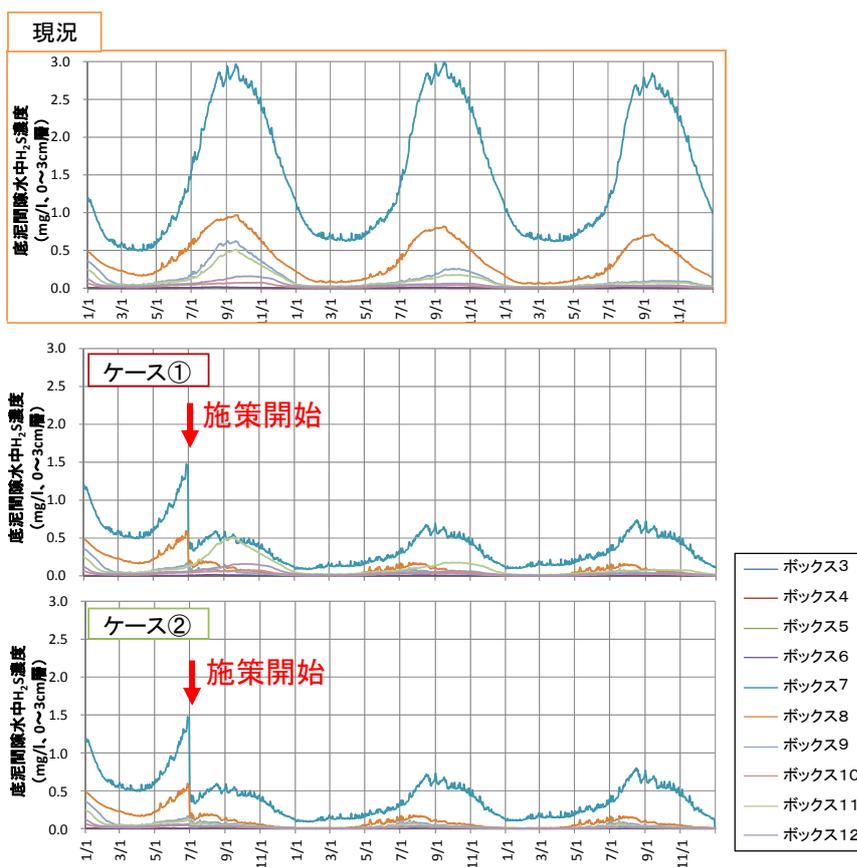


図 5.4-11 シミュレーションによる硫化水素濃度の予測

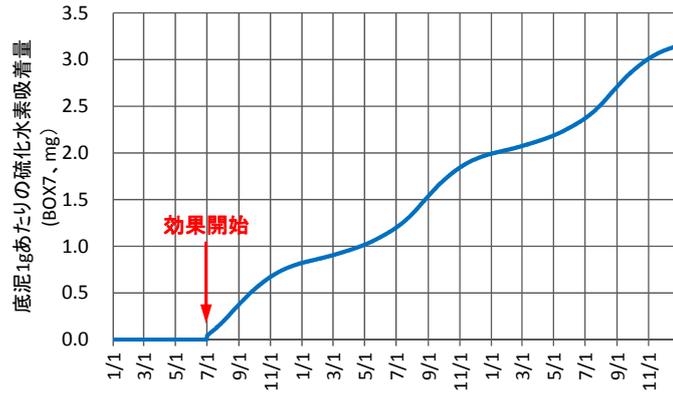


図 5.4-12 シミュレーションによる硫化水素の累積吸着量の予測

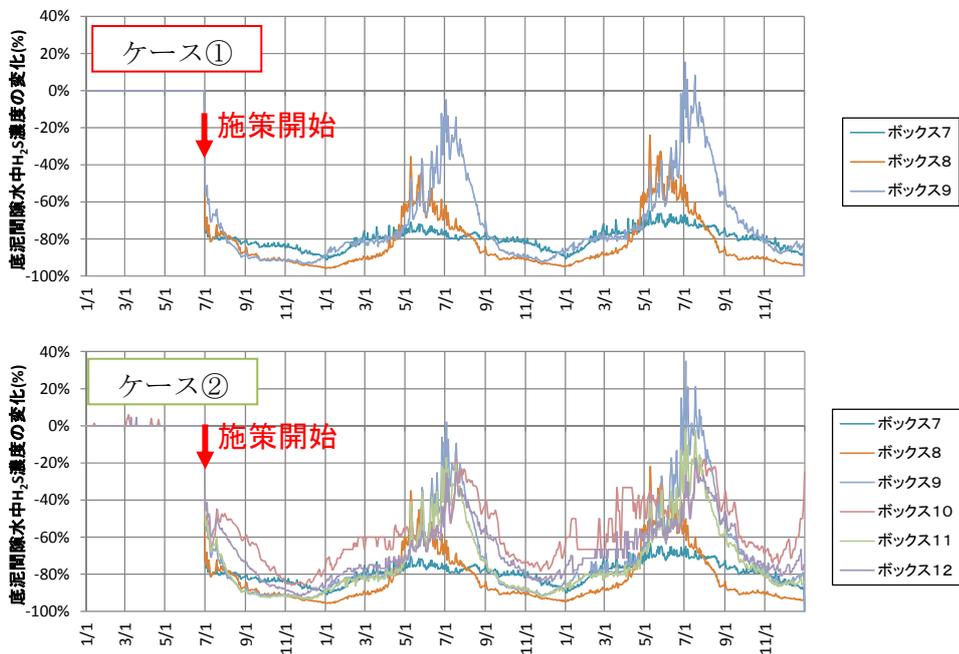


図 5.4-13 シミュレーションによる現況に対する硫化水素の変化率

② 底泥の全窒素及び全りん

シミュレーションの結果では、底泥の全窒素含有量はほとんど変化せず（図 5.4-14）、現況に対する変化率は、ケース①、②ともに1%未満にすぎなかった（図 5.4-15）。また、底泥の全りん含有量もほとんど変化せずに微増するにとどまった（図 5.4-16）。また、現況に対する変化率は、最大増加率がみられたボックス 7 においても約 5%であった（図 5.4-17）。

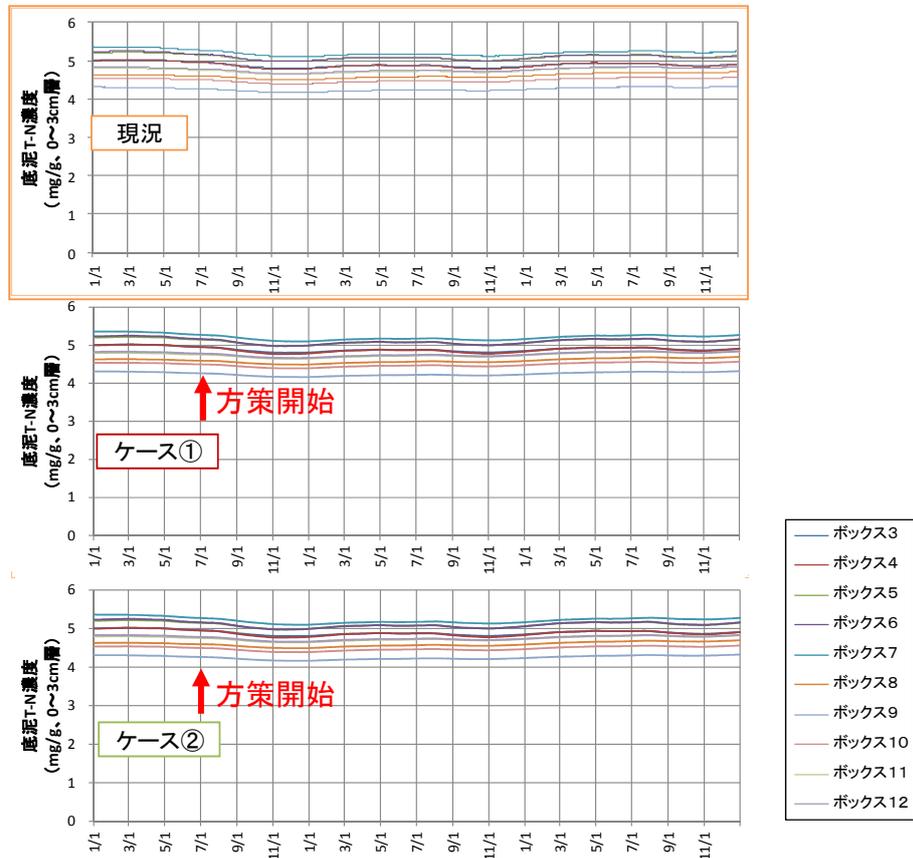


図 5.4-14 シミュレーションによる底泥の全窒素（T-N）含有量の予測

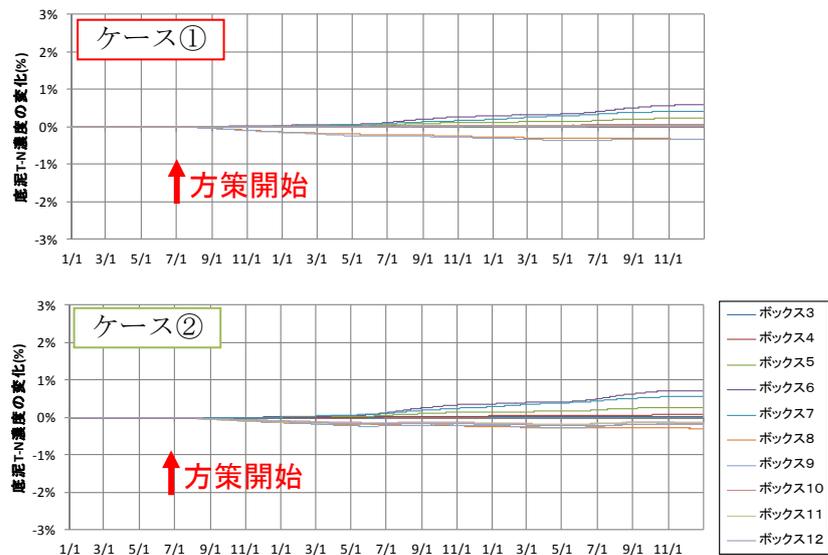


図 5.4-15 シミュレーションによる現況に対する底泥の全窒素（T-N）含有量の変化予測

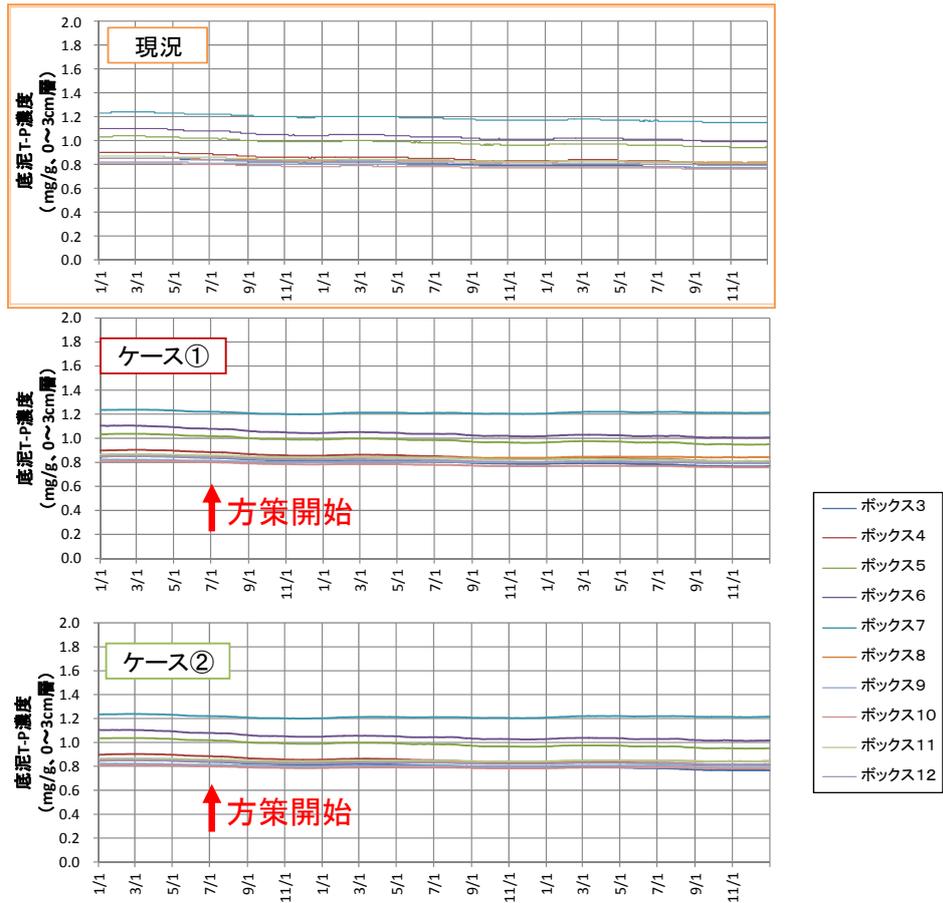


図 5.4-16 シミュレーションによる底泥の全りん (T-P) 含有量の予測

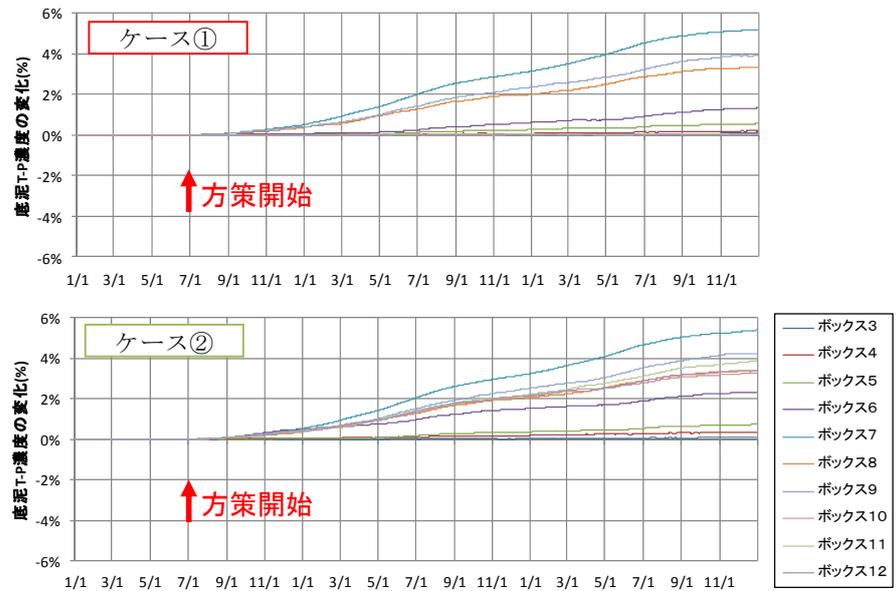


図 5.4-17 シミュレーションによる現況に対する底泥の全りん (T-P) 含有量の変化予測

③ 底生生物の現存量

シミュレーションによる結果では、底生生物の現存量はケース①及び②ともに増加する傾向がみられ（図 5.4-18）、方策を開始して1年9か月後には、最大で184%の増加が予測された（図 5.4-19）。これは、間隙水中の硫化水素が減少し、生息環境が改善された結果である。

また、底生生物から魚類への転換効率を10%と仮定すると、計算終了時（方策開始後2.5年）の魚類推定現存量は、ケース①で31.2%、ケース②で52.7%の増加が見込まれた（図 5.4-20）。

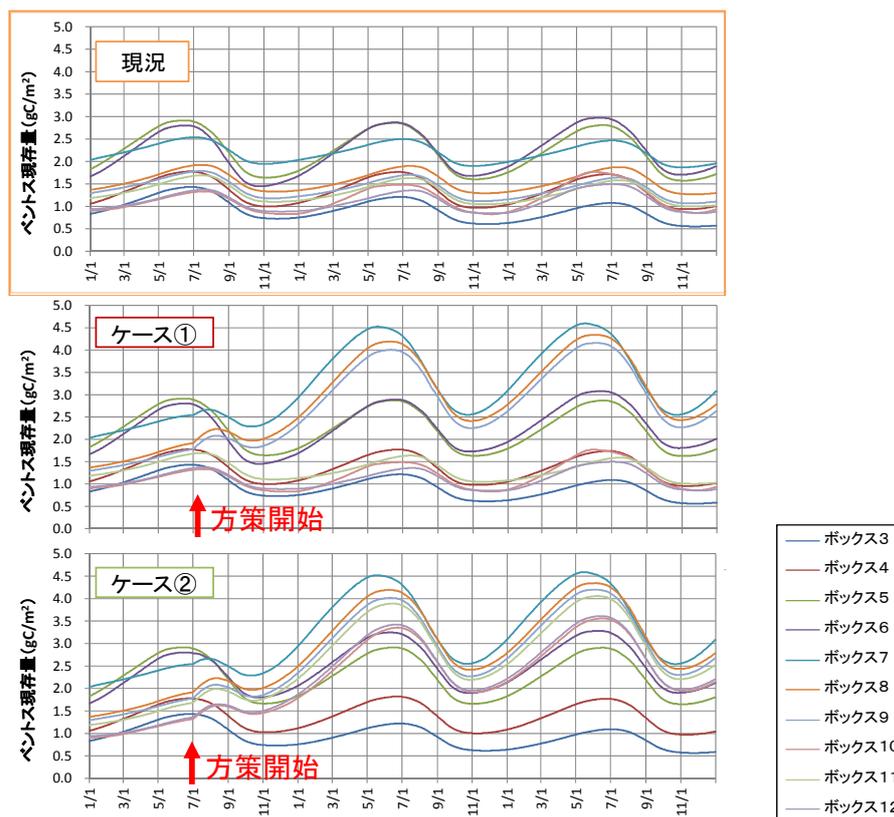


図 5.4-18 シミュレーションによる底生生物の現存量の予測

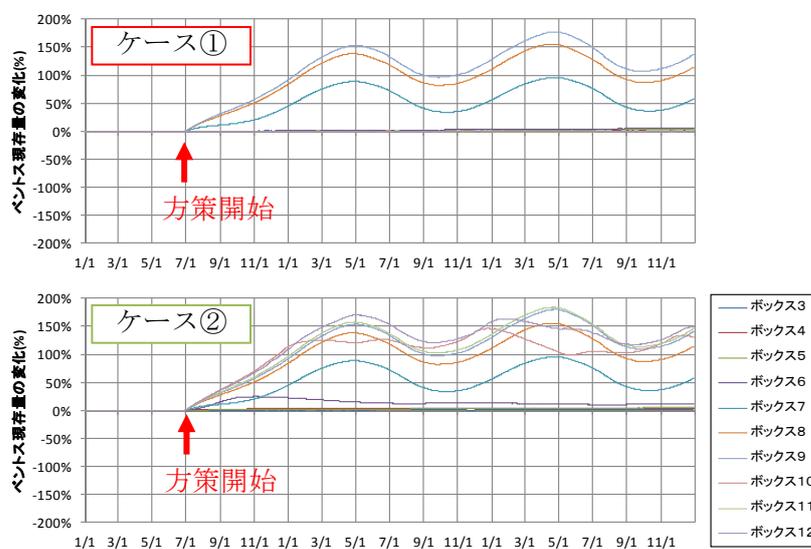


図 5.4-19 シミュレーションによる現況に対する底生生物の現存量の変化予測

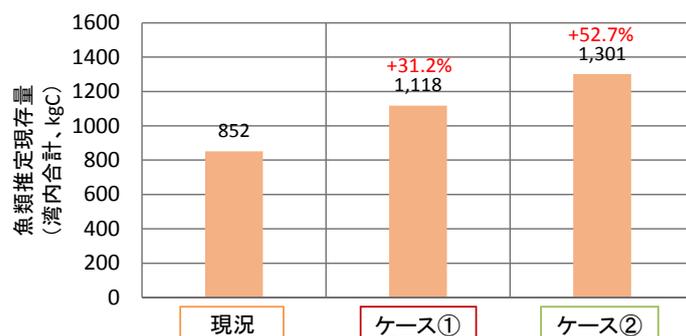


図 5.4-20 湾内合計の魚類推定現存量

④ カキの現存量

シミュレーションによる結果では、カキの現存量は、場所によっては徐々に増加し（図 5.4-21）、計算終了時にはケース①で最大約 9%、ケース②で最大約 13%の増加が見込まれた（図 5.4-22）。

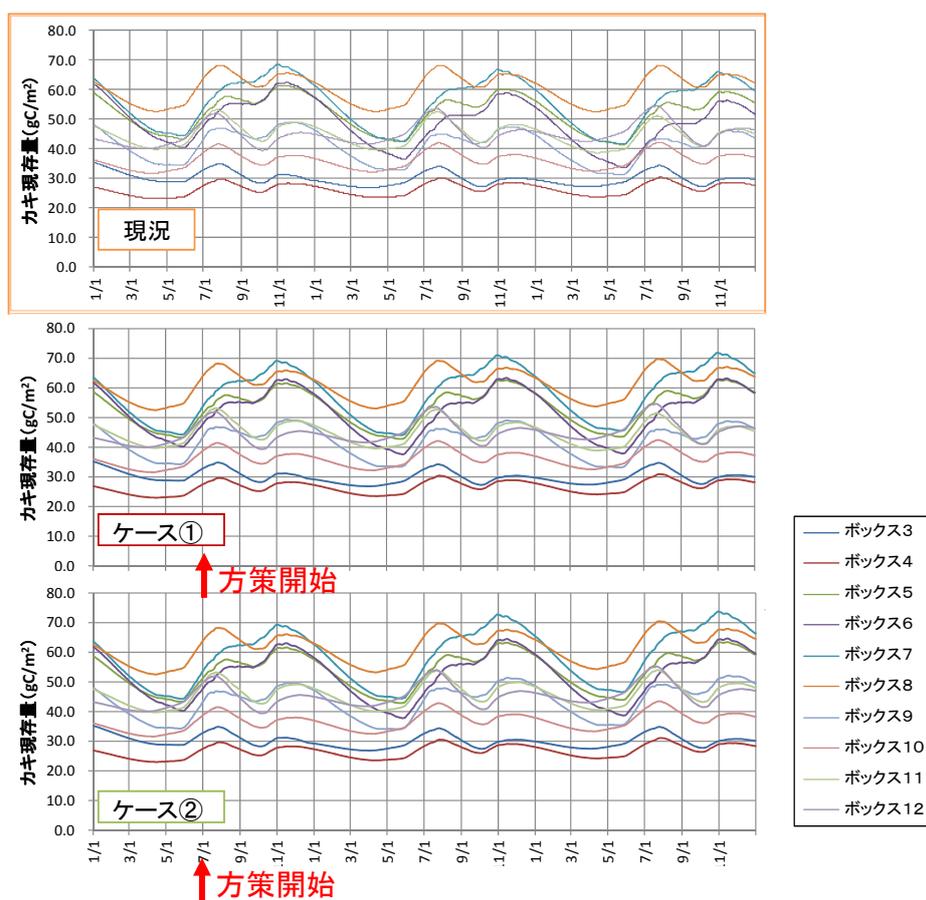


図 5.4-21 シミュレーションによるカキの現存量の予測

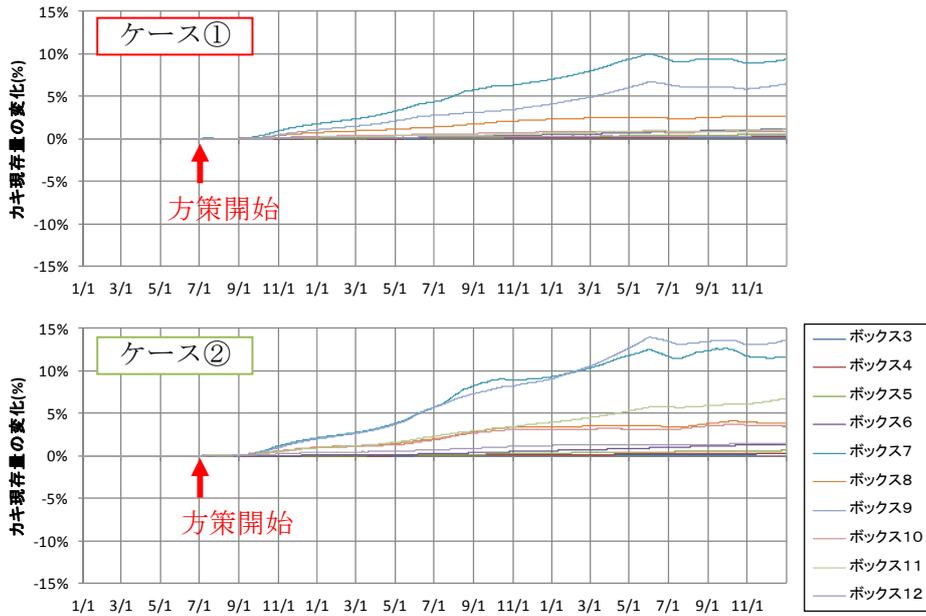


図 5.4-22 シミュレーションによる現況に対するカキの現存量の変化予測

【コラム】底質改善材（熱風乾燥カキ殻）による硫化水素吸着のメカニズム

カキ殻は、炭酸カルシウム (CaCO_3) が主成分であり、それを約 400°C で熱風乾燥すると、一部が酸化カルシウム (CaO) になる。その酸化カルシウムが水 (H_2O) と反応し、水酸化イオン (OH^-) ができ、それが周囲環境を弱アルカリ性にする。硫黄化合物の動態は、弱アルカリ性 (pH の上昇) になることによって、硫化水素 (H_2S) が硫化水素イオン (HS^-) に変化し、さらに酸素と反応して、化学平衡的に安定な硫酸イオン (SO_4^{2-}) になりやすくなる。それらが、カルシウムイオン (Ca^{2+}) と反応するため、カキ殻表面では硫酸カルシウム (CaSO_4) の形態として検出される。底質改善材（熱風乾燥カキ殻）を底質に鋤き込むことで、上記のような化学反応が起きて、硫化水素濃度が低下する。

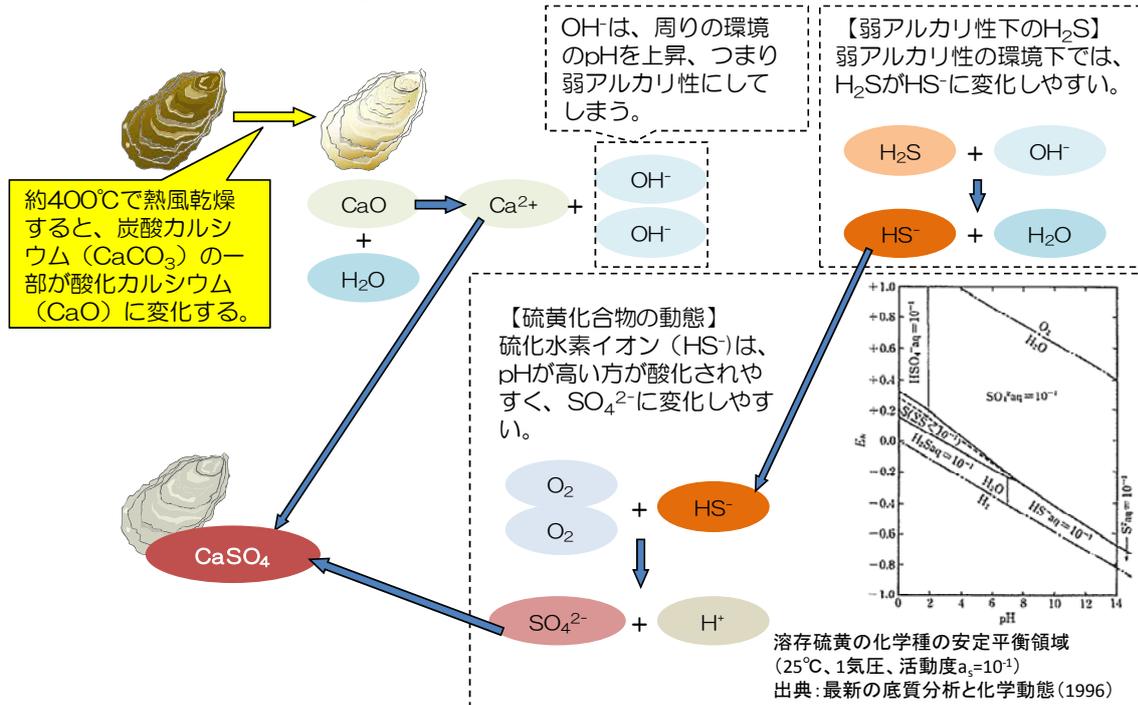


図 底質中の硫黄化合物の化学変化 (イメージ)

5.4.2 【方策】人工中層海底の設置（シミュレーション）

【人工中層海底】

- ✓ 人工中層海底による沈降物の捕捉状況によって、海底における硫化水素や底生生物の現存量に対する効果が異なる。
- ✓ 捕捉した沈降物が再懸濁し、一時的に海底への堆積量が増えると、底質環境は悪化する可能性がある。

(1) 方策の目的

三津湾では、局所的な底質の悪化要因の1つとして、養殖カキからの糞などの沈降粒子が考えられた。これを沈降させずに湾外に排出するために、カキ養殖筏の直下に人工中層海底を設置した場合を想定し、シミュレーションにより、その効果を検討した。

(2) 効果の検証方法

効果を検証するためのシミュレーションの設定条件は、以下のようにした（表 5.4-5）。

表 5.4-5 人工中層海底によるシミュレーションの設定条件

方法	カキ養殖筏直下に人工中層海底を設置		
効果	カキ養殖筏からの沈降之物（排糞）の捕捉		
設定方法	全てのカキ養殖筏（図 5.4-23）からの排糞量に下記の係数をかけて増減させる。		
係数		ケース①	ケース②
		冬季堆積量増加あり	冬季堆積量増加なし
	12～5月	1.29倍	1.00倍
	6、11月	0.94倍	0.94倍
	7～10月	0.906倍	0.906倍
期間	計算全期間で設定		
設定根拠	山本ら（2009）		

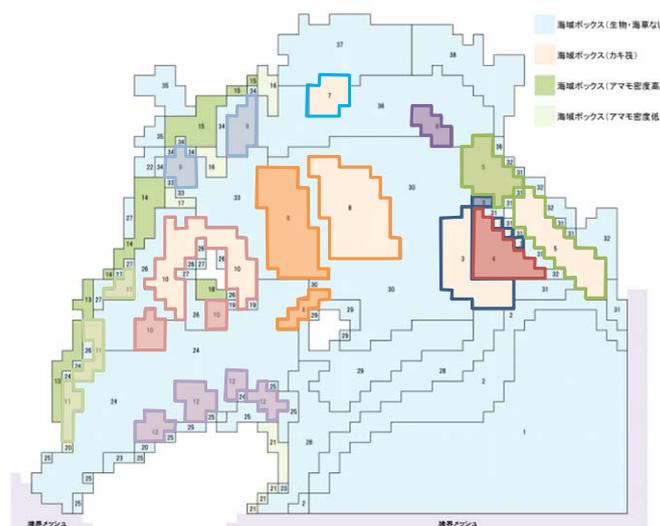


図 5.4-23 計算ボックスの位置

山本民次・笹田尚平・原口浩一（2009）人工中層海底によるカキ養殖場沈降物量の軽減能評価 - 設置後半年間の調査から - . 水産学会誌, 75, pp. 834-843.

(3) シミュレーションの結果

① 硫化水素

底泥間隙水中の硫化水素は、ケース①ではボックス7において8～12月に減少したが、その他の月には最大36%増加し、その他のボックスでは年中微増する傾向がみられた(図5.4-24、25)。一方、ケース②では全ボックスで減少し、計算終了時には約12～25%の減少となった。これらの結果は、ケース②では、沈降物が年中、捕捉されているのに対し、ケース①では12～5月に海底への沈降量が増加したため、硫化水素が発生しやすくなる5～7月に濃度が現況に比べて上昇しやすくなった。その結果、硫化水素の発生時期が現況に比べて速くなったといえる。

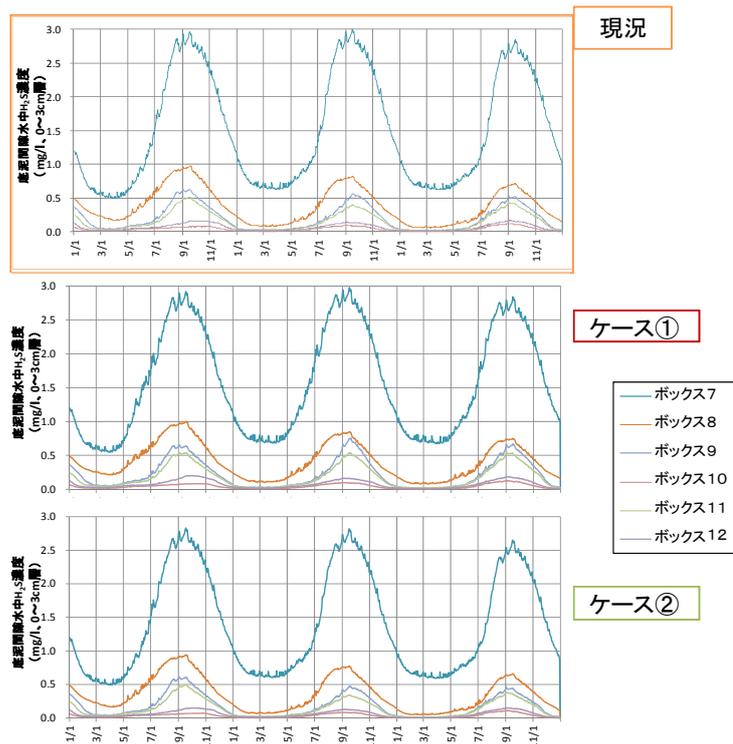


図 5.4-24 シミュレーションによる間隙水中の硫化水素濃度の予測

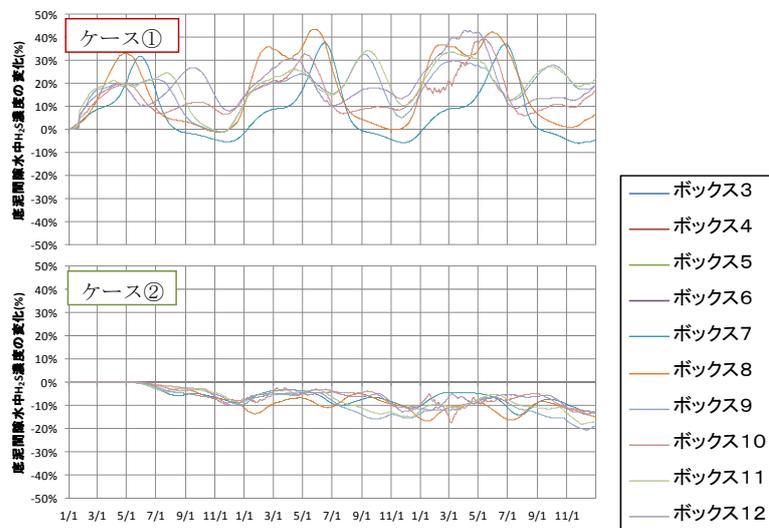


図 5.4-25 シミュレーションによる現況に対する硫化水素濃度の変化予測

② 底泥の栄養塩類

底泥の全窒素含有量は、ケース①、②ともにほとんど変化せず（図 5.4-26）、現況に対する計算終了時における変化率が1%未満であった（図 5.4-27）。

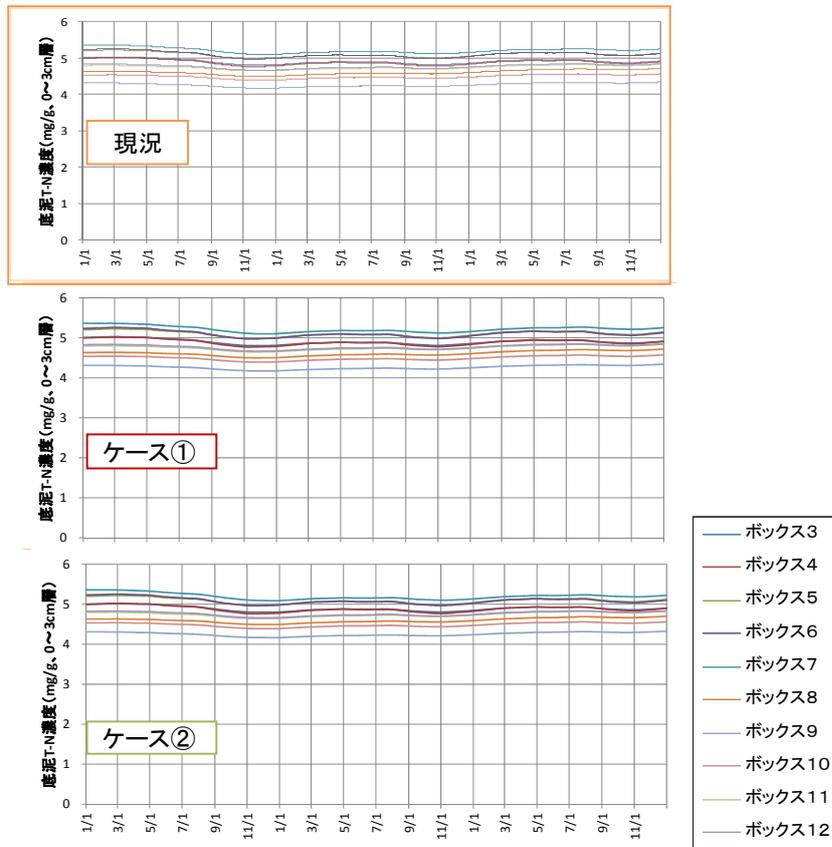


図 5.4-26 シミュレーションによる底泥の全窒素（T-N）含有量の予測

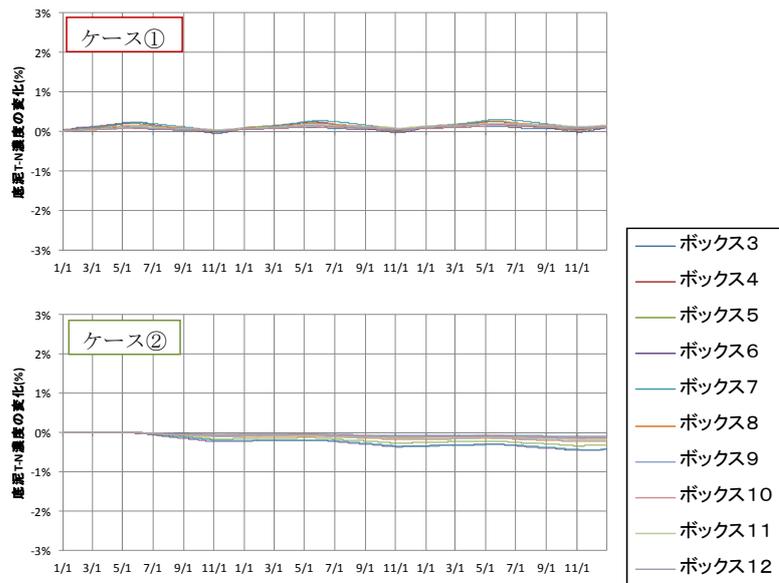


図 5.4-27 シミュレーションによる現況に対する全窒素（T-N）含有量の変化予測