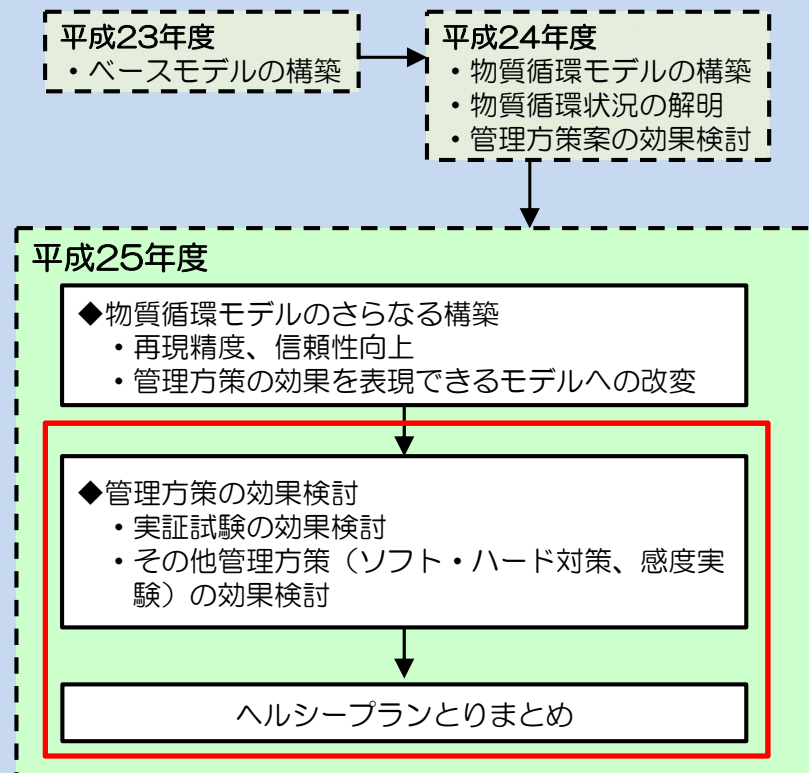


三津湾地域の物質収支モデルによる検討及び 三津湾地域ヘルシープラン(最終案)の概要

①三津湾の物質収支モデルによる検討

➤ 管理方策の効果検証結果



モデルによる検討ケース

- 三津湾地域検討委員会での検討事項に従って、底質改善及び栄養塩管理に対する管理方策の効果を検証した（ケース1～4）
- 感度実験として、施肥やアマモの有無による水質等への影響についても計算を行った（ケース5～7）

<管理方策>

ケース1：底質改善材(熱風乾燥カキ殻)の鋤き込み

ケース2：下水処理水の放流調整

ケース3：カキ養殖量の調整

ケース4：人工中層海底の設置

<感度実験>

ケース5：施肥

ケース6：アマモの有無による差

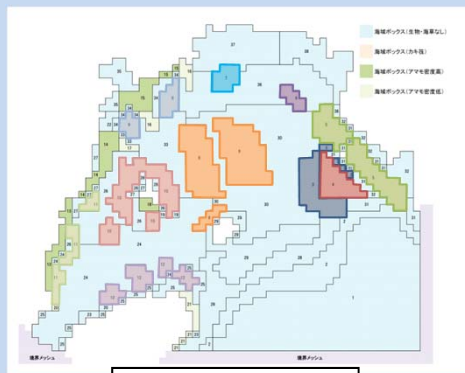
ケース7：カキ付着物の底質への負荷

ケース1：底質改善材（熱風乾燥カキ殻）の鋤き込み

- 底質改善材（熱風乾燥カキ殻）の鋤き込み
⇒設定：底質間隙水中のH₂Sの吸着効果

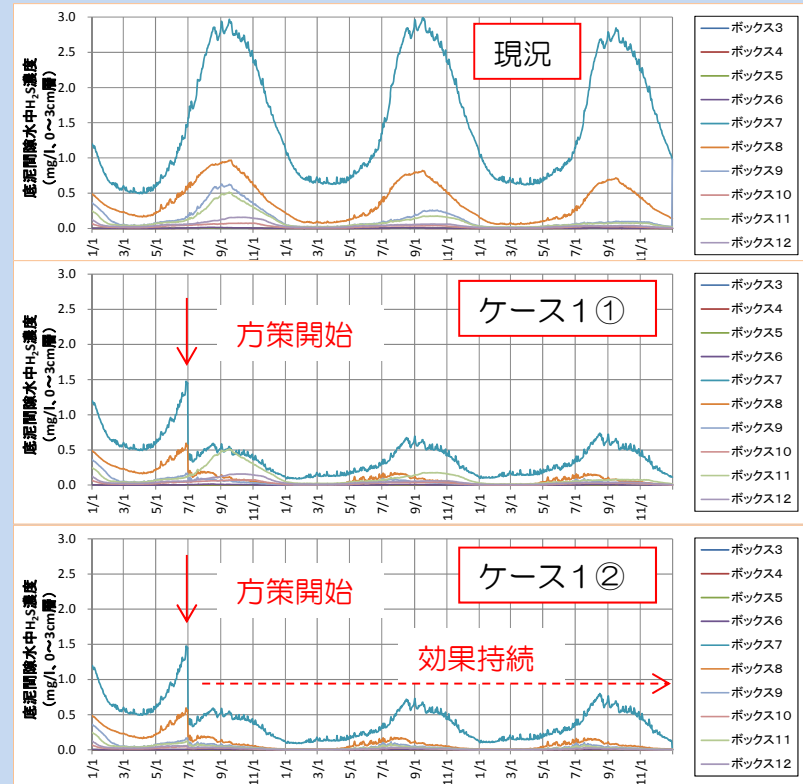
設定条件

方策	底質改善材（熱風乾燥カキ殻）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 et al. (2012)及びAsaoka et al. (2009)を 基に、底泥間隙水中の硫化水素が底質改善剤に よって毎日75.3%吸着され（モデル系外に排出）、 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	
	ケース1①	ボックス7～9（下図■, ■, ■ボックス）
	ケース1②	ボックス3～12 （全てのカキ殻、下図色付太枠）
期間	1年目7月1日に効果開始	
設定根拠	Yamamoto et al. (2012)、Asaoka et al. (2009)など	



ボックス位置図

底泥間隙水中のH₂S濃度



⇒硫化水素減少（夏季ボックス7:約80%減）
効果は約10年持続と概算

ケース1：底質改善材（熱風乾燥力キ殻）の鋤き込み

⇒結果（方策開始2.5年後）：

底質のT-N濃度…-1～1%程度増減

底質のT-P濃度…0～5%程度増

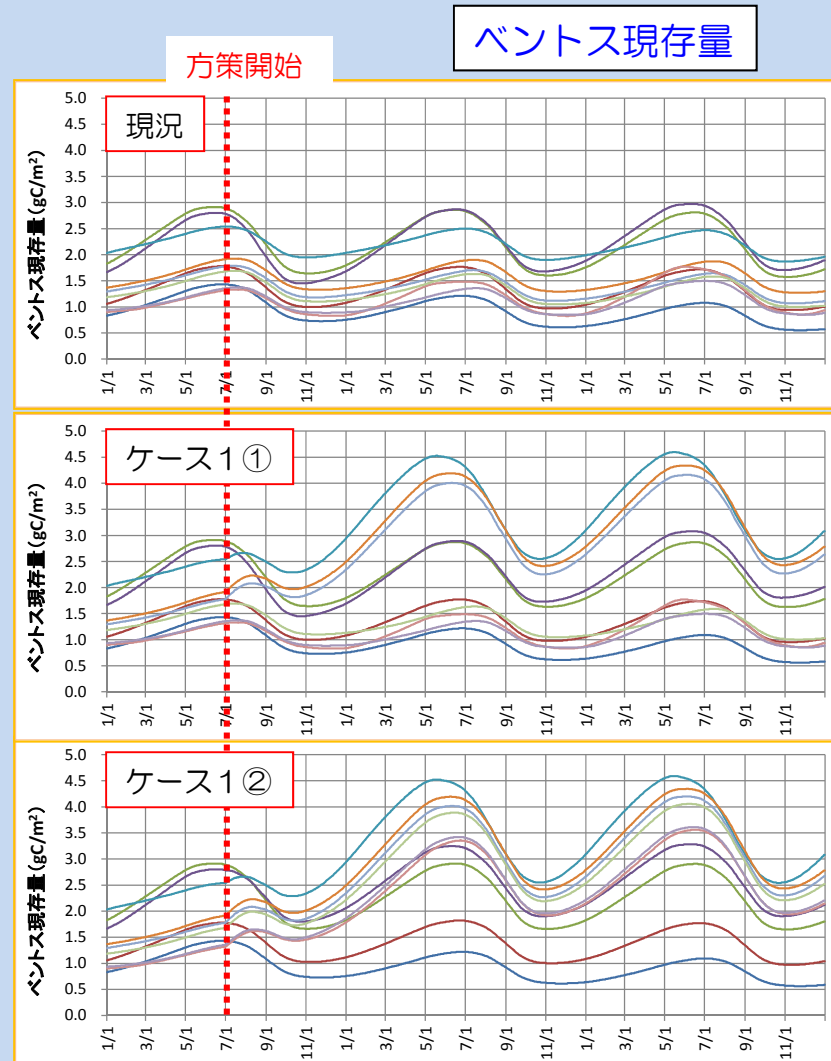
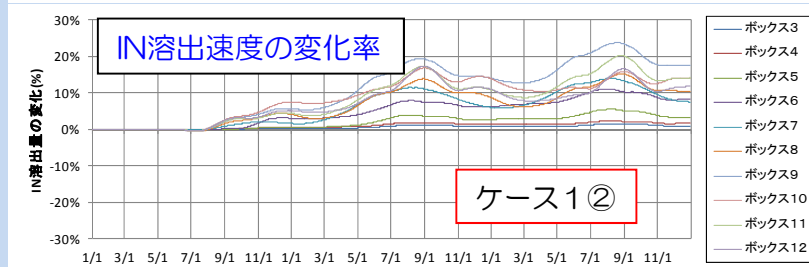
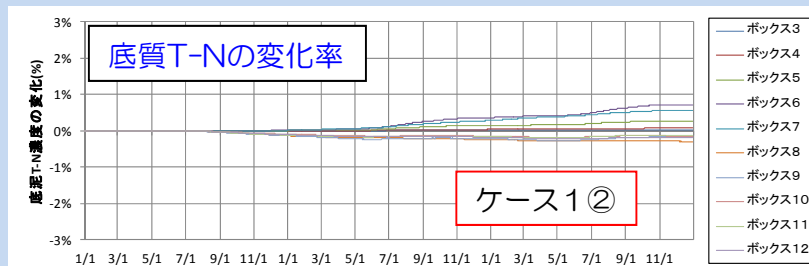
INの溶出速度… 0～20%程度増

ベントス現存量… ①約60～140%増

②約0～150%増

力キ現存量…0～13%程度増

湾奥で顕著

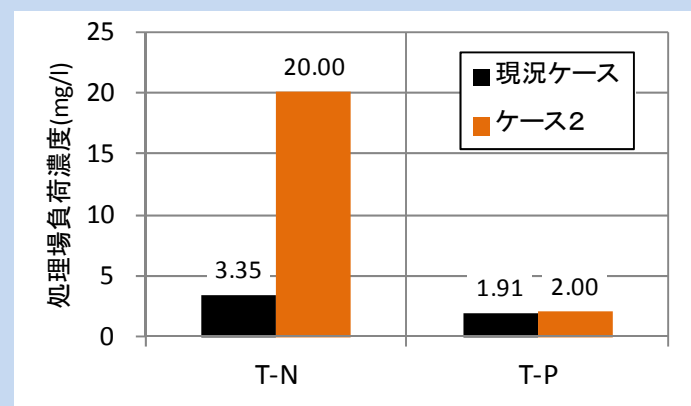


ケース2：下水処理水の放流調整

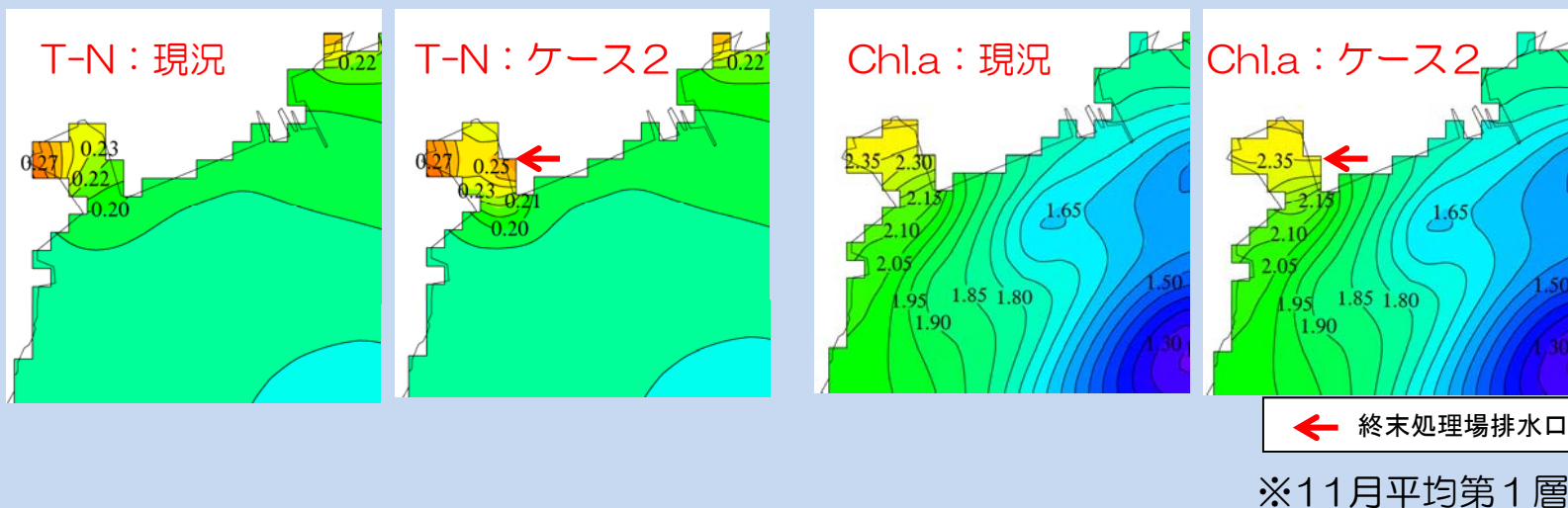
- 終末処理場から海域へ放流される下水処理水の濃度を変更
⇒設定：排水基準の上限値

設定条件

方策	下水処理水の放流調整
条件	下水処理水から海域へ放流される負荷の濃度を変更
設定方法	窒素及びりん濃度の負荷量を無機態窒素：20mg/L、無機態りん：2mg/Lとする。
期間	10月1日～11月30日に実施
設定根拠	負荷の濃度は、排水基準



⇒結果：放流口付近でのみT-N微増、湾全体には影響せず



ケース3：カキ養殖量の調整

・カキの初期養殖量を変更、影響を把握

⇒設定：現状の1.5～0.5倍に調整

⇒結果：

- 水質のChl-a濃度は1.50倍で湾中央部微減、0.50倍で湾奥微増
- 底質間隙水中H₂S濃度は、1.50倍で約12%増、0.50倍で約14%減
- カキ養殖量を減少させるほど個体あたりの概算成長量は高く、特に湾奥部で顕著。
- 湾奥では1年後のカキ現存量は変化小

方策	カキ養殖量の調整	
条件	カキの初期養殖量を増減させる。	
設定方法	カキの養殖量に以下の係数をかける。	
計算 ケース		係数
	ケース3①	1.50倍
	ケース3②	1.25倍
	ケース3③	0.75倍
	ケース3④	0.50倍
期間	全期間	

Chl-a濃度

ケース3①

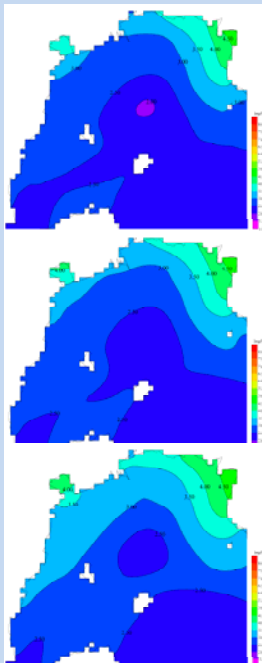
湾中央部で
約0.5 μg/L減

現況

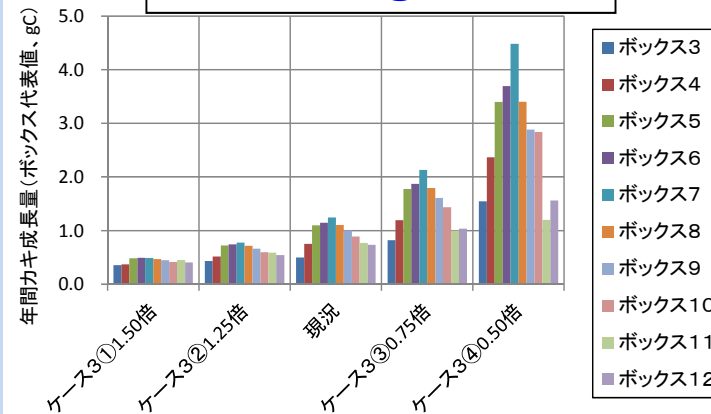
湾口…2 μg/L
湾奥…5 μg/L
(10月)

ケース3④

湾奥で
約0.5 μg/L増

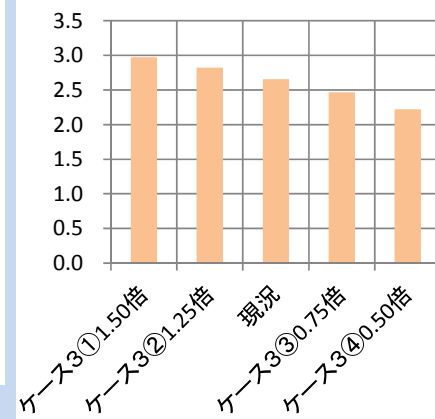


カキ成長量 (gC/個/年)



※本モデルは個体モデルでないため、身入りや個体重量はあくまでも概算値である。

H₂S濃度 (mg/l)

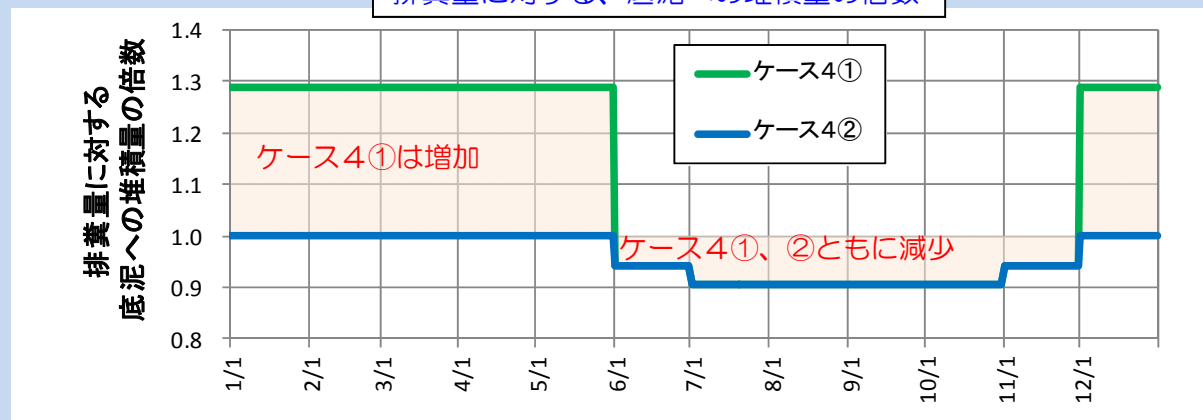


ケース4：人工中層海底の設置

- カキ筏の直下に中層海底を設置
⇒設定：カキの排糞量に対する、底泥への堆積量を2ケース設定

方策	人工中層海底の設置				
条件	カキ筏からの沈降有機物（排糞）の捕捉				
設定方法	カキ筏からの排糞量に下記の係数をかけて増減させる。				
計算ケース	冬季堆積量の増加	12～5月	6、11月	7～10月	
	ケース4①	あり	1.29倍	0.94倍	0.906倍
	ケース4②	なし	1.00倍	0.94倍	0.906倍
期間	計算全期間で設定				
設定根拠	山本ら（2009）				

排糞量に対する、底泥への堆積量の倍数

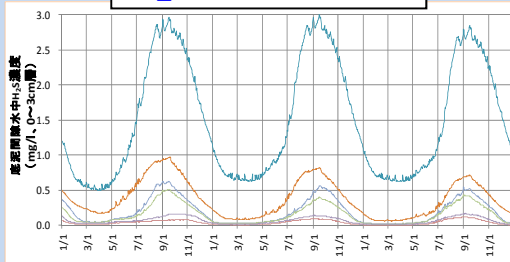


ケース4：人工中層海底の設置

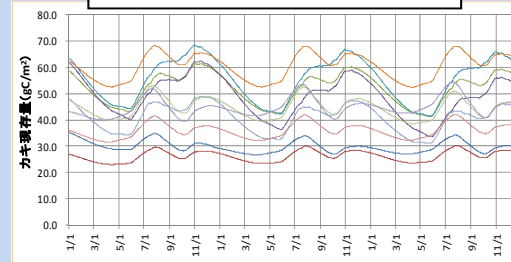
⇒結果：底泥間隙水中 H_2S 濃度、底泥中有機物量、カキ・ベントス現存量は
 ケース4①…堆積量の増す冬季に増加、夏季に解消
 ケース4②…堆積量が夏季に減少するのみのため、漸減

現況

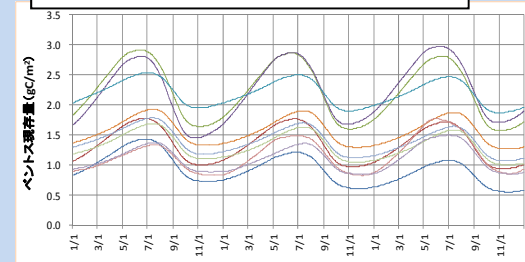
H_2S 濃度 (mg/l)



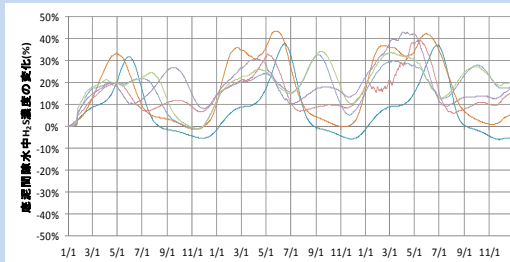
カキ現存量 (gC/m²)



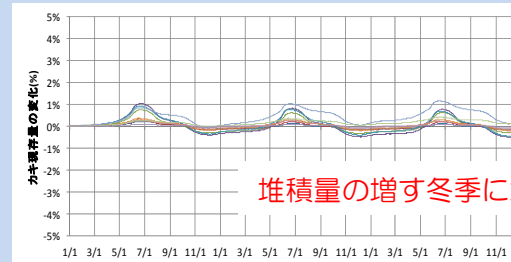
ベントス現存量 (gC/m²)



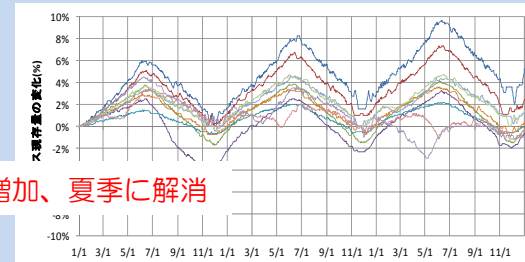
H_2S 濃度の変化率



カキ現存量の変化率

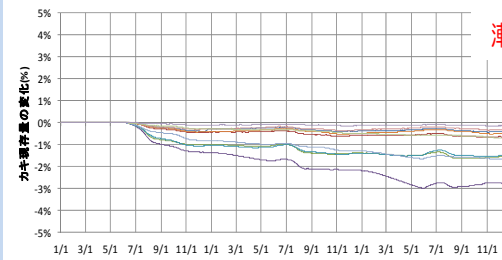
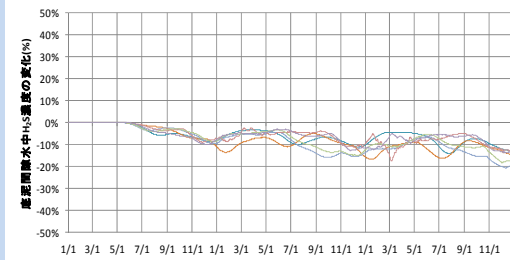


ベントス現存量の変化率

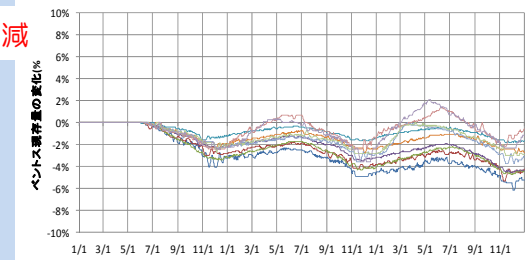


堆積量の増す冬季に増加、夏季に解消

ケース4①
 ケース4②



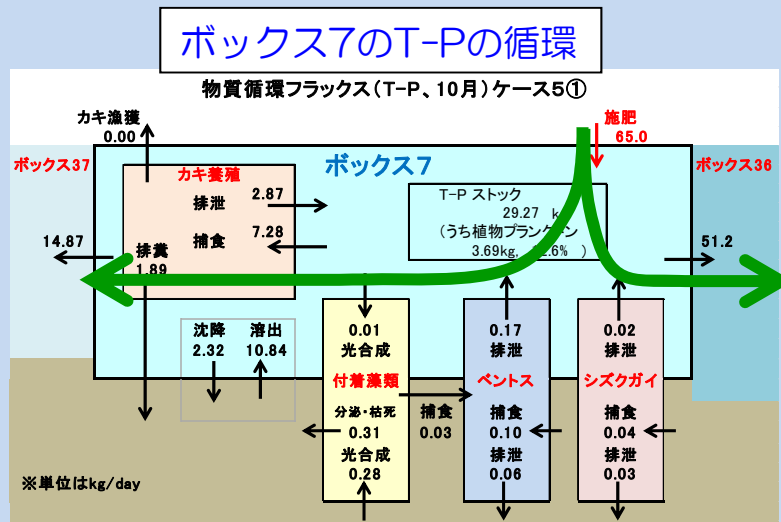
漸減



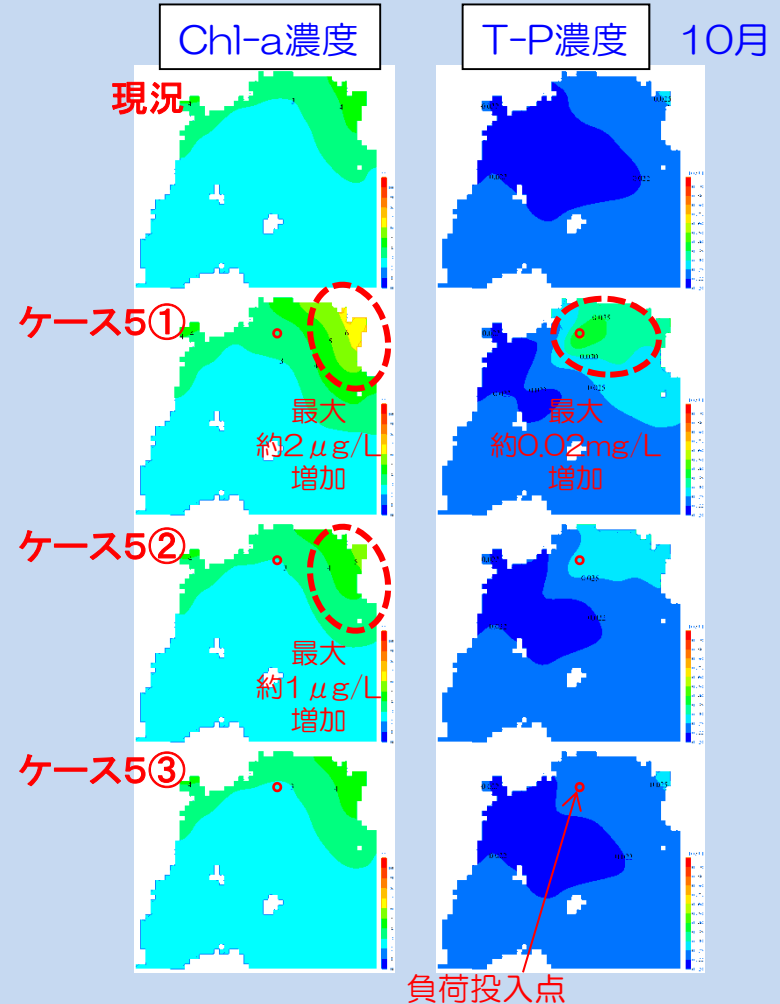
ケース5（感度実験）：施肥

- 湾奥および周辺海域の水質などに対する施肥の影響を把握する。
⇒設定：ボックス7（湾奥カキボックス）にIN、IPを直接負荷

感度実験	施肥		
条件	流速が遅い湾奥カキ筏ボックス、ボックス7に直接負荷する。		
計算ケース		無機態窒素 (IN) 負荷量 (kg/day)	無機態りん (IP) 負荷量 (kg/day)
	ケース5①	324	65
	ケース5②	97	19.5
	ケース5③	32	6.5
期間	10月1日～11月30日に実施		



施肥の99%が隣接ボックスへ流出

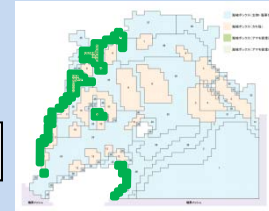


ケース6：アマモの有無による差

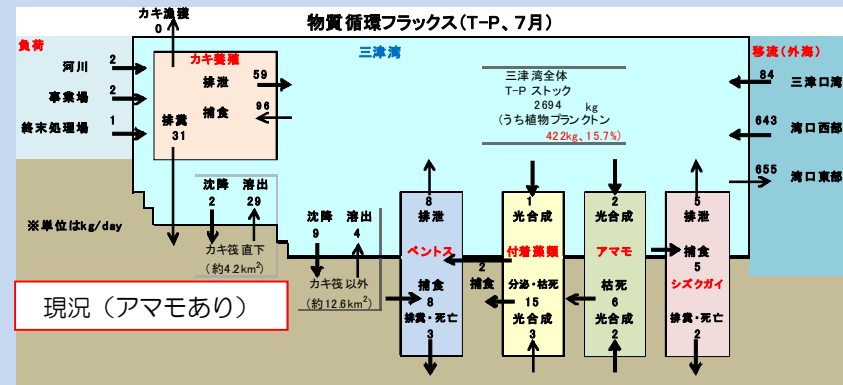
- アマモ場の有無による三津湾への影響を把握
- ⇒設定：アマモの現存量を0とし、増減を計算しない

感度実験	アマモの有無による差（感度実験）	
目的	三津湾におけるアマモ場の影響を確認する。	
設定方法	アマモの現存量を0とし、増減を計算しない	
計算ケース	現況（アマモあり）	計算ボックス ボックス13~18
	ケース6（アマモなし）	ボックス21

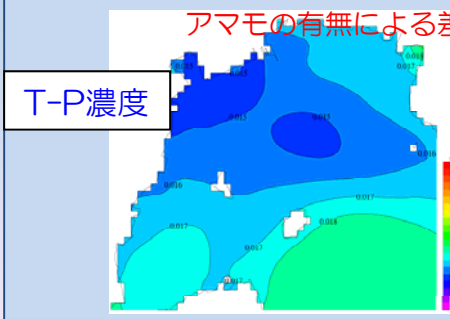
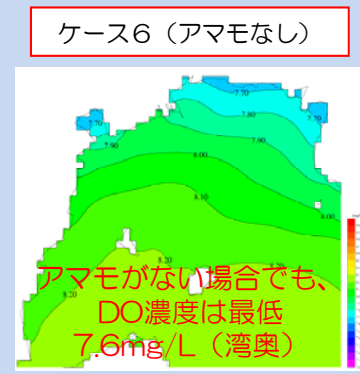
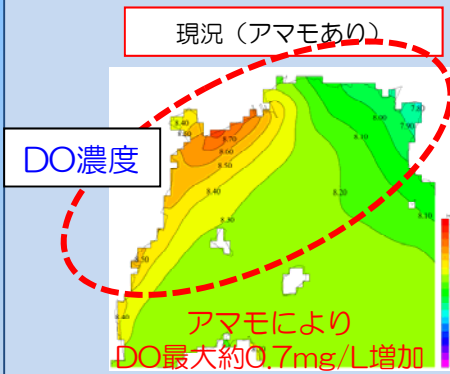
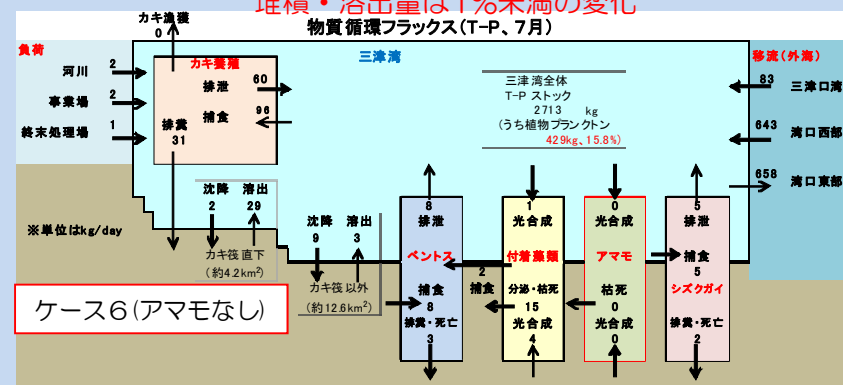
アマモ場の位置（緑枠）



物質循環の変化



アマモがある場合、湾全体の植物プランクトン量が約2%減、生物量、湾外への流出入量、底泥への堆積・溶出量は1%未満の変化



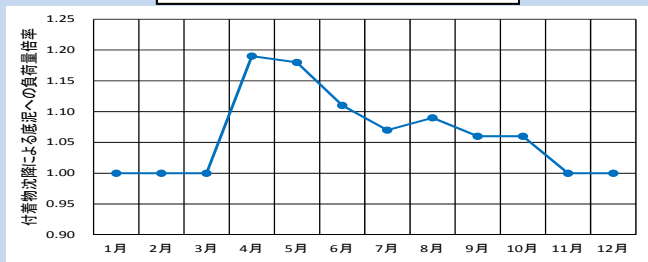
ケース7：カキ付着物の底質への負荷

- カキ殻の付着物が底質へ落下することによる影響の把握

⇒設定：川口ら(2011)に基づき、カキから底質への堆積量を係数倍

感度実験	カキ付着物の底質への負荷 (感度実験)	
目的	カキ殻の付着物が底質へ落下することによる底質への影響を把握する。	
設定方法	カキから底質への堆積量に係数をかける (係数は最大で4月に1.19倍)。	
計算		計算ボックス
ケース	ケース7	ボックス3~12
設定根拠	川口ら (2011)	

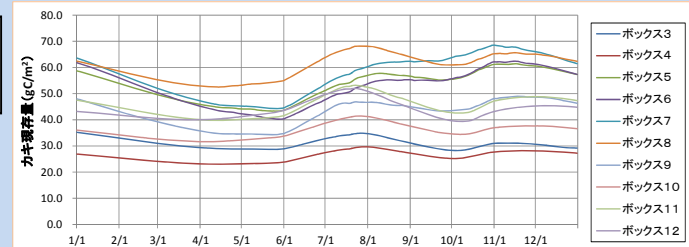
底泥への堆積量の倍率



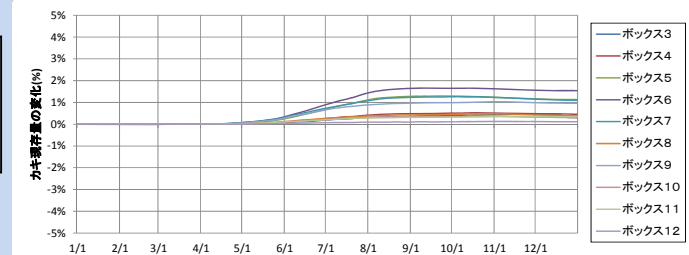
底質中のT-N、T-P濃度は1%未満の変化
 カキ現存量は最大2%増加
 ベントス現存量は最大4%増加

※付着物は系外から追加する設定になっており、
 有機物の総量は保存されていない。
 付着物の効果を正確に計算するには、
 付着物に関して成長・落下などを解くことが必要。

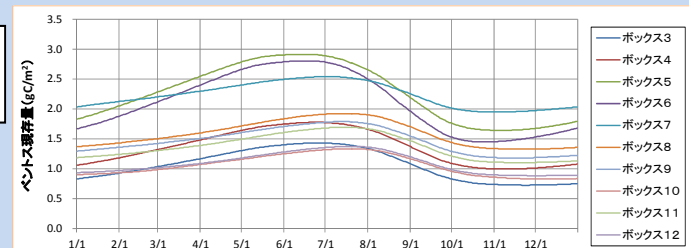
カキ現存量
現況



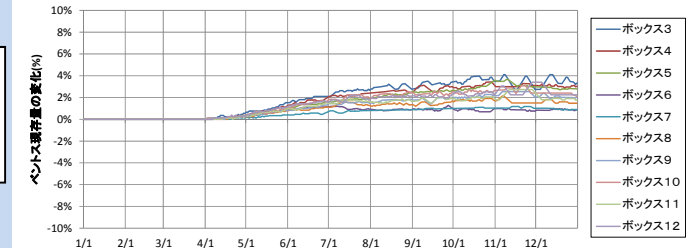
カキ現存量
変化率
ケース7



ベントス現存量
現況



ベントス現存量
変化率
ケース7



管理方策の比較

- 4つの管理方策について、構築したモデルを用いて効果を検証した。

方策	結果
底質改善材の 鋤き込み	<ul style="list-style-type: none">• 底質間隙水中のH_2S濃度減少、約10年効果持続との見積• カキ現存量への影響は小さく、底生生物は増加
下水処理水の 放流調整	<ul style="list-style-type: none">• 水質への影響は局所的
カキ養殖量の 調整	<ul style="list-style-type: none">• カキ養殖量を減少⇒身入り良化、H_2S減少
人工中層海底 の設置	<ul style="list-style-type: none">• 冬季の堆積物の捕捉状況によって効果が大きく異なる• 冬季の堆積物増加がない場合、H_2S濃度、生物現存量は漸減

三津湾では、“底質改善材の鋤き込み”が、「硫化水素の発生の低減⇒底生生物の増加⇒魚介類の蛸集⇒系外への移動・取り上げの増加」による有機物の系外への移出を増大させ、物質循環の健全化に最も効率的であると考えられる。
(三津湾地域検討委員会資料)

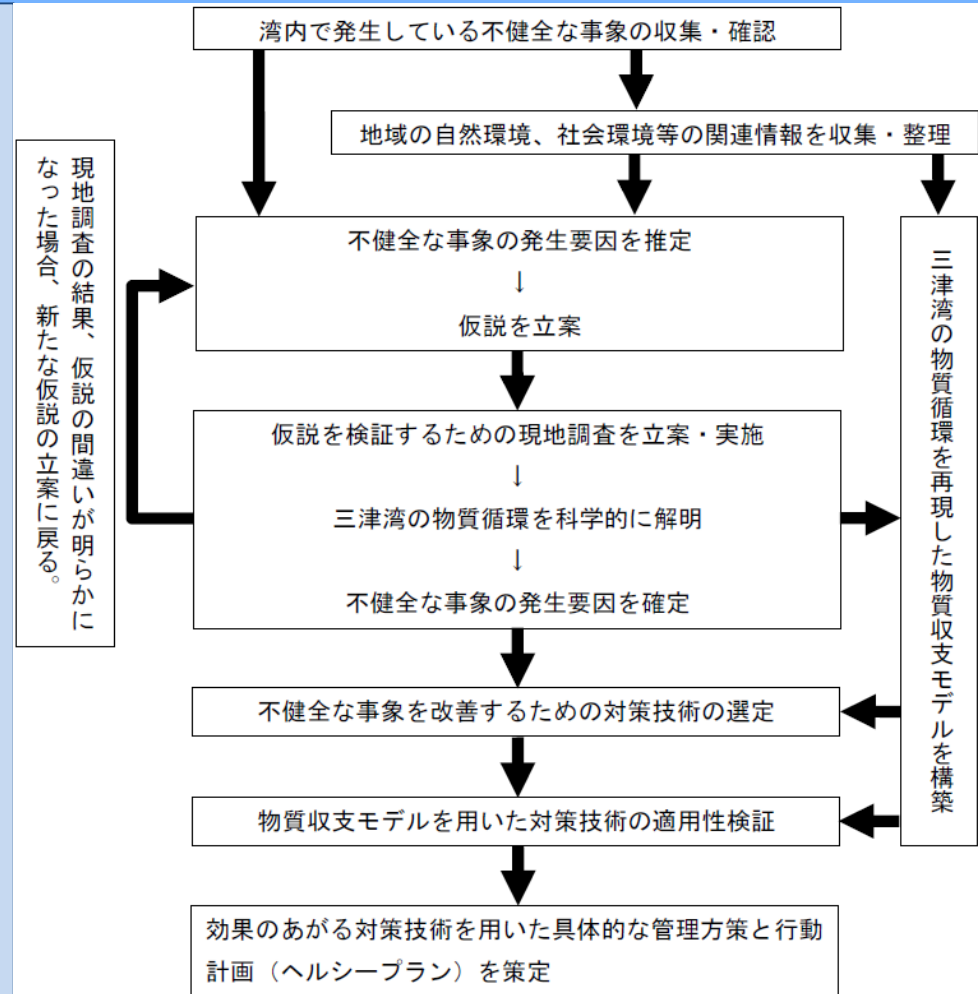
②三津湾地域ヘルシープラン（最終案）の概要

平成23年度から三津湾地域検討委員会において検討がなされ、2/21の地域検討委員会において、三津湾地域ヘルシープラン（最終案）が報告された

三津湾ヘルシープランの構成

1. ヘルシープランの策定について
(背景と目的、策定の流れ)
2. 三津湾地域の特性 (資料調査)
3. 三津湾地域における物質循環の現状と課題 (仮説立案、現地調査、インパクトレスポンスフローによる課題抽出、要因分析)
4. 三津湾地域の目指す姿
5. 管理方策策定のプロセス
(方策のリストアップ、実証試験・シミュレーションによる効果検証及び評価)
6. 物質循環健全化に向けた行動計画
(管理方策の実施内容、モニタリング計画、順応的管理計画)

資料編 【地域の物質循環に係る情報整理】



1.ヘルシープランの策定について

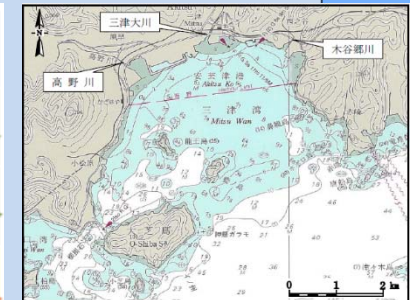
➤ 三津湾の位置づけ

- ✓ カキの小粒化、アサリの減少など、要因ははっきりしないものの、かつてはみられなかった不健全な事象が窺えるようになってきた。
- ✓ 深刻な障害は発生していないが、何らかの物質循環の不調に起因する不健全な事象が発生し始めている湾のモデル
- ✓ 類似した湾の物質循環解明の方法、管理方策立案の手引きとなるようにとりまとめ

2.三津湾地域の特性

➤ 既存資料、ヒアリング等より整理されている

事象		1950年代	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	現在
流域	人口の減少	緩やかに減少						
	下水道の整備						2007年3月稼働	
河川	水質・流量減少	流量、BOD、総窒素が緩やかに減少、総りんが增加						
海域(環境)	沿岸の整備	沿岸整備の推進						
	干拓	国営干拓事業の実施						
	カキ養殖の展開	1960年代にかけて急速に展開、以降、収穫量は概ね横ばい						
	水温上昇	周辺海域の海水温が緩やかに上昇						
	水質	目立った変化なし。ここ15年程度で総りんが僅かに増加						
海域(生物)	アサリの減少						20年ほど前に激減	
	漁獲量の減少	漁獲量は、底魚類を含め減少傾向。1990年代後半から緩やかに回復						
	アマモの繁茂						数年前から急増	

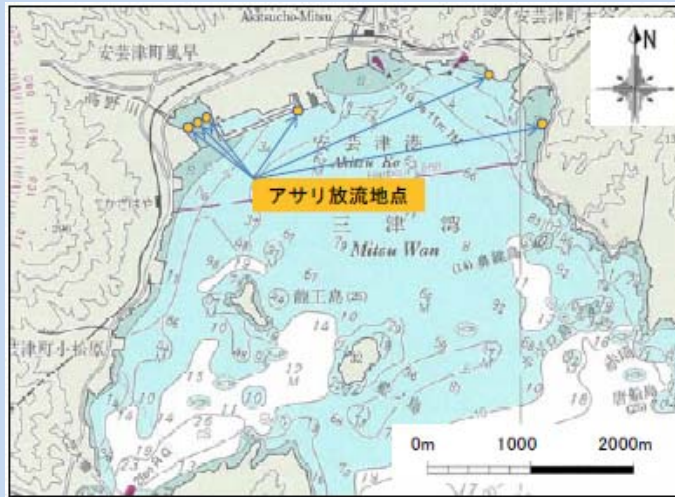
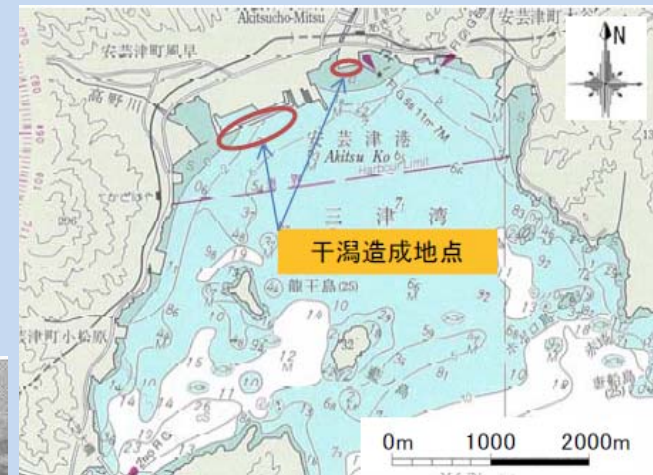


※破線は情報不足のため状況が不明な事象

2.三津湾地域の特性

➤ これまでの取組

- ✓ カキ残渣による干潟造成事業
- ✓ アサリの産地再生事業
- ✓ 漁場再生調査
- ✓ 海浜清掃

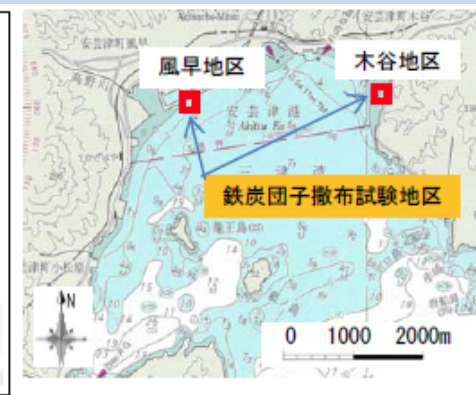


【鉄炭団子の概要】

▽風早地区に撒布
 名称：レトマリン(フリケット型)
 重量：約100g/個
 製造者：日の丸産業(株)



▽木谷地区に撒布
 名称：鉄炭タンゴ(豆炭型)
 重量：約100g/個
 製造者：(株)友鉄ラント

3.三津湾地域における物質循環の現状と課題

➤ ヒアリング時の不健全な事象

- ✓ カキの小粒化（成育不良）
- ✓ カキの斃死
- ✓ アサリの減少
- ✓ 魚介類の減少



以下の相反する2つの現象が想定された。

- ✓ 底質の悪化：富栄養海域でみられる現象
- ✓ 基礎生産力の低下：貧栄養海域でみられる現象

3.三津湾地域における物質循環の現状と課題

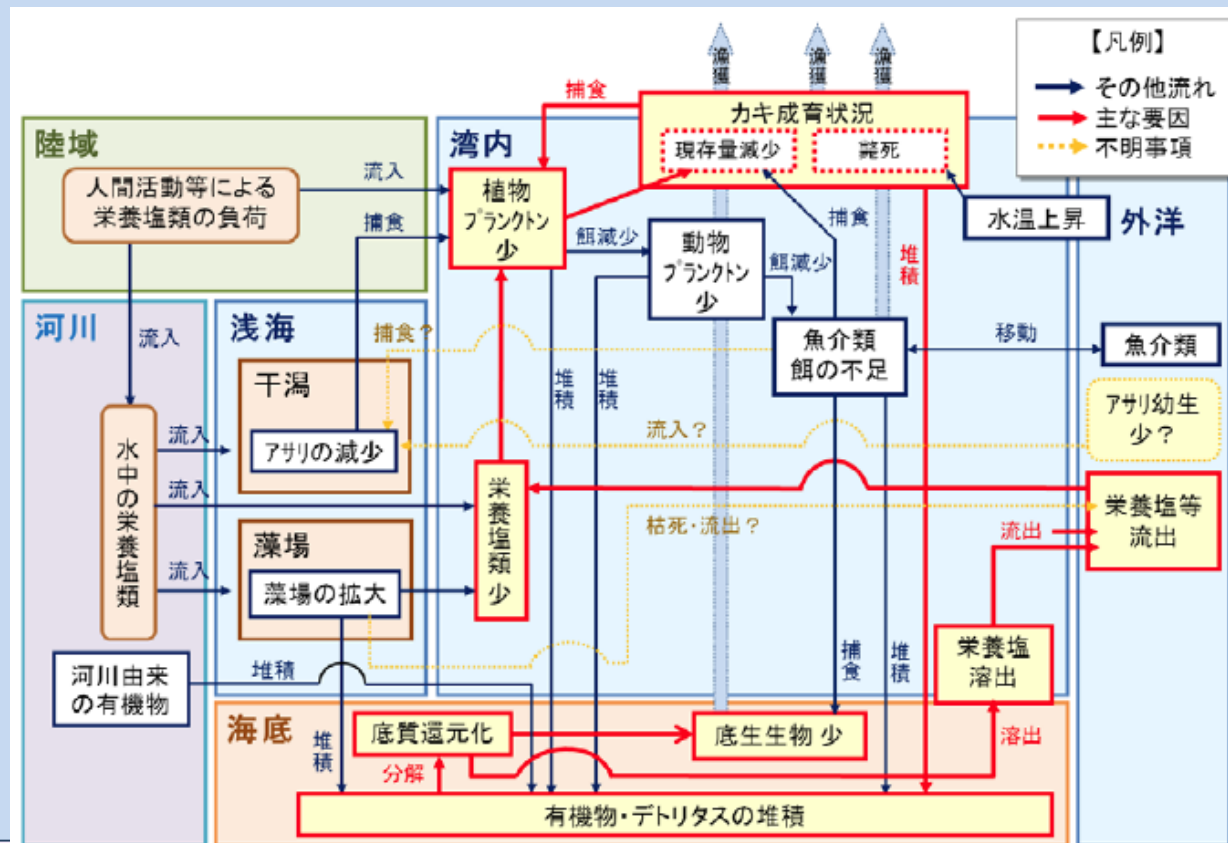
▶ 不健全な事象の要因に関する仮説

⇒仮説検証のための現地調査が実施された

不健全な事象	仮説
カキの小粒化（成育不良）	<ul style="list-style-type: none">▶ 餌となる植物プランクトン量（基礎生産力）が少ない<ul style="list-style-type: none">✓ 物質（栄養塩類及びプランクトン）の湾外への流出✓ 陸域及び底質からの物質の供給低下▶ 植物プランクトンの種組成が餌として不適當
カキの斃死	<ul style="list-style-type: none">▶ 貧酸素水塊の発生<ul style="list-style-type: none">✓ 底質のヘドロ化<ul style="list-style-type: none">⇒有機物の負荷（陸域及びカキ養殖筏からの負荷）の増加⇒底生生物の減少による浄化機能の低下▶ 食害魚による捕食
アサリの減少	<ul style="list-style-type: none">▶ 貧酸素水塊の発生
魚介類の減少	<ul style="list-style-type: none">▶ 貧酸素水塊の発生▶ 餌生物（動、植物プランクトン、底生生物）の減少

3.三津湾地域における物質循環の現状と課題

- 河川からの流入より湾外水の流入出の方が大きいいため、栄養塩類の濃度が低い
- 湾奥の一部海域では、底質の全硫化物などの濃度が高い
- シミュレーションの実施により、物質循環の状況把握



3.三津湾地域における物質循環の現状と課題

➤ 不健全な事象と主な要因を把握

不健全な事象	主な要因
カキの小粒化（成育不良）	<ul style="list-style-type: none">✓ 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	<ul style="list-style-type: none">✓ 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	<ul style="list-style-type: none">✓ 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	<ul style="list-style-type: none">✓ 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

➤ 望ましい海域像

【三津湾の環境】

- 湾外水の影響が大きく、海水交換の時間が短い。
- 貧酸素水塊などが確認されず、湾全体としては相対的に良好な環境である。
- 夏季でも底生生物の生息環境は良く、底生生物の底質浄化機能は維持されている。
- 一部の海域の底質で、硫化物などが高いことから、局所的に底質が悪化している。



【三津湾の海域利用】

- ほぼ湾全体にカキ養殖筏が配置されている。



共存が必要

【三津湾の望ましい海域像】

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

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

5. 管理方策策定のプロセス

➤ 管理方策のリストアップ

【底質改善対策】

- ✓ 覆砂、耕うん、底質改善材（熱風乾燥カキ殻）、人工中層海底、底生生物（ナマコなど）を用いた底質浄化

【栄養塩不足対策】

- ✓ 湾口部への構造物設置、カキ養殖量の調整、施肥、下水処理水の放流調整

【実証試験＋シミュレーションによる検証を行う方策】

- 底質改善剤の鋤き込み（底質改善剤＋耕耘）

【シミュレーションによる検証を行う方策】

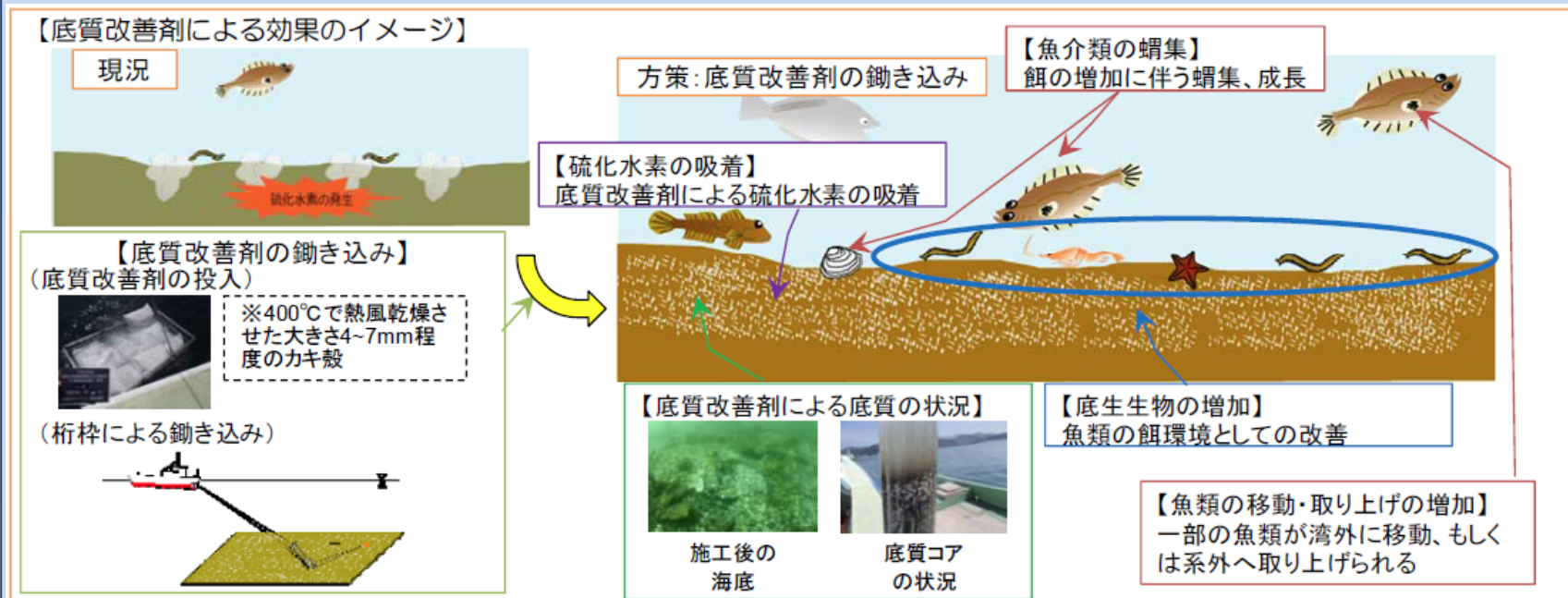
- 人工中層海底
- カキ養殖量の調整
- 下水処理水の放流調整

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



5. 管理方策策定のプロセス

- 『“底質改善剤の鋤き込み”による底質改善対策が、「硫化水素の吸収⇒底生生物の増加⇒魚介類の増加⇒系外への移動・取り上げの増加」を通じた物質循環の改善に最も効果があると言える』との結論となっている



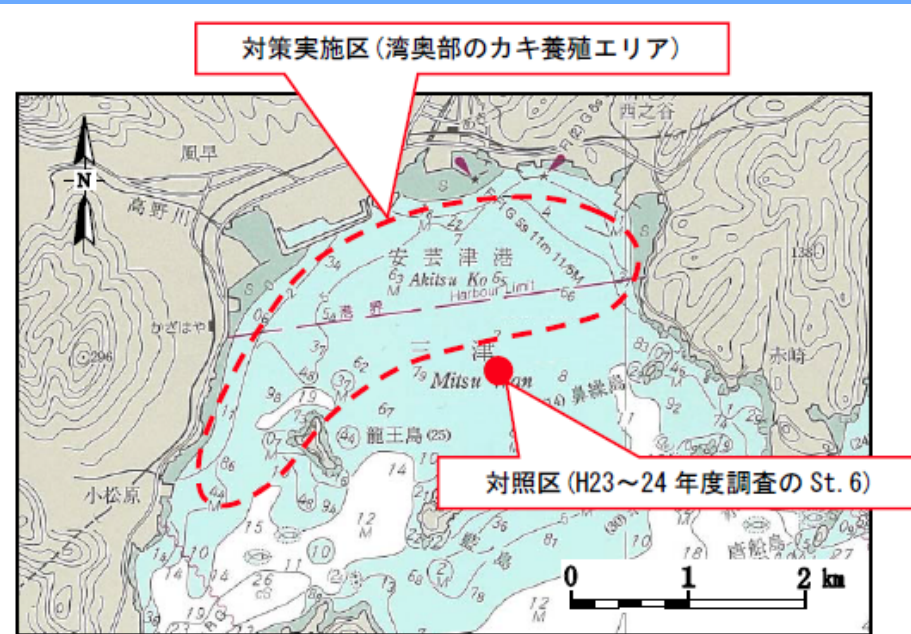
6. 物質循環健全化に向けた行動計画

【改善方策】

- 対策の実施位置、方法、規模、時期、頻度等 が検討されている

【モニタリング】

- モニタリング調査位置、項目、工程等 が検討されている



調査項目	分析、観測項目	実施方法	実施優先度	備考
底質調査 (検体数は 3検体/地点)	泥温	▽採泥器による採泥 ▽棒状温度計による测温	◎	基礎的な環境情報 同時に硫化水素周を記録
	硫化物(AVS)	▽採泥器による採泥 ▽検知管法による分析	◎	有害物質である硫化水素の 指標となる項目
	窒素、りん	▽採泥器による採泥 ▽室内分析	○	物質循環に関わる栄養塩類
	有機物(COD)、Chl. a	▽採泥器による採泥 ▽室内分析	○	有機汚濁の指標となる項目
底生生物調査	マクロベントス (1mm目のフルイ上に 残る小型の底生生物)	▽採泥器による採集 ▽種類数、個体数、湿重 量の分析	◎	底質改善に伴う生物の生息状 況を直接示す指標
水質調査	水温、塩分	▽採泥器やバケツによる 採水 ▽棒状温度計による测温 ▽比重計による塩分測定	◎	基礎的な環境情報 採水層は表層、中層、下層の 3層
	水温、塩分、DO、クロ ロフィル 等	▽多項目水質計による鉛 直分布の現地観測	○	調査時の環境条件把握(対策 実施区と対照区の違い等)

(注)実施優先度の◎は簡便な機器で実施可能な項目を、○はやや専門的な分析機器を必要とする項目を示す。

6. 物質循環健全化に向けた行動計画

- 三津湾地域の利用者、三津湾に親しむ一般市民、地元自治体、有識者など、地域の多様な主体が協調して、行動計画を継続的に実行していくことが必要
- 協働を実現するために、設置されるであろう勉強会でヘルシープランに沿った行動計画モニタリング調査に関する具体的な検討
- その結果に基づいて改善対策を実施し、モニタリング調査を実施

