

三津湾地域ヘルシープラン（案）

平成 26 年 3 月

海域の物質循環健全化計画

三津湾地域検討委員会

環 境 省

目次（案）（※構成理解のために細目まで記載）

1. ヘルシープランの策定について	1-1
1.1 背景と目的	1-1
1.2 策定の流れ	1-3
2. 三津湾地域の特性	2-1
2.1 情報の収集	2-1
2.2 情報の収集及び整理結果	2-3
2.2.1 地形的・地理的特徴	2-3
2.2.2 環境特性の変遷	2-4
2.2.3 これまで実施されてきた環境改善対策	2-6
(1) カキ残渣による干潟造成事業	2-6
(2) アサリの産地再生事業	2-6
(3) 漁場再生調査	2-7
(4) 海浜清掃の実施	2-8
3. 三津湾地域の課題と物質循環	3-1
3.1 物質循環に係わる不健全な事象とその原因に関する仮説	3-1
3.1.1 三津湾における不健全な事象	3-1
3.1.2 仮説の立案	3-2
3.2 物質循環の解明調査内容	3-3
3.3 物質循環の解明	3-5
3.3.1 流況	3-5
3.3.2 水質	3-6
(1) 貧酸素水塊の有無	3-6
(2) 栄養塩類	3-8
(3) Chl. a 及びフェオフィチン	3-13
(4) COD 及び TOC	3-15
(5) セジメントトラップ調査	3-16
3.3.3 底質	3-17
(1) 粒度組成	3-17
(2) COD 及び TOC	3-18
(3) T-N 及び T-P	3-19
(4) 硫化物	3-20
(5) 底質における酸素消費速度	3-21
(6) 底質からの栄養塩の溶出速度（T-P 及び T-P）	3-22

3.3.4	生態系	3-23
(1)	動、植物プランクトン	3-23
(2)	ベントス	3-24
(3)	食害魚	3-26
(4)	アマモの分布	3-27
(5)	付着藻類	3-28
3.4	健全化に向けての課題の抽出	3-29
3.4.1	インパクトレスポンスフロー	3-29
3.4.2	課題の要因分析 等	3-30
(1)	基礎生産力の低下	3-30
(2)	底質の悪化	3-35
(3)	その他の課題	3-37
4.	三津湾地域の目指す姿	4-1
4.1	三津湾の海域利用	4-1
4.2	三津湾の望ましい海域像	4-2
5.	管理方策策定のプロセス	5-1
5.1	健全化基本方針の決定	5-1
5.2	管理方策のリストアップ	5-1
5.3	管理方策の絞り込み	5-5
5.4	管理方策の効果検証 等	5-9
5.4.1	底質改善剤の働き込み（実証試験＋シミュレーションモデルによる計算）	5-10
(1)	方策の目的	5-10
(2)	方策の方法	5-10
(3)	実証試験及びシミュレーションモデルの結果	5-12
5.4.2	人工中層海底の設置（シミュレーションモデルによる計算）	5-16
(1)	方策の目的	5-16
(2)	方策の方法	5-16
(3)	シミュレーションモデルの結果	5-16
5.4.3	カキ養殖量の調整（シミュレーションモデルによる計算）	5-17
(1)	方策の目的	5-17
(2)	方策の方法	5-17
(3)	シミュレーションモデルの結果	5-17
5.4.4	下水処理水の放流調整（シミュレーションモデルによる計算）	5-18
(1)	方策の目的	5-18

(2) 方策の方法	5-18
(3) シミュレーションモデルの結果	5-19
5.4.5 施肥（シミュレーションモデルによる計算）	5-19
(1) 方策の目的	5-19
(2) 方策の方法	5-19
(3) シミュレーションモデルの結果	5-19
6. 物質循環健全化に向けた行動計画	6-1
6.1 行動計画の考え方	6-1
6.2 底質改善対策（底質改善剤の鋤き込み）実施に向けた行動計画	6-1
6.2.1 対策の実施内容	6-1
(1) 対策の実施位置	6-1
(2) 対策の実施方法（例）	6-3
(3) 対策の実施規模	6-3
(4) 対策の実施時期	6-3
6.2.2 モニタリング調査の内容	6-4
(1) モニタリング調査位置	6-4
(2) モニタリング項目	6-5
(3) モニタリング調査の工程	6-6
6.3 継続的な推進に向けて	6-7
6.3.1 順応的管理の適用	6-7
6.3.2 行動計画の実行に向けて	6-8

1. ヘルシープランの策定について

1.1 背景と目的

広島県東広島市地先に広がる三津湾は、養殖カキを初め多くの海の恵みを人間生活にもたらしている。窒素やりん等の栄養塩類は、形を変えながら陸域・海域を循環することで海の恵みを支えている。

栄養塩類の供給バランスや円滑な循環が保たれていれば、栄養塩類の循環経路である河川、干潟、海域等それぞれの状態が良好に保たれ、安定して海の恵みをもたらすことが可能になる。三津湾では、極端な物質循環の滞りは見られていないが、カキの小粒化、アサリの減少等、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。

それ故、三津湾は、物質循環の滞りによる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として、平成 23 年度から 25 年度にかけて“三津湾地域検討委員会（表 1.1-1）”を組織して、物質循環の解明、栄養塩類の円滑な循環を維持・達成するための管理方策（三津湾ヘルシープラン）の策定を進めてきた（表 1.1-2）。

すなわち、このヘルシープランは、三津湾だけでなく、類似した湾の物質循環解明、管理方策立案の手引きとなるようにとりまとめたものである。

表 1.1-1 三津湾地域検討委員会 委員名簿

委員長

氏名	所属（平成 25 年度所属を記載）
山本 民次 学識経験者	広島大学大学院 生物圏科学研究科 教授
氏名	所属（平成 25 年度所属を記載）
斉藤 英俊	広島大学大学院 生物圏科学研究科 准教授
高橋 暁	(独) 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 沿岸海洋研究グループ長
谷本 照己	(独) 産業技術総合研究所 地質情報研究部門 沿岸海洋研究グループ 主任研究員
樽谷 賢治	(独) 水産総合研究センター 西海区水産研究所 有明海・八代海漁場環境研究センター 環境保全グループ長

漁業協同組合関連

氏名	所属
柴 孝利	安芸津漁業協同組合 代表理事組合長
濱浪 則光	早田原漁業協同組合 代表理事組合長

行政関連

氏名	所属
安田 政男（平成 23 年度） "（平成 24 年度）	広島県 西部農林水産事務所 呉農林事務所 水産第二課 課長
大谷 政広（平成 25 年度）	広島県 西部農林水産事務所 水産第二課 課長
加藤 睦子（平成 23 年度） 川口 秀明（平成 24、25 年度）	広島県 環境県民局 環境保全課 参事
紙本 洋志（平成 23 年度） 大谷 政広（平成 24 年度） 竹本 広司（平成 25 年度）	広島県 農林水産局 水産課 参事
平田 靖（平成 23 年度） 若野 真（平成 24 年度） 西井 祥則（平成 25 年度）	広島県 総合技術研究所 水産海洋技術センター 技術支援部 主任研究員 副主任研究員
伊豫 浩司（平成 23、24 年度） 柳井 義正（平成 25 年度）	広島県 西部東厚生環境事務所 環境管理課 課長
竹井 文昭（平成 23、24 年度） 西村 克也（平成 25 年度）	東広島市 生活環境部 環境対策課長
林 芳和（平成 23、24 年度） 山本 辰也（平成 25 年度）	東広島市 産業部次長 兼 農林水産課長

表 1.1-2 三津湾地域検討委員会の開催状況

平成23年度

開催日		主な検討項目
第1回	平成23年12月1日	(1) 海域の物質循環健全化について (2) 地域検討委員会の進め方について (3) 地域の物質循環に係る情報整理について (4) 平成23年度現地調査について
第2回	平成24年1月27日	(1) 地域の物質循環に係る情報整理について (2) 秋季現地調査の結果について (3) 物質循環バランス向上対策検討について
第3回	平成24年3月2日	(1) 冬季現地調査の結果について (2) 三津湾の現況環境について (3) 平成24年度の実施内容について (4) 物質収支モデルの構築状況について

平成24年度

開催日		主な検討項目
第1回	平成24年6月29日	(1) 全体工程と平成24年度検討スケジュールについて (2) 平成24年度現地調査について (3) 春季調査の実施状況について (4) 物質収支モデルの構築状況について
第2回	平成24年12月3日	(1) 地域の物質循環に係る情報整理について (2) 現地調査結果による三津湾 (3) 物質循環バランス向上対策検討(案)について
第3回	平成25年2月26日	(1) 物質循環バランス向上対策検討(案)について (2) 物質循環バランス対策(案)のシミュレーション結果について (3) 平成25年度調査計画(実証試験計画(案))について

平成25年度

開催日		主な検討項目
第1回	平成25年7月12日	(1) 全体工程と平成25年度検討スケジュールについて (2) 平成25年度実証試験について (3) 三津湾ヘルシープラン(仮称)の作成について
第2回	平成25年11月28日	(1) 平成25年度実証試験結果について (2) 管理方策の効果検証結果について (3) 三津湾ヘルシープラン(仮称)素案について
第3回		(1) (2) (3)

1.2 策定の流れ

三津湾では、これまで物質循環に着目した調査が実施されていなかったため、湾内で発生している不健全な事象が物質循環の滞りに起因するものかどうかを直ちに判定することができなかった。そこで、不健全な事象の要因について仮説を設け、その当否を判定するための現地調査を計画・実施することにより三津湾における物質循環の現況を明らかにすることとした。

このような手順で科学的に解明された物質循環について、指摘されてきた問題点を検討し、その改善を図るための対策を立案し、その効果を検証するための実証試験を経て「三津湾ヘルシープラン」を策定した。

以上の手順を要約すると、図 1.2-1 のようになる。

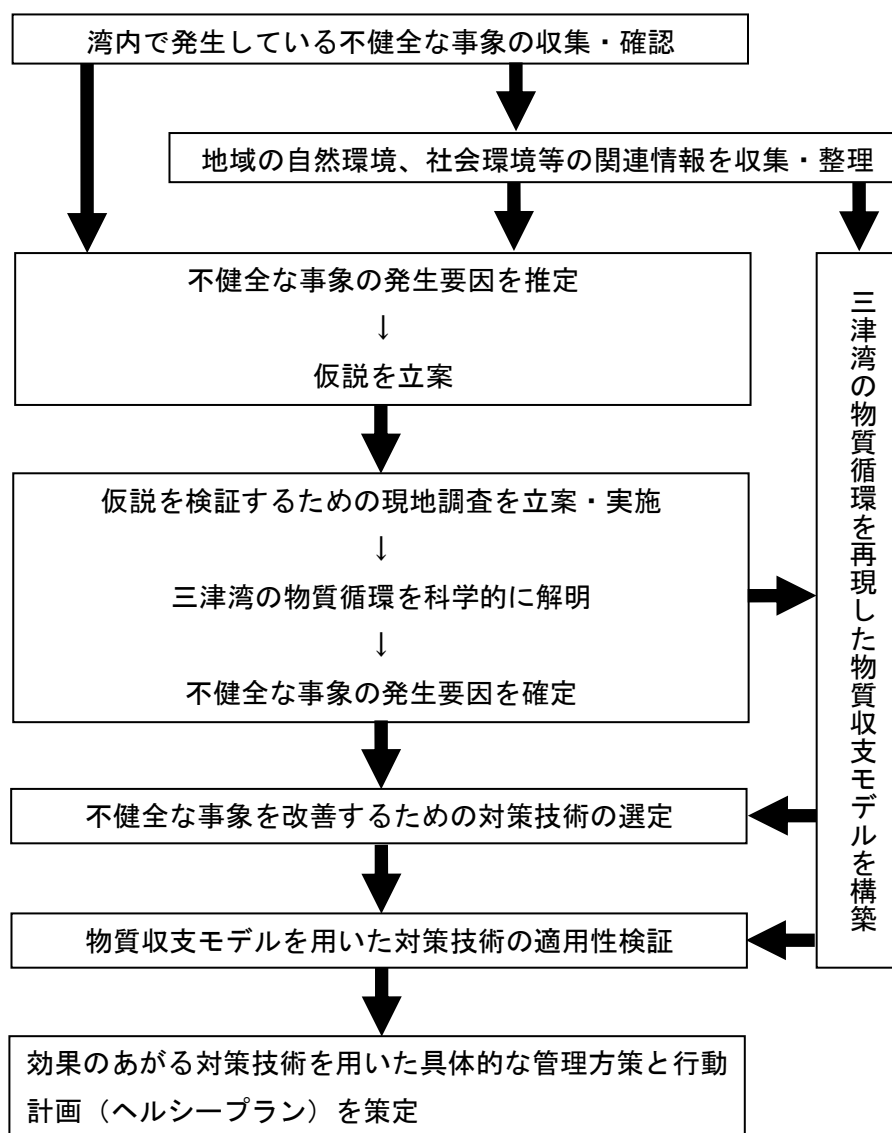


図 1.2-1 三津湾ヘルシープラン策定の流れ

2. 三津湾地域の特性

2.1 情報の収集

物質循環に関する基本情報として、三津湾地域における自然条件と社会条件について、過去からの変遷も含めて資料を収集し、情報を整理した。

主な収集資料の一覧は表 2.1-1 のとおりであり、その内容と整理した情報は巻末資料編に掲載した。

表 2.1-1(1) 物質循環に関する主な収集資料

No.	項目	内容	収集資料	備考
1	ア. 地理的・地形的特徴	地形	国土地理院 各種地形図	
2			海上保安庁作成海図	W141安芸灘及付近
3			深淺測量結果	
3		航空写真	国土情報ウェアリングシステム 国土交通省HP	1. 縮尺30000,1枚 (2002) 2. 縮尺40000,6枚 (1964、1968、1977、1977、2000) 3. 縮尺40000以上,4枚 (1947、1948、1948、1948) 4. 全域は映っていない写真 多数 (カラー含む) http://airphoto.gis.go.jp/aplis/Aplis.jsp
4			その他航空写真	
5			地形的特徴	自然環境保全基礎調査 (海岸調査)
6	海岸線の変遷			
7	イ. 周辺地域 (集水域) の特徴	地形	国土地理院 各種地形図	ア. と共通。
8			航空写真	国土情報ウェアリングシステム 国土交通省HP
9		人口	統計データ (人口)	統計でみる東広島(国勢調査1920～・住民基本台帳2004～) http://www.city.higashihiroshima.hiroshima.jp/site/33/ ※注釈がないものは合併前の数値であり、県統計年鑑で補完。 広島県統計年鑑(市町別、国勢調査結果、S22～) http://toukei.pref.hiroshima.lg.jp/Folder11/Folder1101/File110102.html
10		産業	統計データ (製造品出荷額)	統計でみる東広島(製造品出荷額1974～) http://www.city.higashihiroshima.hiroshima.jp/site/33/ ※注釈がないものは合併前の数値であり、県統計年鑑で補完。 広島県統計年鑑(市町別、国勢調査結果、S22～) http://toukei.pref.hiroshima.lg.jp/Folder11/Folder1101/File110102.html
11		土地利用	統計データ	東広島市資料
12		汚水処理状況	下水道普及率の推移 (処理区域内人口)	東広島市下水道関連部局
13	下水道接続率の推移			東広島市下水道関連部局
14	し尿処理実績の推移			東広島市廃棄物対策課
15	下水道計画 (処理区域、計画人口)			東広島市下水道関連部局 (東広島市公共下水道)
16	気象		気温、降水量、日照 (過去30年程度)	計算対象年の選定に使用
17	ウ. 海城、周辺地域の環境関係の 指定状況	自然保護区域	環境省、広島県HP	
18		水質汚濁に基づく環境類型等	広島県環境白書	
19		排水規制の指定状況	広島県環境白書 広島県総量削減計画 広島県HP	
21	エ. 海城、周辺地域における 関連する計画、地域指定	総合計画等	広島沿岸海岸保全基本計画	http://www.pref.hiroshima.lg.jp/category/1171499973445/index.html
22			広島県都市計画区域マスタープラン (安芸津都市計画区域)	http://www.pref.hiroshima.lg.jp/www/contents/1300327630916/files/3-11.pdf
23			漁業権図	
24		環境計画	広島県環境基本計画 平成23年3月	http://www.pref.hiroshima.lg.jp/eco/b/b2/plan22/data/11_zentai.pdf
25	オ. 海城の環境保全に関する取り組み	海城の環境保全に関する取り組み	広島沿岸海岸保全基本計画	No. 21と共通。
26	カ. 海の健康診断の結果	最新の診断結果	平成20年度全国閉鎖性海湾の海の健康診断調査報告書、海洋政策研究財団、2009年	

表 2.1-1(2) 物質循環に関する主な収集資料

No.	項目	内容	収集資料	備考	
27	キ. 物質（栄養塩類）循環の解析に必要な情報	流入河川の流量	広島県環境保全課資料 広島県ホームページ	二級河川（高野川、三津大川、木谷郷川） http://www.pref.hiroshima.lg.jp/eco/d/dat/water/waterdat.htm より流量データ入手（H13～H22）	
28		海域（外海域を含む）の水温・塩分	広島県環境保全課資料 HP公開の公共用水域水質測定結果 現地調査	公共用水（安芸津・安浦地先3、4、6）	
29		海域（外海域を含む）の流況	海流データ 現地調査		
30		干潟の存在状況	第3回、第4回自然環境保全基礎調査、 環境省 海図、航空写真	航空写真と海図よりトレース	
31		藻場の存在状況	第3回、第4回自然環境保全基礎調査、 環境省		
32		流入河川の水質（栄養塩類）	公共用水域調査結果（流入河川） 広島県環境保全課資料 現地調査	公共用水（高野川、三津大川、木谷郷川）	
33		湾内の水質（栄養塩類）	公共用水域調査結果（湾内） 広島県環境保全課資料 現地調査	公共用水（安芸津・安浦地先3、4、6）	
34		水質（溶存酸素）	公共用水域水質測定結果 現地調査	公共用水（安芸津・安浦地先3、4、6） 現地調査	
35		陸域発生負荷源：事業場排水等（排水量、水質）	排水量及び水質 （水質汚濁防止法の特定事業場／公害防止条例に規定する特定施設）	東広島市資料	
36		ク. 物質（栄養塩類）循環の解析に必要な情報	底質（有機物量）	既往調査結果（東広島市） 現地調査	鉄炭団子関連調査
37			底質（硫化物量）	現地調査	
38			底質（粒度組成等）	現地調査	
39			底生生物	既往調査結果（東広島市） 現地調査	鉄炭団子関連調査
40			プランクトン	現地調査	現地調査
41	魚介類		現地調査	現地調査	
42	栄養塩類の沈降・溶出速度		現地調査	溶出試験	
43	酸素消費速度		現地調査	溶出試験	
44	沈降粒子の物質		現地調査	現地調査	
45	生物による取り込み速度		論文・既往調査報告等		
46	ク. 生態系に関する情報	No39～No41の項目	—		
47	ケ. 漁業・養殖業関連情報	主要養殖種の生産高	広島農林水産統計年報		
48		主要漁獲種の漁獲量	広島農林水産統計年報 No. 41		
49		養殖場の分布	航空写真 海図 広島農林水産統計年報 海面漁業生産統計調査結果		
50	コ. 障害に関する具体的情報	赤潮、貧酸素等	「瀬戸内海の赤潮（瀬戸内海漁業調整事務所）」 「赤潮貝毒プランクトン観測結果（広島県立総合技術研究所）」		
51		低酸素水塊	公共用水域水質測定結果（安芸津・安浦地先3）	公共用水（安芸津・安浦地先3、4、6） 現地調査	
52		その他の事象	広島県、東広島市等の行政主体、漁業協同組合及び研究者への情報収集		
53	サ. 親水利用に関する情報	水浴場の分布	広島県	広島県ホームページ（水浴場水質） http://www.pref.hiroshima.lg.jp/eco/e/e4/kaisui/23tyousa/index-mae.html	
54		親水施設	広島沿岸海岸保全基本計画	No. 21と共通。	
55		その他の利用	広島沿岸海岸保全基本計画	No. 21と共通。	
56	シ. その他関連する事項	その他、必要な情報に応じた既往資料調査	広島県		

2.2 情報の収集及び整理の結果

2.2.1 地形的・地理的特徴

三津湾の地形的、地理的状况は、図 2.2-1 に示されている。

三津湾は瀬戸内海の中央部で南に開口する内湾であり、奈良時代から海運の拠点として利用されてきた。周辺地域は、江戸時代には米の集散地となり、現在では酒造地としても知られるようになった。

地形的特徴は、次のように要約される。すなわち、湾口から湾奥の距離は約 3.4km であるのに対して、幅約 5.6km の広い湾口を有する開放的な湾である。平均水深は約 10m で、海底は湾奥から湾口にかけて徐々に深くなり、周囲よりも深い窪地は龍王島の北部と鼻繰島の南部に限られ、大部分は単純な緩傾斜である。

湾の北周は山々に囲まれており、標高 400~500m の山が海岸線近くに迫っている。二級河川である高野川、三津大川及び木谷郷川のほか、いくつかの中小河川が流入しており、湾奥の安芸津港周辺から西側の沿岸部及び上述の河川周辺の平野部に市街地や集落が多数存在する。

湾内には、地方港湾である安芸津港、第 2 種漁港である大芝北漁港があり、また、湾の広域でカキ養殖が行われており、一部では真珠養殖も行われている。

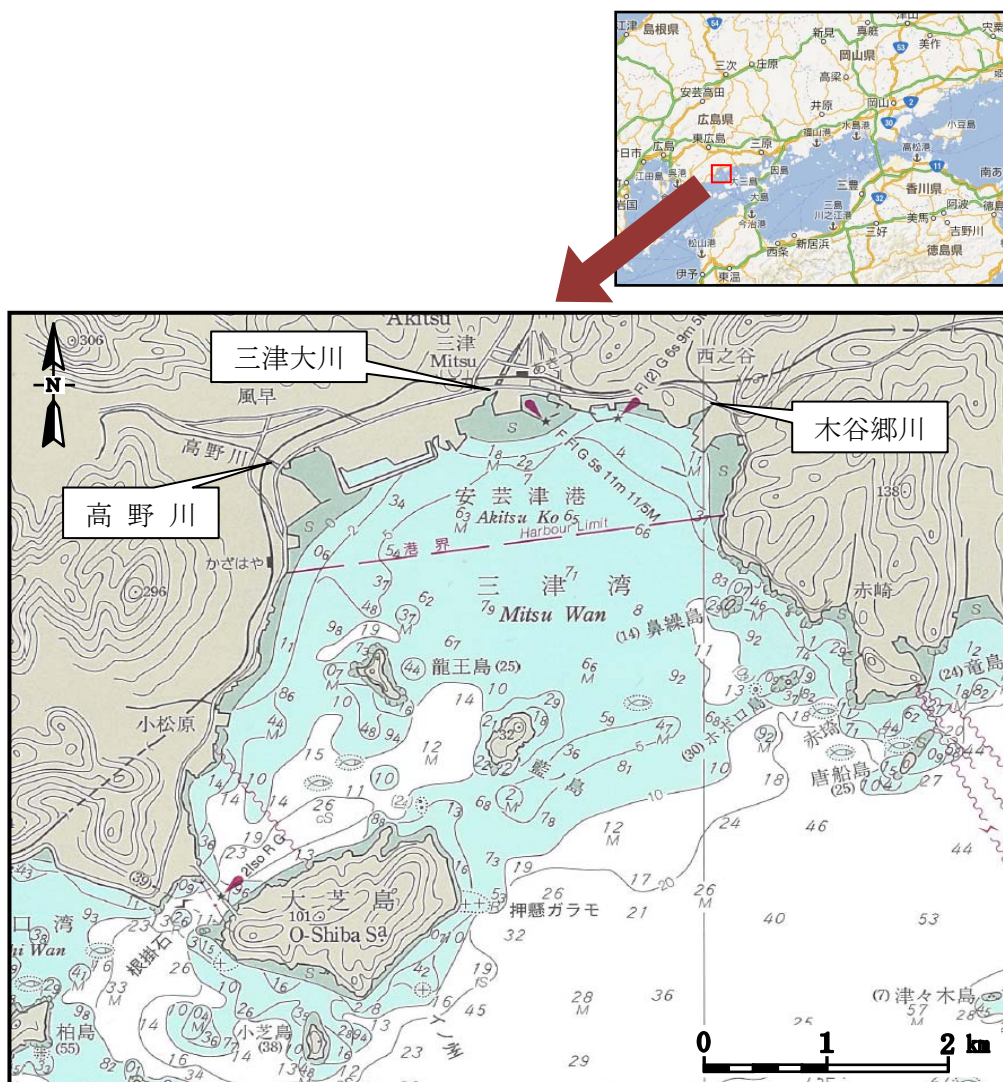


図 2.2-1 三津湾の地形的、地理的状况

2.2.2 環境特性の変遷

収集した情報を、地域の物質循環に関係の深い①流域環境の変化、②海域環境の変化に大別し、それぞれの特徴や変遷を以下に整理し、図 2.2-2 に図示した。

なお、収集した情報の詳細は巻末資料編に掲載した。

①流域環境の変化→三津湾への流入負荷は、横ばいないし減少傾向にある

【社会的背景】

○流域の人口は、1947 年の約 16,000 人をピークに緩やかに減少し、2005 年に約 12,000 人となっている。

○2007 年から安芸津浄化センターが稼動し、2010 年の下水道普及率は 25.3%である。

【自然的環境】

○流入河川の水質は、過去 30 年間で、BOD と総窒素は横ばいないし緩やかに減少、総りんは増加の傾向を示している。

○流入河川における流量は、過去 10 年間、ほぼ横ばいないしやや減少の傾向を示している。

②海域環境の変化→地形の改変や養殖の展開は、1970 年代までに概ねピークに達した

【地形等】

○沿岸の地形等の大規模な改変は、1970 年代までに概ね終了。

【水質、底質】

○三津湾近傍の水温は、過去 40 年間の夏季（7～9 月）平均で約 0.6℃、冬季（1～3 月）平均で約 1.1℃の上昇がみられた。

○湾内の水質は、近年 15 年間に総りんが微増したことを除き、大きな変化はない。

○底質に関する湾内の調査例は殆どなく、広域的な状況や長期変化は不明である。（近年、底質悪化が懸念される情報があり、市の事業として、鉄炭団子の撒布等の取組がなされている）

【生物、漁業】

○1950 年代から 1960 年代に、湾内のカキ養殖が急速に進展した。

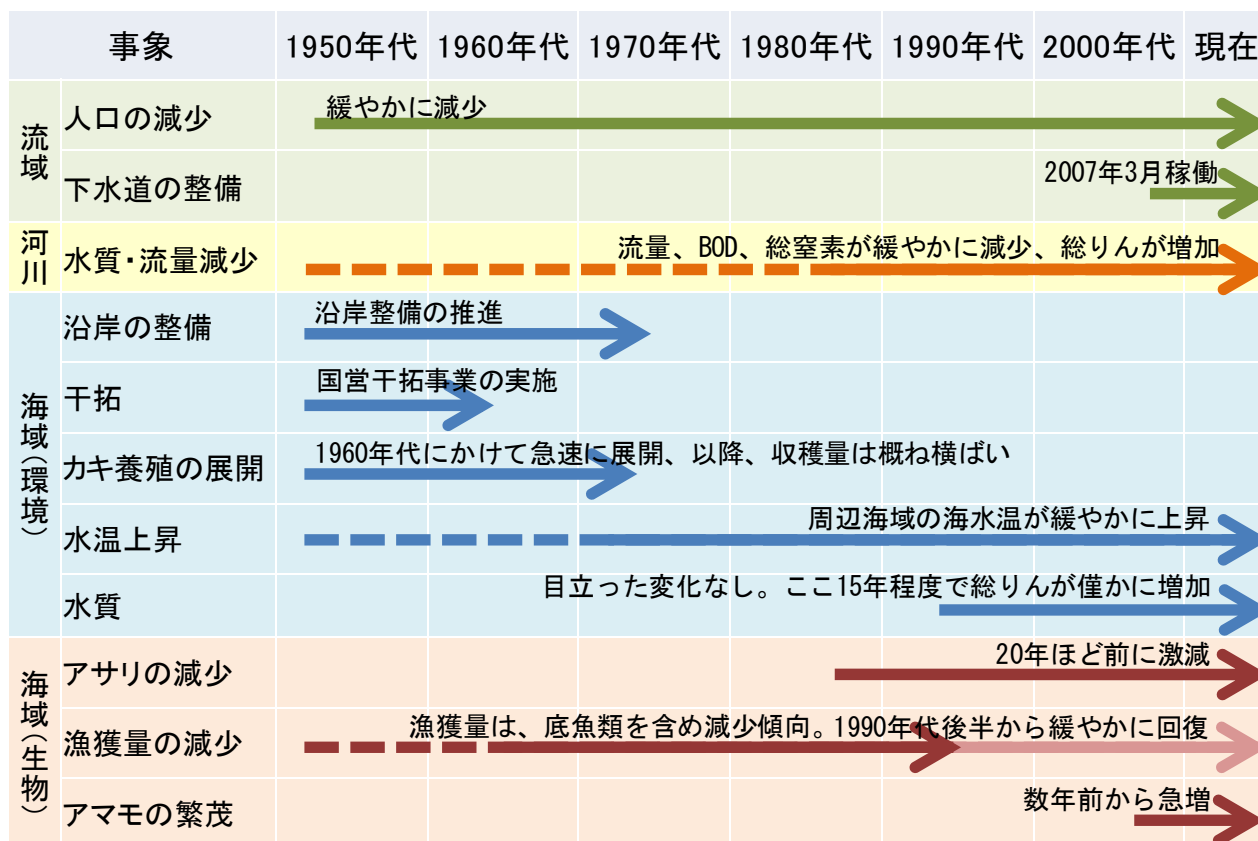
○底魚類の漁獲量は 1960 年代から 70 年代は 100t を超えていたが、1990 年代には 50t 程度まで減少し、2000 年代には 70t 程度まで回復している。

○アサリの漁獲は、1986 年の 9t をピークに急減し、1990 年以降は 0t となっている。

○ノリ類は 1972 年の 8000（千枚）をピークに減少し、平成 7 年以降は 0（千枚）となっている。

カキは 1965 年の 2200t をピークに、近年は 700～800t 程度で横ばいとなっている。

○数年前から、湾内の西部を中心にアマモの繁茂が目立つようになった。



※破線は情報不足のため状況が不明な事象

図 2.2-2 整理した情報から理解される三津湾の環境の変遷

2.2.3 これまでに実施されてきた環境改善対策

三津湾における環境悪化に対処する改善対策事業として、(1) カキ残渣による干潟造成事業 (1994～1995年)、(2) アサリの産地再生事業 (2007～2009年)、(3) 漁場再生調査 (2012年)、(4) 海浜清掃、が挙げられる。それぞれの概要を以下に記す。

(1) カキ残渣による干潟造成事業

旧安芸津町 (2005年に東広島市に編入) では、1994年から1995年にかけて、カキむき処理の過程で発生するカキ殻を粉砕して活用する人工干潟造成が実施された。

造成場所は、図 2.2-3 に示すとおり、安芸津浄化センター及び安芸津港の前面 2 箇所であった。



図 2.2-3 人工干潟の造成位置

(2) アサリの産地再生事業

東広島市では、2007年から2009年にかけて、干潟の再生によってアサリや他の貝類の増産を図るため、「アサリの産地再生事業」が実施された。現地調査により底質環境等を把握した上で、早田原漁業協同組合、安芸津漁業協同組合の管理海域内で適地を選定した(図 2.2-4)。その後、適地を耕運し、それぞれの地域にアサリの稚貝を放流して、その後の生息状況を追跡調査した。

調査の過程で、ナルトビエイやツメタガイによる食害が確認されたため、2008年には大小網目の食害防止網を設置して食害対策を行い、アサリの放流を行った。

追跡調査の結果、新たにチヌによる食害が観察されたが、4mm目合いのネットを張った地点では、アサリの生残・成長が確認され、稚貝の再生産も確認された。これらのことから、三津湾地先はアサリが生息・再生産可能な底質であることが確認された。しかし、同時に、食害

への対策が必要であることも明らかになった。

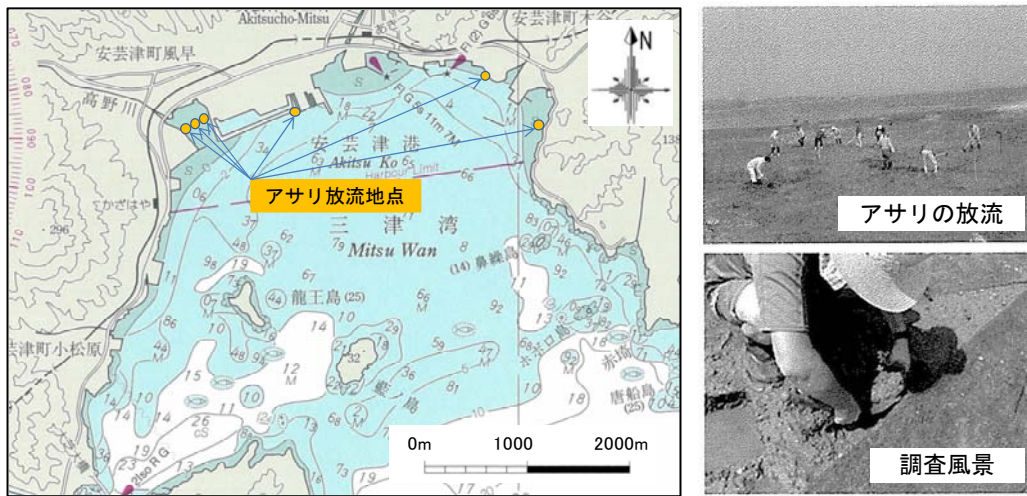


図 2.2-4 アサリの産地再生事業の実施地点

(3) 漁場再生調査

海域生態系の維持に必要とされる鉄イオンの安定的な供給に向け、①干潟のヘドロの減少、②藻場の再生、③漁獲量の増大に効果があるとされる「鉄炭団子」を撒布し、環境改善の有効性を評価するため、底生生物や底質などの調査を実施（図 2.2-5）し、改善効果について検討している。



資料：安芸津湾漁場再生調査業務 中間報告

図 2.2-5 鉄炭団子撒布試験の実施位置

(4) 海浜清掃の実施

安芸津及び早田原の両漁業協同組合と地域ボランティア団体は、毎年定期的に3回程度の海浜清掃活動を実施している（図 2.2-6）。



図 2.2-6 海浜清掃の様子

3. 三津湾地域における物質循環の現状と課題

3.1 物質循環に係わる不健全な事象とその原因に関する仮説

3.1.1 三津湾における不健全な事象

三津湾では、海健康診断（2010）で「生息空間がC判定であり、貧酸素水に関する検査などを踏まえた十分な検査を実施する必要がある」との所見が示された。

しかし、三津湾全域を対象として、貧酸素水塊及び底質の状況などを把握するための調査が行われた経緯はなかった。したがって、三津湾で確認されている不健全な事象の実態を把握し、物質循環に係わる課題を抽出する必要があると考えられた。

ヒアリングの結果、不健全な事象は以下の4点であった。

- 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

また、これらの不健全な事象の要因として、以下のような、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】

カキの斃死、アサリの減少及び魚介類の減少の要因として、貧酸素水塊の発生が指摘された。つまり、一般的な富栄養海域でみられるように、三津湾においても、陸域などからの有機物や栄養塩類の流入負荷が増加し、直接的に、もしくは湾内の生物生産の増大を通して間接的に海底への有機物の堆積物量を増加させた結果、底質悪化を招き、さらに貧酸素水塊が発生している可能性が想定された（図3.1-1）。

◆ 【基礎生産力の低下：貧栄養海域でみられる現象】

カキの小粒化（成育不良）の要因として、基礎生産力の低下が考えられた。つまり、一般的に貧栄養海域でみられるように、三津湾においても、陸域などからの栄養塩の流入負荷が減少し、カキの餌生物である植物プランクトンが減少している可能性が想定された（図3.1-2）。

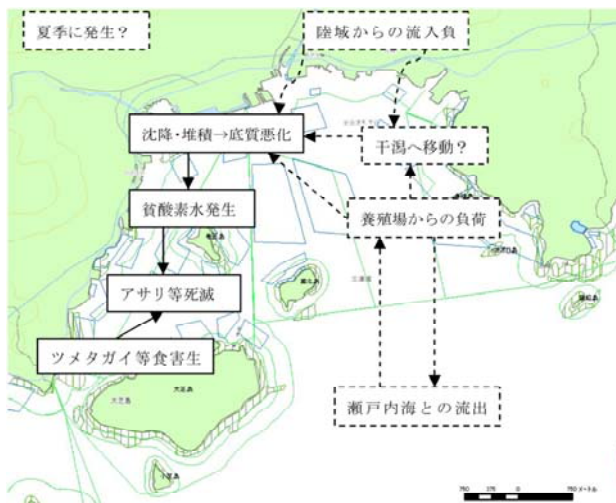


図 3.1-1 富栄養海域でみられる現象



図 3.1-2 貧栄養海域でみられる現象

3.1.2 仮説の立案

三津湾における不健全な事象の要因として、「底質の悪化」と「基礎生産力の低下」という、相反する栄養塩環境の現象が想定された。前述したように、三津湾では、全域を対象とした調査が行われていなかったため、いずれの想定が妥当であるか判断できなかった。

そこで、指摘された4つの不健全な事象の要因について、下記のように仮説を立案し、これらを検証するための調査項目を定めることとした。すなわち、以下に立案された仮説を検証するために、調査項目や調査方法を選別し、得られた結果に基づいて不健全な事象の要因の妥当性を判定することとした。

表 3.1-1 三津湾の不健全な事象の要因に関する仮説立案

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"> ✓ 底質のへドロ化 <ul style="list-style-type: none"> ⇒有機物の負荷（陸域及びカキ筏からの負荷）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）の減少

3.2 物質循環の解明調査内容

三津湾における物質循環の現状把握及び前述した仮説の検証のために、表 3.2-1 に示す調査項目を整理した。これらの調査を平成 23 年の 11 月、平成 24 年の 1 月、6 月及び 8 月の 4 回に亘って実施することで、四季ごとの環境情報を取得した。

表 3.2-1 調査内容

調査項目	調査目的	調査時期	調査地点 (図 3.2-1、2)
底質の成分分析	底質の成分を調査し、底質の現状を把握する。	平成 23 年 11 月 平成 24 年 1 月、6 月、8 月	St. 2~6
底生生物調査	底生生物による底質評価及びモデルに資する情報を把握する。	平成 23 年 11 月 平成 24 年 1 月、6 月、8 月	St. 2~6
貧酸素水塊の把握 (鉛直観測)	貧酸素水塊の出現情報を把握する。	平成 23 年 11 月 平成 24 年 1 月、6 月、8 月	St. 1~12
貧酸素水塊の把握 (連続観測)		平成 24 年 1 月 平成 24 年 8 月	St. 1、5、6、 St. 7 (1 月のみ)、 St. 11 (8 月のみ)
セジメントトラップ調査	底質への有機物の負荷量を把握する。	平成 24 年 1 月 平成 24 年 8 月	St. 5 (1、8 月) St. B (1 月のみ) St. C (8 月のみ)
動、植物プランクトン調査	基礎生産力の解析に資する情報を取得する。	平成 23 年 11 月 平成 24 年 1 月、6 月、8 月	St. 1、5、6、7
流況調査	三津湾内の流況を再現する情報を取得する。	平成 24 年 1 月 平成 24 年 8 月	St. 1、5、6、 St. 7 (1 月のみ)、 St. 11 (8 月のみ)
水質調査	水塊構造を把握する。栄養塩類や Chl. a の現状を把握する。	平成 23 年 11 月 平成 24 年 1 月、6 月、8 月	St. 1、5~7
底質調査	底質と水塊の境界を介した物質の流れを把握する。	平成 24 年 1 月 平成 24 年 8 月	St. 2~6
アマモの分布調査	アマモの分布状況を把握する。	平成 24 年 6 月	三津湾西部 (図 3.2-2 参照)
付着珪藻調査	堆積物表層に付着する藻類の現存量を把握する。	平成 24 年 6 月、8 月	St. 2~6
食害調査	カキ養殖筏周辺に生息する食害魚の存在を把握する。	平成 23 年 11 月 平成 24 年 6 月	St. A (11 月) St. B (6 月)

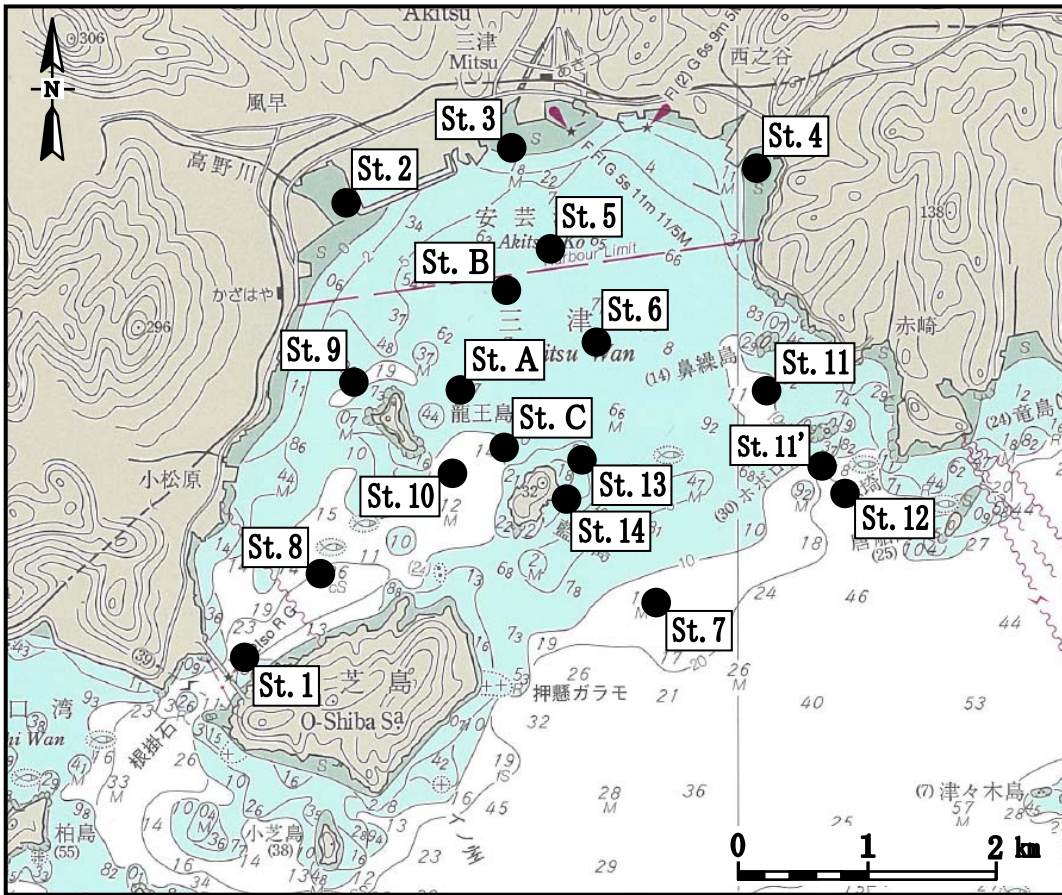
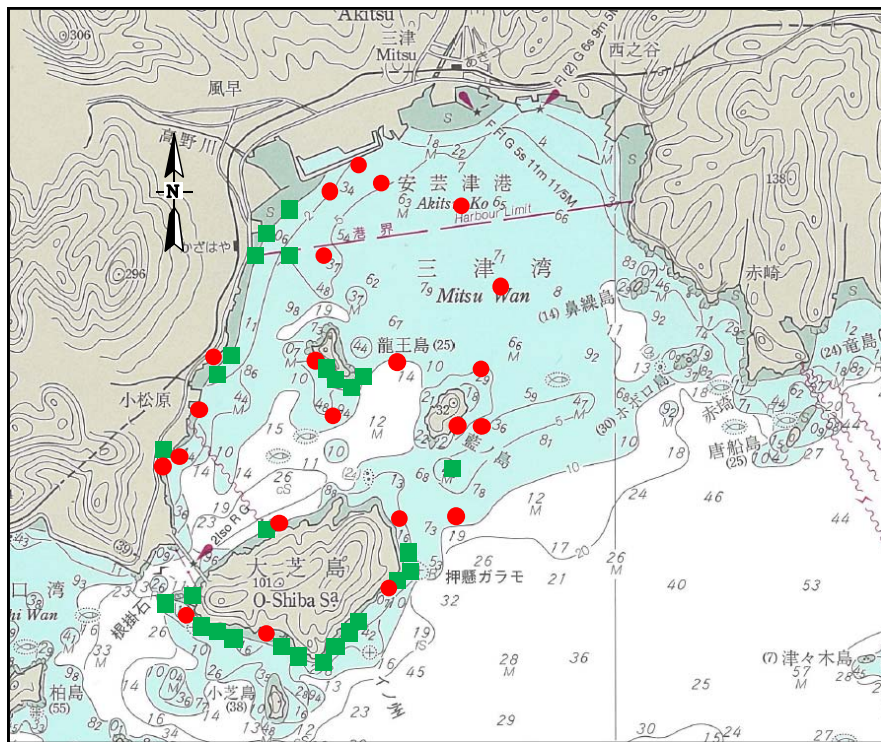


図 3.2-1 調査地点図



- : ケーブルカメラでの調査地点
- : 箱メガネ又は目視での調査地点

図 3.2-2 調査地点図 (アマモの分布調査)

3.3 物質循環の解明

表 3.2-1 に示した調査項目の結果及びシミュレーションの計算結果を総合して、三津湾全域における物質循環の特徴を以下のようにまとめた。

3.3.1 流況

- ✓ 三津湾内において、概ね時計まわりの流れであった。
- ✓ 湾内水の滞留時間が約 2.5 日と短く、海水交換が良好であると考えられた。

表層（海面下 1.0m）の平均流は、基本的には時計まわりの流れであった（図 3.3-1）。すなわち、三津口湾及び三津湾湾口西部から流入した海水は、三津湾の北岸に沿って東向きに流れ、湾口東部より南東に流出することが明らかになった。その流速は、湾奥ほど遅かった。下層（海底上 1.0m）における平均流も、概ね表層と同様であった。なお、これらの結果は、平成 24 年 1 月と 8 月で共通して得られたものである。

数値モデルによるシミュレーションの結果でも、同様の傾向が確認され、湾内水の滞留時間が約 2.5 日と短く、湾外との海水交換が良好な湾であることが明らかとなった。

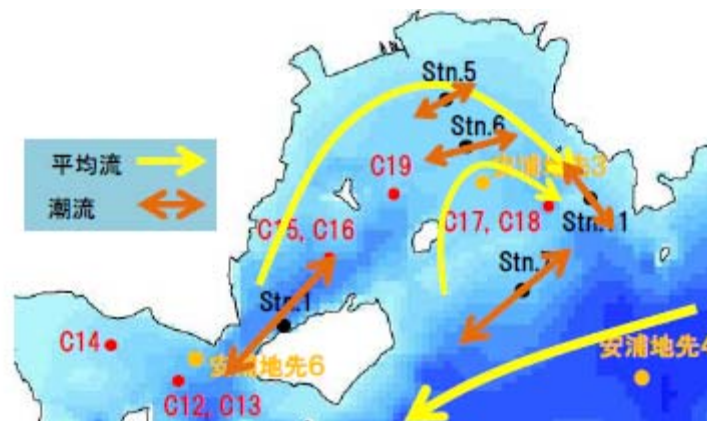


図 3.3-1 三津湾の流況シミュレーションの計算結果（統括検討委員会事務局より）

3.3.2 水質

(1) 貧酸素水塊の有無

- ✓ 貧酸素水塊の発生は、本調査期間に確認されなかった。
- ✓ 三津湾の開放的な地形と良好な海水交換は、貧酸素水塊の発生を抑制しやすいと考えられた。

調査以前には、アサリや下層の養殖カキの斃死が不健全な事象として挙げられ、その要因として貧酸素水塊^{※1}の存在が想定されていた。

しかし、一般的に貧酸素水塊が発生しやすいと言われている夏季（8月）において、湾内全域における鉛直観測及び連続観測（15日間）で貧酸素水塊の発生は確認されなかった（図3.3-2）。また、鉛直観測結果では貧酸素水塊の発生要因となる成層構造^{※2}がほとんど発達していなかった（図3.3-3）。流況調査の結果及びモデルの計算結果では、三津湾の海水交換は良好であることが示された。これらのことから、三津湾では、開放的な地形、湾奥から湾口にかけて深くなる海底斜面、そして良好な海水交換が貧酸素水塊の発生を抑制していると考えられた。したがって、今までに報告されたアサリや養殖カキの斃死は、貧酸素水塊によるものでないと考えられた。



図 3.3-2 三津湾の底層（海底上 0.5m）における連続観測（DO）の結果（8月）

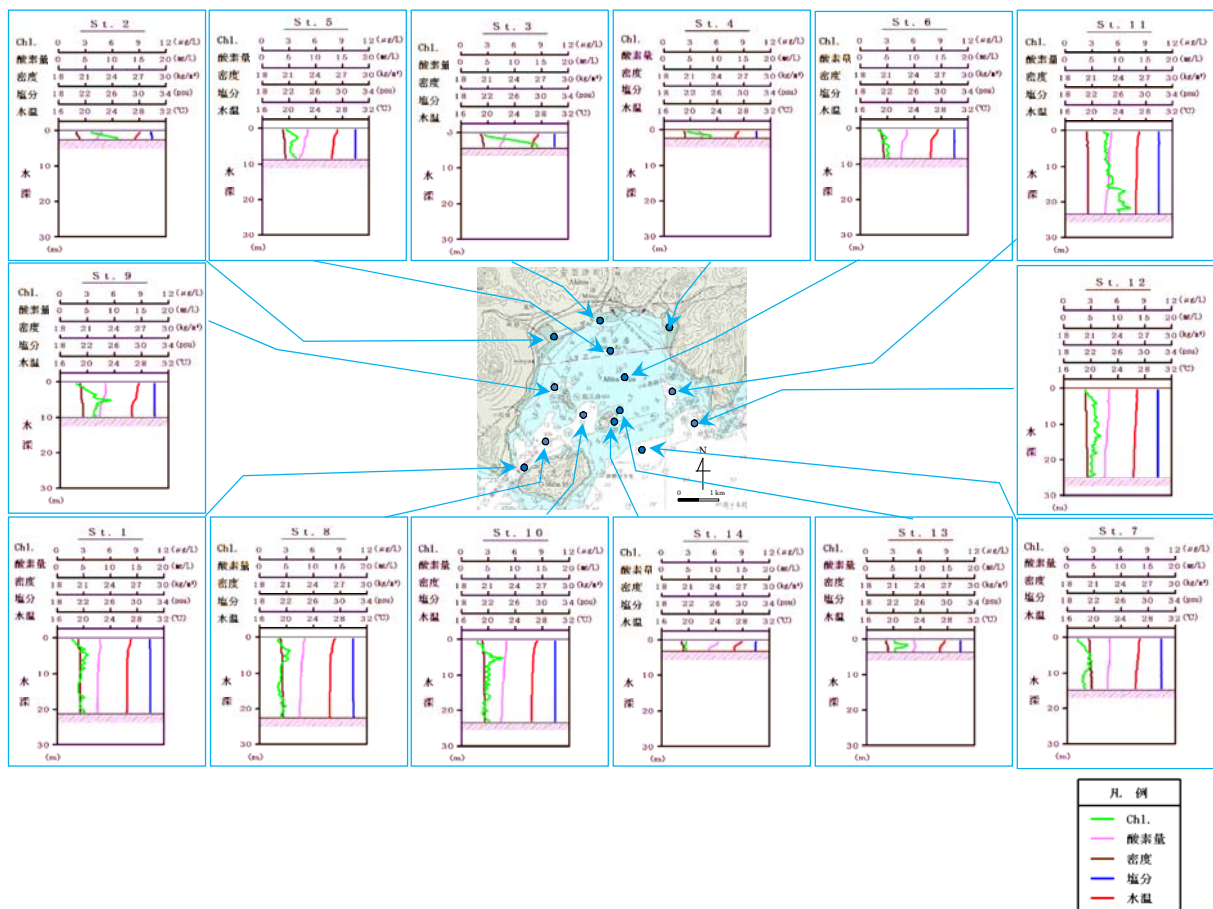


図 3.3-3 三津湾における水塊の鉛直観測結果 (8 月)

※1 貧酸素水塊とは・・・

水中に溶けている酸素 (DO) が不足している水塊のことであり、水中もしくは海底に生息する生物の窒息死を招き、漁業や養殖業などの水産業に大きな被害を及ぼす可能性がある。

水産用水基準では、4.3mg/L が底生生物の生息環境に変化を起こす臨界濃度とされている。これに従って、本書では DO が 4.3mg/L 未満の水塊を貧酸素水塊とした。

※2 成層構造とは・・・

主に水温と塩分によって決まる海水密度が、表層で小さく、下層で大きくなり、上下層の海水が層状に重なって安定する状態。密度が成層すると、上下層の海水は混ざりにくくなり、溶存成分の鉛直分布も層状になる。成層状態が続くと、上層から下層への物質の供給が滞る。このような状況下で、海底で有機物の分解が活発になり、酸素消費が大きくなると、下層の水が貧酸素水塊になりやすくなる。

(2) 栄養塩類

- ✓ 植物プランクトンが利用する栄養塩濃度は、近隣海域とほとんど同じであった。
- ✓ 総窒素（T-N）及び総りん（T-P）は、11月及び1月に多く、6月及び8月に少なくなる傾向がみられた。
- ✓ 栄養塩のバランスは、植物プランクトンにとって不適切でなかった

現地調査の結果では、三津湾における栄養塩濃度が近隣海域で観測された濃度とほぼ同等であることを示した。栄養塩のうち、窒素（DIN）とりん（DP）の比は、レッドフィールド比※に近く、また窒素とりんの濃度と比較した珪酸塩（Dsi）濃度は不足していなかった（図 3.3-4）。そのため、植物プランクトンにとって栄養塩濃度が不適切なバランスでないと考えられた。

以下に、栄養塩類の詳細を記述する。

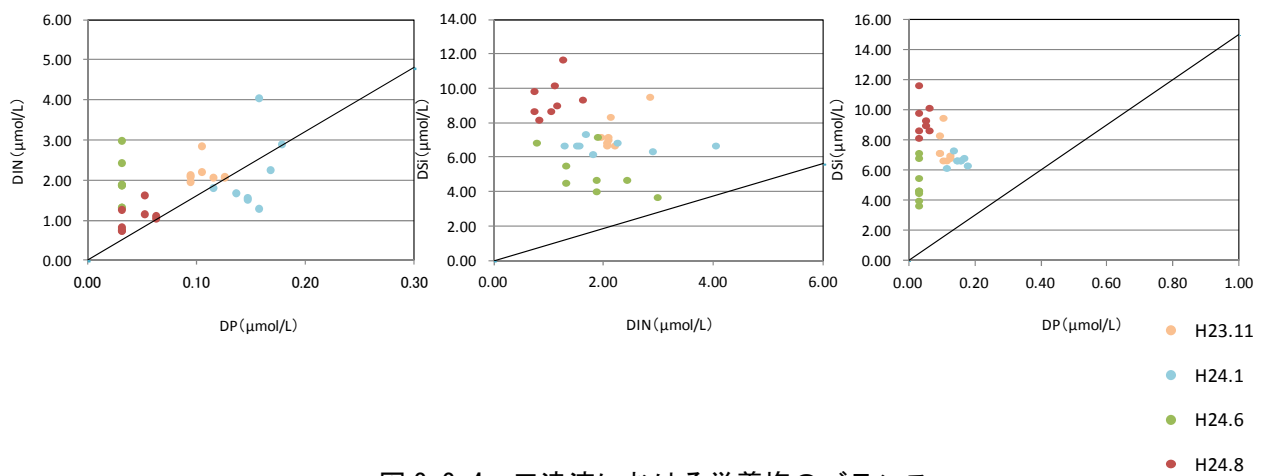


図 3.3-4 三津湾における栄養塩のバランス

※ レッドフィールド比とは・・・
植物プランクトンが光合成する際に取り込む炭素（C）、窒素（N）、りん（P）、珪素（Si）の比率のことをいう。その比は、C : N : P : Si = 106 : 16 : 1 : 15 で一定であり、海水中にこの比で栄養塩類が溶けているとき、植物プランクトンは栄養塩律速のストレスを受けないと判断する。

1) 窒素

現地調査の結果、主要な栄養塩のうち溶存無機態窒素（DIN[※]）濃度は、近隣の他海域とほぼ等しかった（図 3.3-5）。また、三津湾における T-N 濃度の経時変化をみると、11月に高くなる傾向がみられ、形態別の濃度でみると、DIN 濃度が高かった 11月及び1月には NO₃-N の割合が高く、反対に DIN 濃度が低かった 6、8月には NH₄-N の割合が高くなる傾向がみられた（図 3.3-6）。一方、地点間には顕著な差異はなかった。

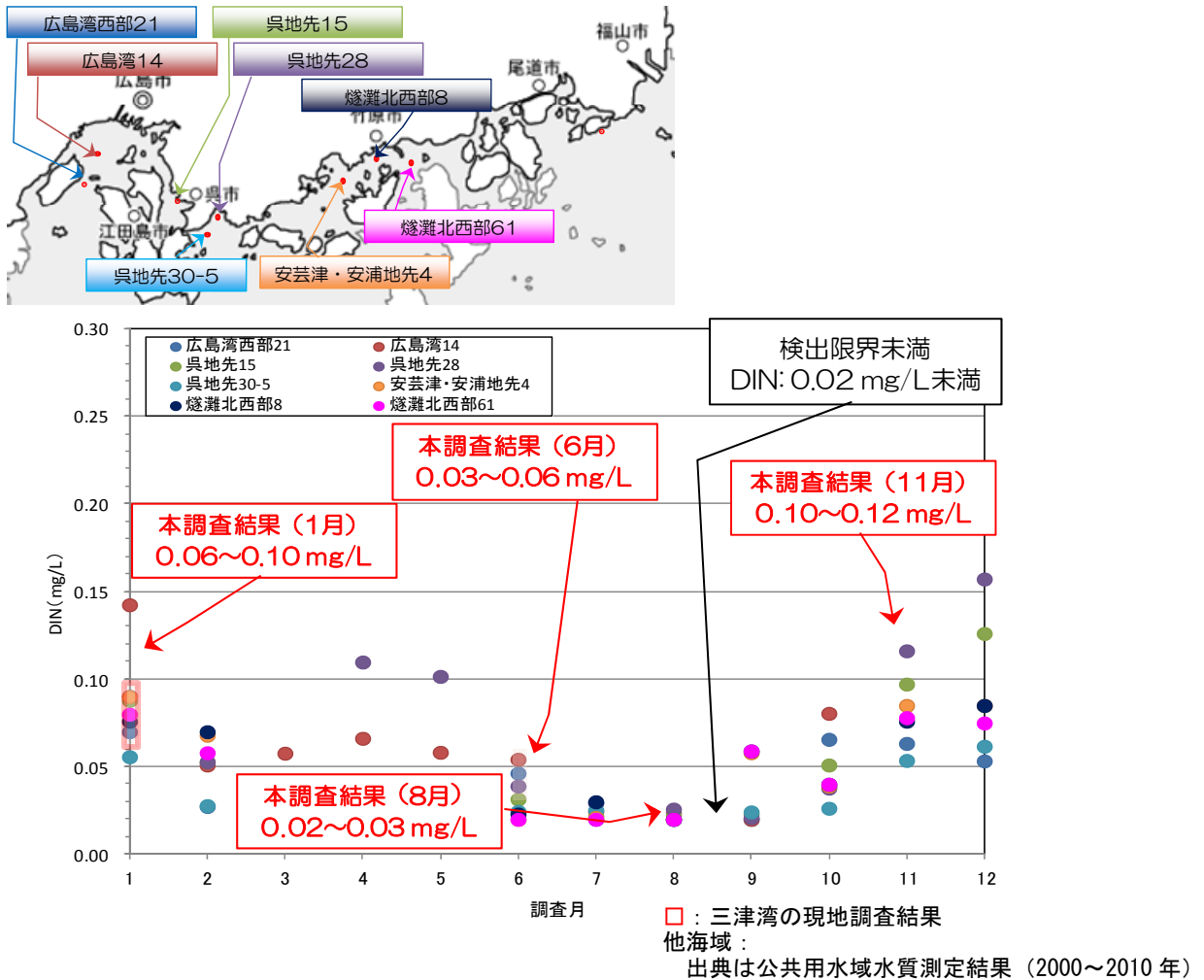


図 3.3-5 三津湾と他海域とにおける溶存無機態窒素 (DIN) の比較

※ 溶存無機態窒素 (Dissolved Inorganic nitrogen: DIN) とは・・・
窒素の栄養塩類のうち、海水中に溶存している NO₂-N、NO₃-N、NH₄-N の合計値を示す。
植物プランクトンが増殖するために必要となる栄養塩の 1つである。

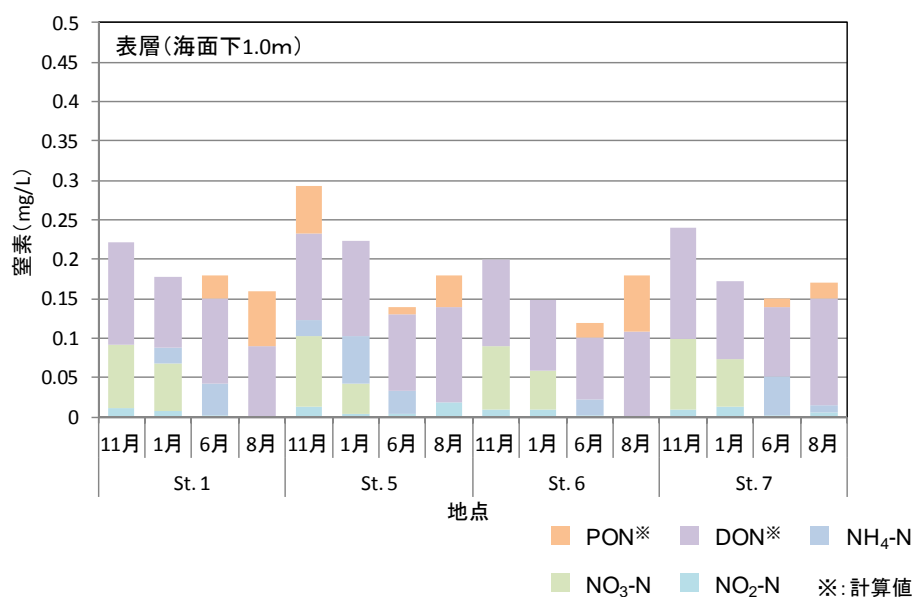


図 3.3-6 三津湾における栄養塩類の濃度と組成（窒素）

2) リン

現地調査の結果、三津湾におけるりん酸態りん（ $\text{PO}_4\text{-P}^*$ ）の濃度は、近隣の他海域に比べてほぼ等しかった（図 3.3-7）。その経時変化をみると、6月に低く、11月に高い傾向がみられた（図 3.3-8）。

※ りん酸態りん（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）とは・・・
 DINと同様、植物プランクトンにとって重要な栄養塩の1つである。他に溶存有機態りん（DOP）や生物体、沈降粒子に含まれる懸濁有機態りん（POP）の合計を、総りん（T-P）という。

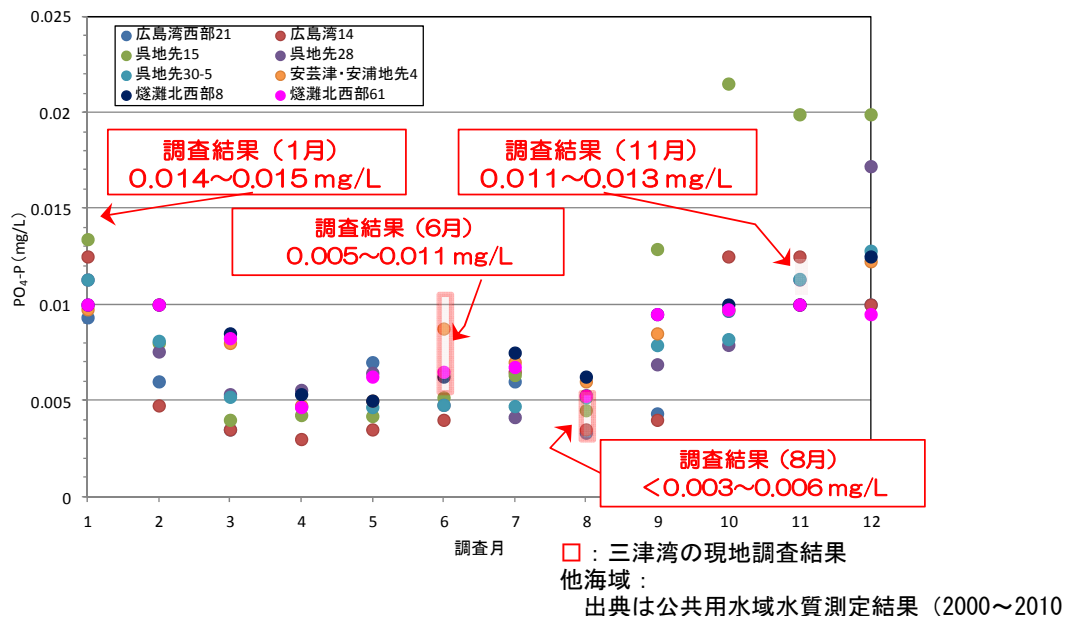
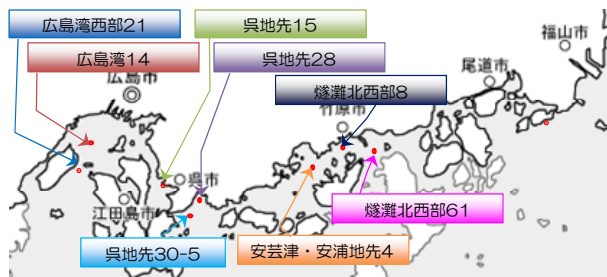


図 3.3-7 三津湾と他海域におけるりん酸態りん (PO₄-P) の濃度の比較

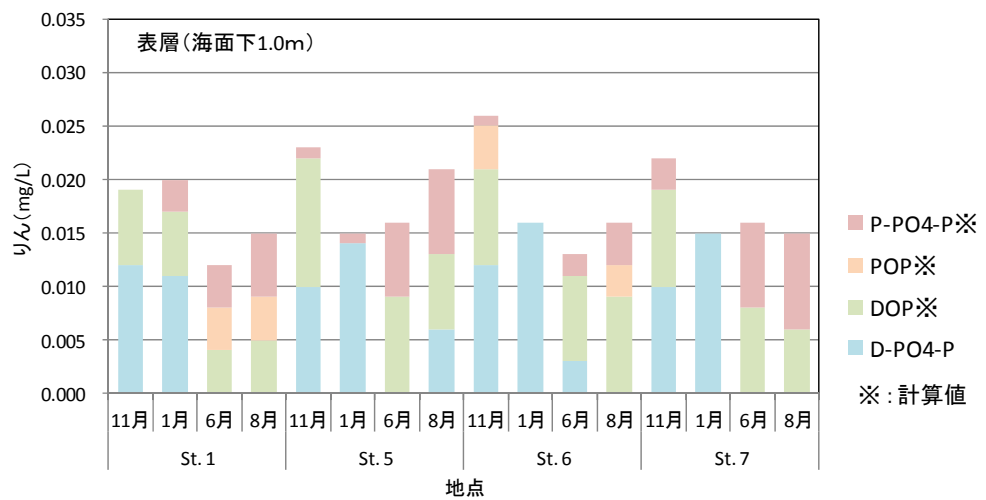


図 3.3-8 三津湾における栄養塩類の濃度と組成 (りん)

3) 珪酸塩

現地調査の結果から、溶存珪酸塩（DSi）※は1月に地点間で差がほとんどなかったが、その他の調査月にはSt. 5で高かった（図 3.3-9）。さらに8月には全調査地点において他月よりも高いことが明らかとなった。

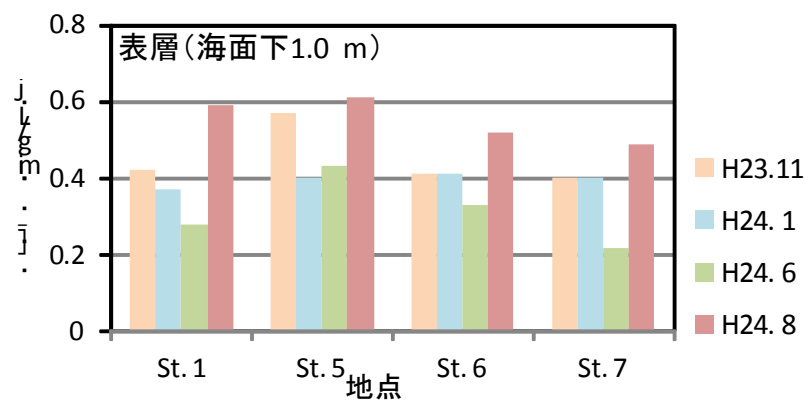


図 3.3-9 三津湾における溶存珪酸塩（DSi）の濃度と調査地点間の比較

※ 溶存珪酸塩（Dissolved Silicate: DSi）とは・・・

DIN、 $\text{PO}_4\text{-P}$ とともに植物プランクトン、特に珪酸質の殻を有する珪藻などの増殖に影響を及ぼす栄養塩である。珪酸質の殻を有しない植物プランクトンにとっては重要な栄養塩ではないが、珪藻はほぼ常に優占するので、海洋環境においては重要な栄養塩である。

(3) Chl. a 及びフェオフィチン

- ✓ Chl. a 濃度は、8月に高く、その他の月には低い傾向がみられた。
- ✓ 近隣の他海域と比較すると、三津湾における Chl. a 濃度は低い水準であった。

調査結果より、Chl. a^{※1}濃度は8月に2.0~4.6 $\mu\text{g/L}$ と比較的高く、他の月(11~6月)に低い傾向を示した(図3.3-10)。全地点、全調査時期に亘って平均すると、 $1.7 \pm 1.3 \mu\text{g/L}$ となった。これは、近隣の他海域における値と比較しても低い水準であるといえる(図3.3-11)。

フェオフィチン^{※2}は、全地点の表層において6月に高くなる傾向がみられた。Chl. a の値と比較すると、11月から6月までは概ねフェオフィチンの方が高かった。一方、8月には St. 1 の下層を除いて、全地点、全層で Chl. a の方が明らかに高かった。

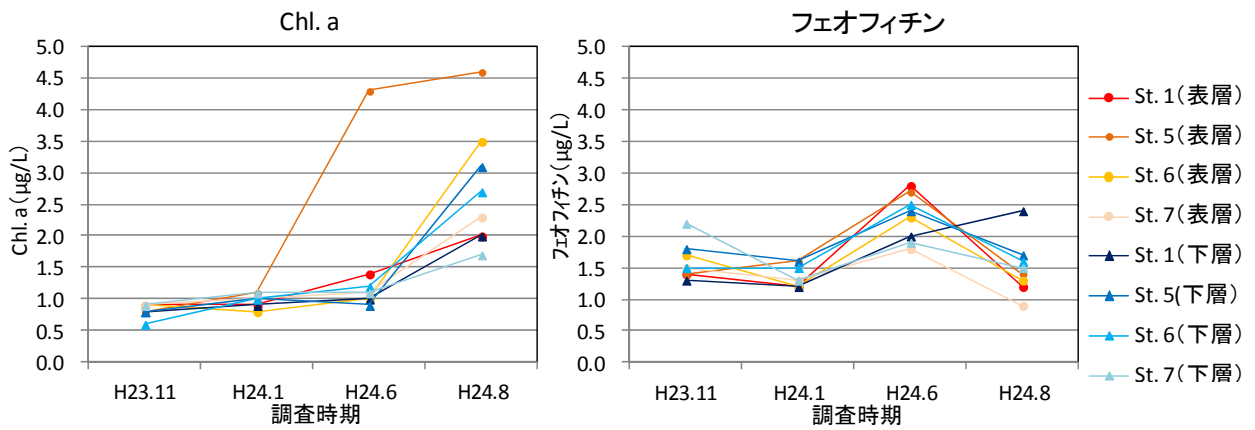


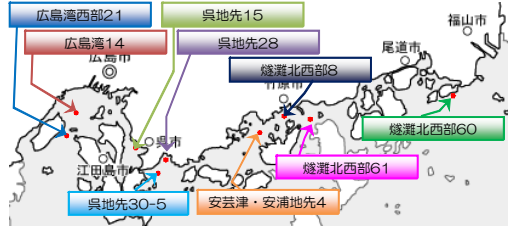
図 3.3-10 三津湾における Chl. a とフェオフィチン

※1 Chl. a (クロロフィル a) とは・・・

あらゆる種類の植物に含まれている色素であり、光合成を担う色素である。様々な種類から構成される植物プランクトン群集の現存量とその生産(光合成)量の目安として測定される。

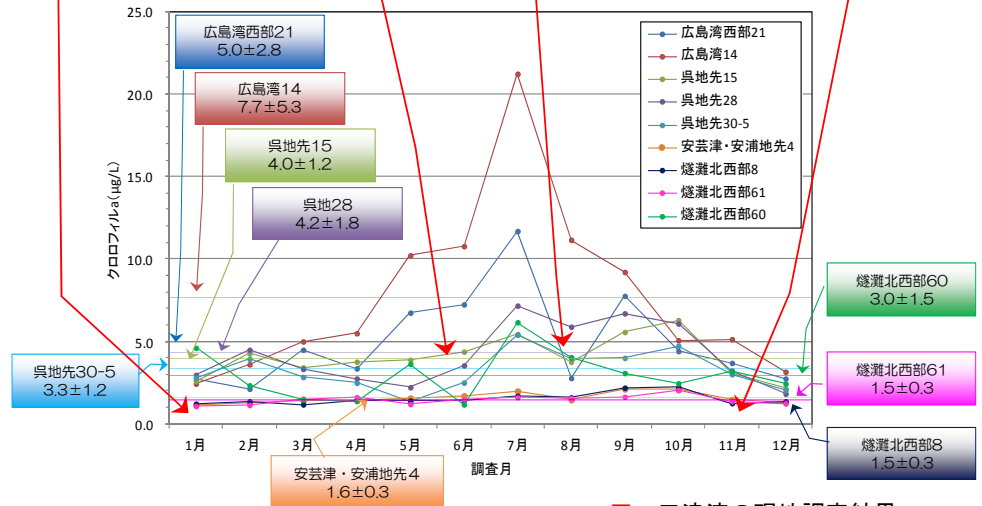
※2 フェオフィチンとは・・・

クロロフィル分子からマグネシウムイオンがとれて水素原子2つと置換したものの総称。植物プランクトンが死滅ないし、捕食されたとき、クロロフィルが分解されてできる。それゆえ、その量の Chl. a 量に対する比が高ければ、植物プランクトン群集の光合成活性は低く、その比が低ければ光合成活性が高いと判断されることがある。



三津湾の年間平均
 $1.72 \pm 1.29 \mu\text{g/L}$

調査結果 (1月) $0.8 \sim 1.1 \mu\text{g/L}$ 調査結果 (6月) $1.0 \sim 4.3 \mu\text{g/L}$ 調査結果 (8月) $2.0 \sim 4.6 \mu\text{g/L}$ 調査結果 (11月) $0.8 \sim 0.9 \mu\text{g/L}$



□ : 三津湾の現地調査結果
 他海域 :
 出典は公共用水域水質測定結果 (2000~2010年)
 注意) 海域名の下の数値 : 年間平均値

図 3.3-11 他海域との比較 (Chl. a)

(5) セジメントトラップ調査

- ✓ 沈殿量は、1月に少なく、8月に多かった。
- ✓ 3年養殖カキ筏直下では、1年養殖カキ筏直下に比べて、沈降水量は少ないが、T-N、T-P及びTOCは高かった。

セジメントトラップに捕集された沈降粒子は、表層から海底へ沈殿している物質であると考えられている。本調査では、セジメントトラップの捕集物全量の乾燥重量（沈殿量）とそれに含まれる TOC、T-N 及び T-P を測定した。その結果、全ての要素の値は1月に少なく、8月に多かった（図 3.3-14）。すなわち、表層から海底への物質の沈殿量は、夏季に多いことが明らかになった。

沈殿量が多い8月には、沈殿量は、3年養殖カキ筏直下（St. 5）よりも1年養殖カキ筏直下（St. C）で多かったが、それに含まれる TOC、T-N 及び T-P は、いずれも St. 5、つまり3年養殖カキ筏で多かった。そのような沈殿物が海底に堆積して分解される時、多くの水中の酸素が消費されることが予想される。したがって、3年養殖カキ筏直下におけるこのような沈殿過程は、貧酸素水塊の発生に大きく影響すると考えられた。

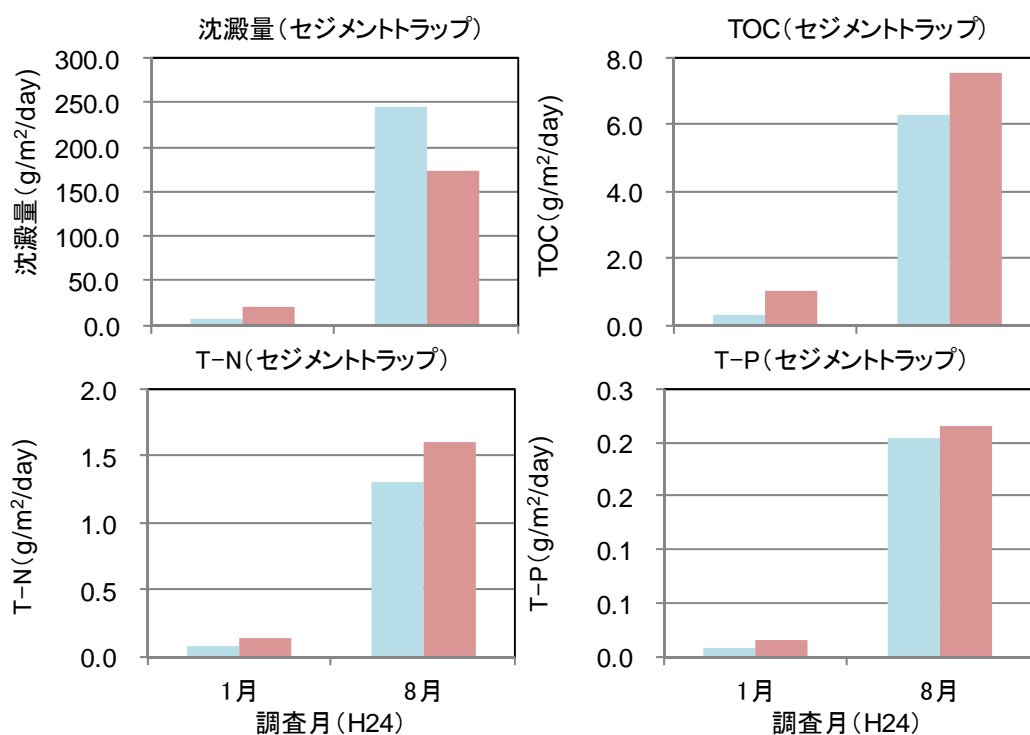


図 3.3-14 セジメントトラップ調査の結果

3.3.3 底質

(1) 粒度組成

- ✓ St. 5 及び St. 6 における底質の粒度組成は、他地点に比べて細かい粒子で構成されていた。
- ✓ St. 2 で粒度組成の変動が大きいことから、底質環境が高頻度で変動していることが考えられた。

調査結果から、粒度組成※はカキ養殖筏周辺の St. 5 及び湾央に位置する St. 6 における底質の主要構成粒子は、常に粘土及びシルトの細かい粒子で構成され、河口域に近い St. 3 で粗い粒子で構成されていることが明らかになった (図 3.3-15)。St. 2 では、調査日毎に粒度組成が大きく変化し、平成 24 年 6 月には礫 (大きな粒子) が確認された。このことは、異なる強弱の攪乱を頻繁に受けているか、様々な粒度の底質が近接してパッチ状に分布しているか、あるいはその両方であることが考えられた。いずれにしても St. 2 では底質環境が高頻度に変動していることが示唆された。

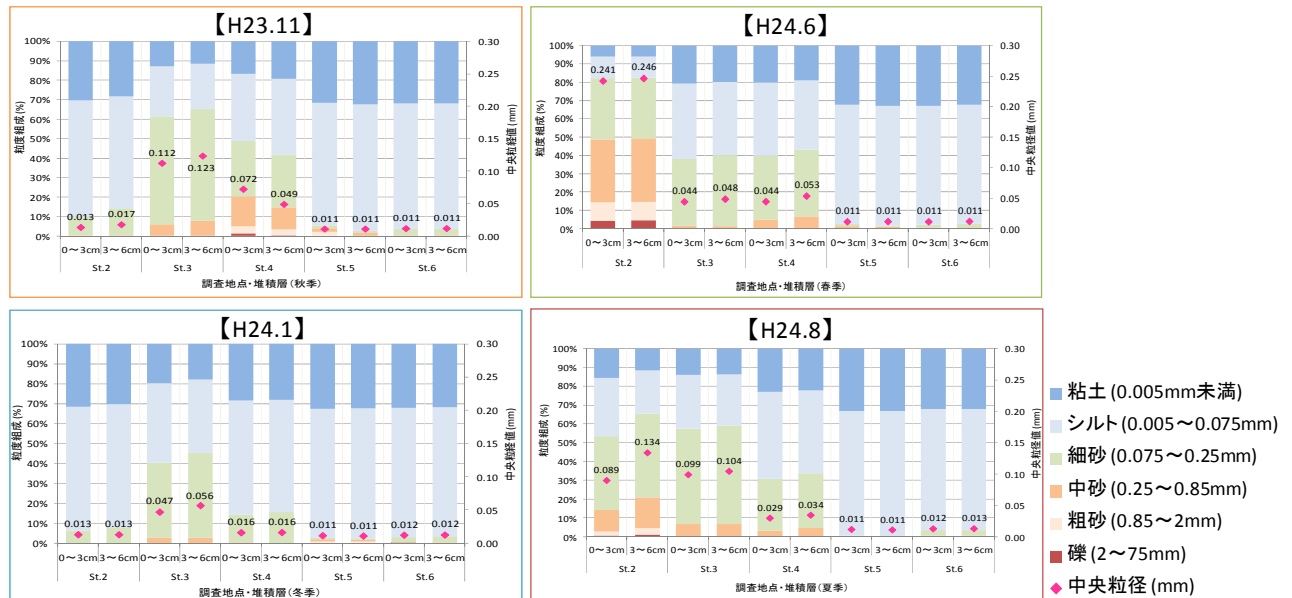


図 3.3-15 他海域との比較 (COD)

※ 粒度組成とは・・・

底質すなわち海底堆積物は、土壌と同様、砂礫や粘土などの無機粒子と、生物の排泄物や遺骸などの有機粒子からなる。いずれも大小様々な粒子であるが、粗大な粒子と微細な粒子とでは、物理的挙動が異なるうえ、生物の生息基盤にも影響を及ぼす。したがって、底質がどのような大きさの粒子群で構成されているかは重要であり、「粒度組成」はその構成状態を示す。

底質を構成する粒子群は、粒子径が大きい方から、礫、粗砂、中砂、細砂、シルト、粘土に分けられている。

(2) COD 及び TOC

- ✓ St. 5 では、COD が水産用水基準を超えることが多く、年間平均値も他地点より高く、有機汚濁が進んでいた。
- ✓ St. 2 では、COD が高いときが一時的にみられたが、常態化していなかった。
- ✓ St. 5 における TOC の年間平均値は、COD と同様、他地点よりも高かった。

底質の COD 及び TOC は、ともに有機物含有量の指標である。このうち、COD には水産用水基準※という基準値が定められている。

COD は、St. 4 及び St. 5 で高く、St. 3 及び St. 6 で低く、St. 2 ではそれらの地点に比べて変動が大きかった（図 3.3-16）。このことから St. 2 では底質環境が変動しやすいことが明らかとなった。

水産用水基準では、底質の COD は 20mg/g dry 以下と規定されている。今回の調査結果では、St. 5 でほぼ常にこの基準を超えており、年間平均値も $23.3 \pm 3.8 \text{mg/g dry}$ と基準値を超えていたため、底質が悪化していると考えられる。これは、同地点の TOC が他地点より高い傾向がみられることから示唆された。

一方、最も変動が大きかった St. 2 では、著しく高い値と著しく低い値の両方が観測された。このように変動性が富んだ地点では、一時的に高くなる COD は別の時期に解消されていることが推察され、底質悪化が常態化していないと考えられた。

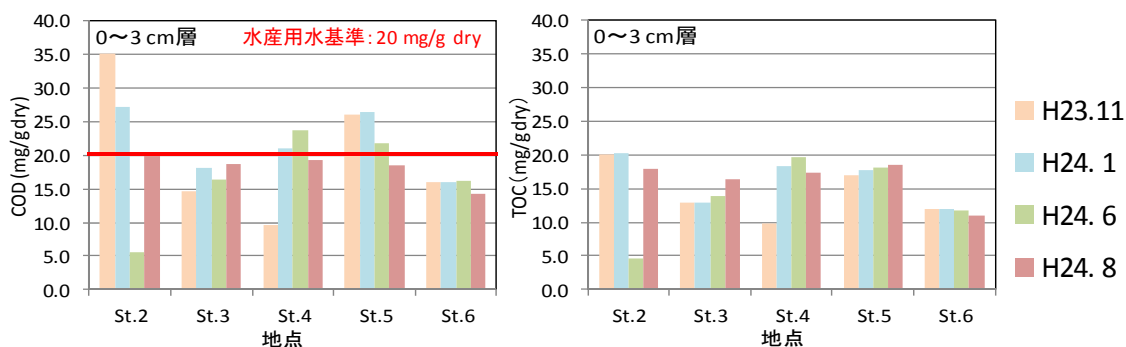


図 3.3-16 三津湾における底質（0～3cm）の COD 及び TOC（左：COD、右：TOC）

※ 水産用水基準とは・・・
水生生物の生息環境を維持するために望ましいとされる基準。COD だけでなく、硫化物など、様々な環境項目に関しても基準値が定められている。

(3) T-N 及び T-P

- ✓ St. 5 で T-N、T-P ともに最も高かった。
- ✓ TOC に対する T-N、T-P の比率を相対的にみると、St. 5 の有機物は、St. 3 に比べて海洋生物起源の有機物が多いことが推察された。

調査結果から、底質 (0~3cm) に含まれる T-N の年間平均値は、St. 5 ($2.90 \pm 0.16 \text{mg/g dry}$) で最も高く、T-P も同様に St. 5 ($0.64 \pm 0.06 \text{mg/g dry}$) で高かった。反対に、河口に近い St. 3 では両項目ともに低かった (図 3.3-17)。

T-N 及び T-P は、TOC と同様、底質の有機物含量の指標になる。しかし、その有機物が海洋生物と陸上生物のいずれに起源するかによって、TOC に対する T-N あるいは T-P の比は異なる。一般に、陸上からは植物由来の有機物が流入するが、陸上植物は窒素とりんをわずかにしか含んでいないため、TOC に対する T-N あるいは T-P の比率は低い。反対に、海洋植物は陸上植物より窒素やりんを多く含むため、海洋起源の有機物では T-N あるいは T-P の比率が高くなる。

本調査結果から、TOC (図 3.3-16 (右図) : 前出) と T-N と T-P (図 3.3-17) を比較すると、湾央の St. 6 では TOC と同様に T-N と T-P は少なかったが、河口域に近い St. 3 と比較すると、TOC は少なかったにも拘わらず、T-N 及び T-P は多かった。さらに St. 5 では T-N、T-P の多さがさらに目立った。すなわち、St. 5 及び St. 6 においては海洋生物起源の有機物が多く、St. 3 では陸上生物起源の有機物が多いことを示している。このことから、St. 5 の底質には、St. 3 に比べて海洋生物起源の有機物が多いことが推察された。なお、これは相対的な現象であり、海洋生物起源と陸上生物起源の正確な量を示すものでない。

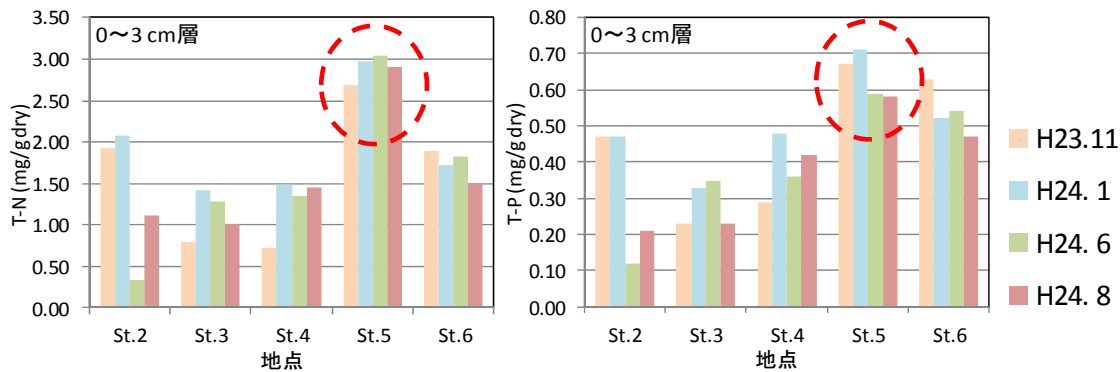


図 3.3-17 三津湾における底質 (0~3cm) の T-N 及び T-P (左 : T-N、右 : T-P)

(4) 硫化物

✓ 硫化物は St. 5 で最も高かった。

調査結果から、底質（0～3cm）の硫化物の年間平均値は、St. 5（ $0.36 \pm 0.11 \text{mg/g dry}$ ）で最も高く、3～6cm 層も同様に St. 5（ $0.56 \pm 0.22 \text{mg/g dry}$ ）で顕著に高かった（図 3.3-18）。

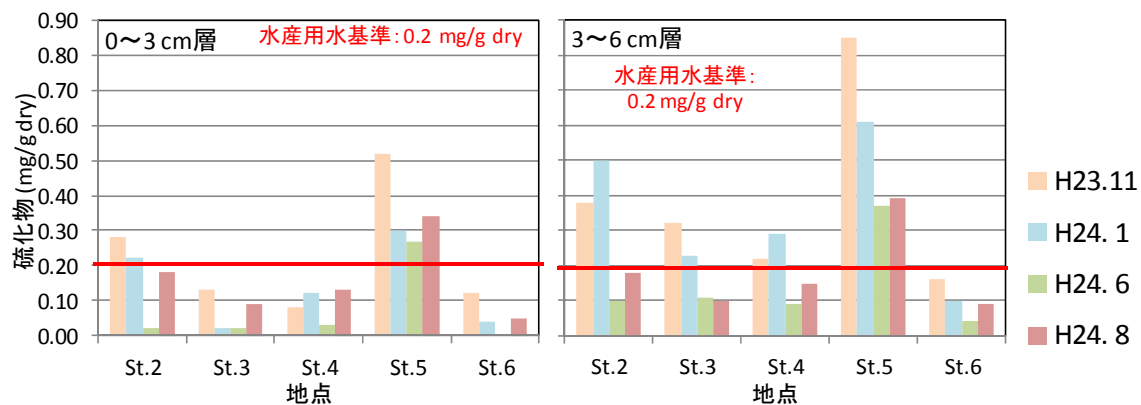


図 3.3-18 三津湾における底質の硫化物（左：0～3cm、右：3～6cm）

(5) 底質における酸素消費速度

✓ St. 5でT-N、T-Pともに最も高かった。

調査結果から、堆積物の表層は、1月だけでなく8月でも褐色であり、酸化層であったと考えられる（図 3.3-19）。1月における底質の酸素消費速度が $0.30\sim 1.79\text{g/m}^2/\text{day}$ （平均： $1.17\text{g/m}^2/\text{day}$ ）であったのに対し、8月には $0.44\sim 2.52\text{g/m}^2/\text{day}$ （ $1.67\text{g/m}^2/\text{day}$ ）と若干高かった（表 3.3-1）。

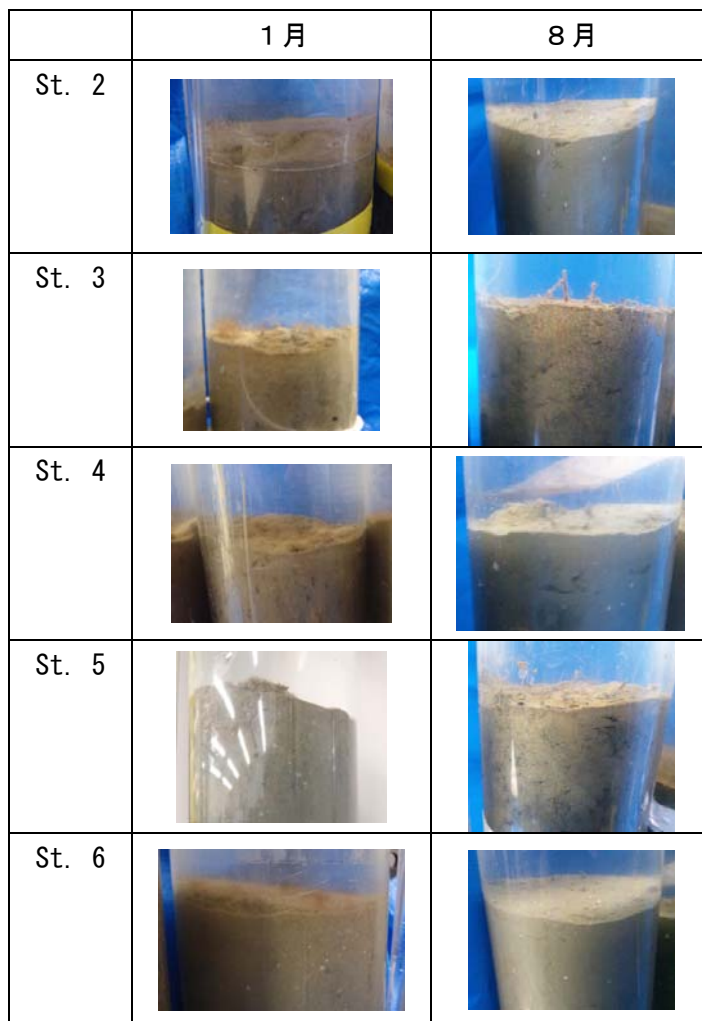


図 3.3-19 三津湾における表層堆積物の性状

表 3.3-1 三津湾における底層における酸素消費速度

単位： $\text{g/m}^2/\text{day}$

	酸素消費速度	
	1月	8月
St. 2	1.79	1.71
St. 3	0.97	1.26
St. 4	1.77	2.42
St. 5	0.30	2.52
St. 6	1.03	0.44

(6) 底質からの栄養塩類の溶出速度 (T-N 及び T-P)

✓ T-N 及び T-P の溶出速度は、平均して1月に比べて8月に大きくなる傾向がみられた。

調査結果から、底質における T-N の溶出速度は、1月に比べて8月に大きくなる傾向がみられた (表 3.3-2)。一方、T-P の溶出速度も1月に比べて8月に大きくなる傾向がみられた。

表 3.3-2 三津湾における底層からの栄養塩の溶出速度

単位 : mg/m²/day

	T-N		T-P	
	1月	8月	1月	8月
St. 2	-31.2	173.9	0.96	3.5
St. 3	-4.08	8.8	-2.4	-0.1
St. 4	-12.72	116.0	-1.92	9.7
St. 5	1.92	-10.9	0.96	23.4
St. 6	-13.68	28.9	-6.0	-6.3

3.3.4 生態系

(1) 動、植物プランクトン

✓ 動、植物プランクトンともに8月に急激に多くなった。

植物プランクトンの調査結果から、珪藻の割合が61.1~92.3%と高かった（図3.3-20）。細胞数は、11月及び6月で少なかったが、8月には急激に多くなり、出現種数も8月に最も多くなった。8月に急激に多くなった珪藻の中で、*Skeletonema* 属以外に *Chaetoceros* 属が顕著に増加した。

一方、動物プランクトンも植物プランクトン同様、8月に個体数が急激に増加し、特に *Oithona davisae* などの節足動物門が増加した。

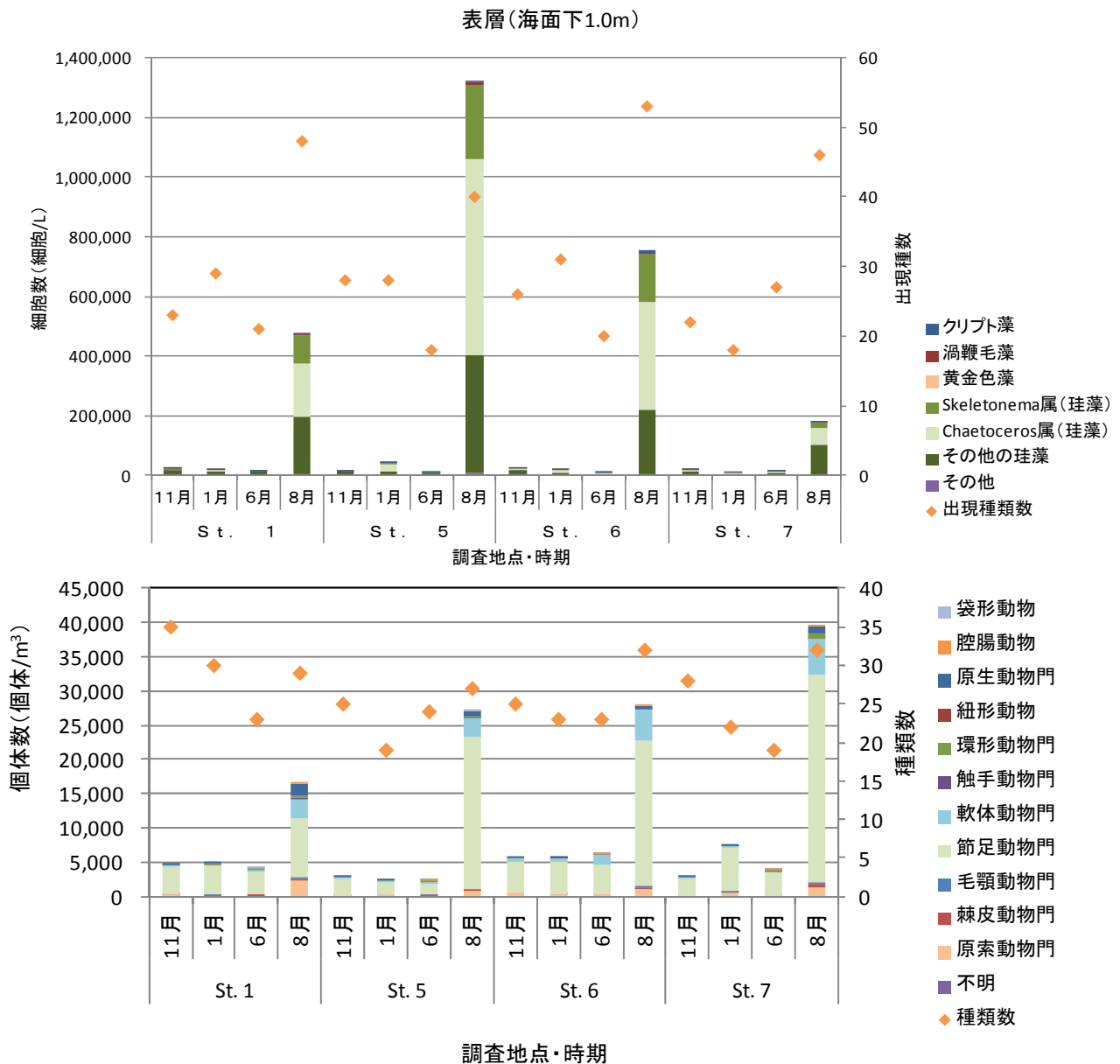


図 3.3-20 三津湾における動、植物プランクトン調査の結果
(上：植物プランクトン、下：動物プランクトン)

(2) 底生生物

- ✓ 8月に個体数が多くなる傾向がみられた。
- ✓ 8月にはカタマガリギボシイソメが優占種となり、St. 5 ではシズクガイが優占種となった。
- ✓ 優占種の食性は、ほとんどが堆積物摂食者であった。
- ✓ アサリは確認されなかった。

底生生物の個体数は、8月に多くなる傾向があり、St. 2 で最も多く出現した (図 3.3-21)。その8月には St. 2、4 及び 5 でカタマガリギボシイソメが最優占種となり、さらに St. 5 では硫化物耐性が強いと考えられるシズクガイも優占した。また、優占種の食性を調べた結果、ほとんどが堆積物摂食者であった (表 3.3-3)。なお、アサリは全調査期間を通じて確認されなかった。

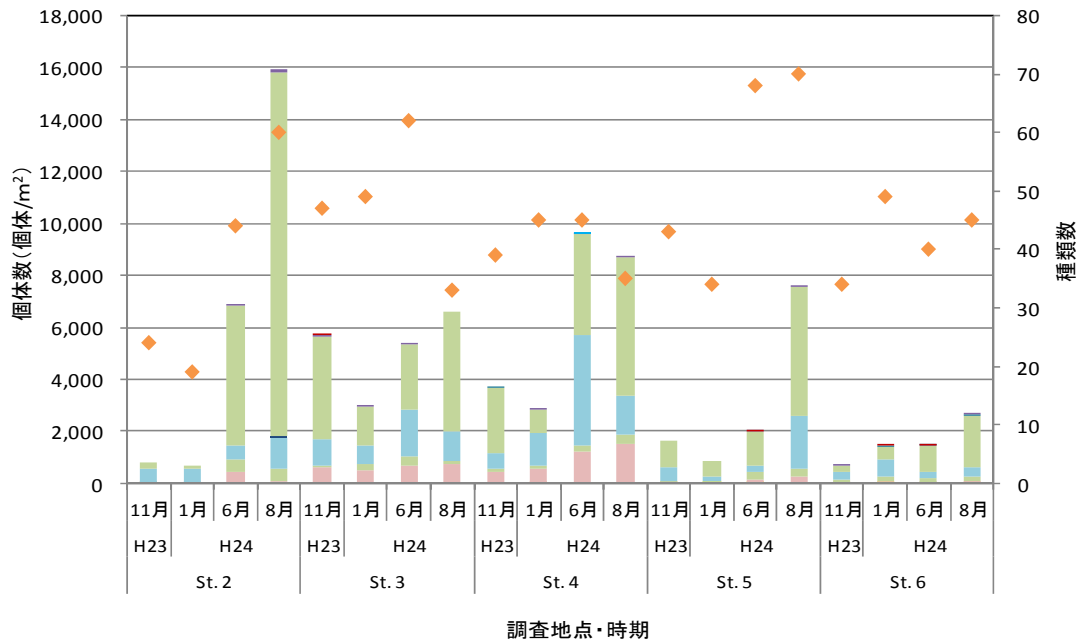


図 3.3-21 三津湾における底生生物調査の結果

表 3.3-3 優占種（底生生物）の食性

St. 2	H23.11(秋季)	H24.1(冬季)	H24..6(春季)	H24.8(夏季)
第1優占種	エドガワミズゴマツボ	マツシマコメツブガイ	ミナミシロガネゴカイ	カタマガリギボシイソメ
第2優占種	カタマガリギボシイソメ ムシロガイ	シズクガイ	カタマガリギボシイソメ	ナガオタケフシゴカイ
第3優占種		エドガワミズゴマツボ	<i>Chone</i> sp.	
第4優占種		カタマガリギボシイソメ	コケゴカイ	
第5優占種			<i>Thelepus</i> sp.	

St. 3	H23.11(秋季)	H24.1(冬季)	H24..6(春季)	H24.8(夏季)
第1優占種	タケフシゴカイ科	<i>Ophiopeltis</i> sp.	<i>Chone</i> sp.	ニホンヒメエラゴカイ
第2優占種	カタマガリギボシイソメ	カタマガリギボシイソメ	<i>Ophiopeltis</i> sp.	カタマガリギボシイソメ
第3優占種	<i>Ophiopeltis</i> sp.	ナガオタケフシゴカイ	マツシマコメツブガイ	ナガオタケフシゴカイ
第4優占種	ニホンヒメエラゴカイ	マルヘノジガイ	ホトギスガイ	セマタスエモノガイ
第5優占種		<i>Glycinde</i> sp. <i>Polydora</i> sp.	ナガオタケフシゴカイ	<i>Ophiopeltis</i> sp.

St. 4	H23.11(秋季)	H24.1(冬季)	H24..6(春季)	H24.8(夏季)
第1優占種	<i>Heteromastus</i> sp.	<i>Ophiopeltis</i> sp.	マルヘノジガイ	カタマガリギボシイソメ
第2優占種	カタマガリギボシイソメ	マルヘノジガイ	<i>Chone</i> sp.	<i>Ophiopeltis</i> sp.
第3優占種	タケフシゴカイ科	<i>Heteromastus</i> sp.	<i>Ophiopeltis</i> sp.	ナガオタケフシゴカイ
第4優占種	<i>Notomastus</i> sp.	カタマガリギボシイソメ	カタマガリギボシイソメ	マルヘノジガイ
第5優占種	<i>Ophiopeltis</i> sp.	マツシマコメツブガイ	ヒメシラトリガイ	<i>Heteromastus</i> sp.

St. 5	H23.11(秋季)	H24.1(冬季)	H24..6(春季)	H24.8(夏季)
第1優占種	カタマガリギボシイソメ	<i>Heteromastus</i> sp.	カタマガリギボシイソメ	カタマガリギボシイソメ
第2優占種	ムシロガイ	カタマガリギボシイソメ	<i>Heteromastus</i> sp.	シズクガイ
第3優占種	<i>Heteromastus</i> sp.	ムシロガイ	<i>Thelepus</i> sp.	ニホンヒメエラゴカイ
第4優占種	ニホンヒメエラゴカイ	<i>Marphysa</i> sp.		ナガオタケフシゴカイ
第5優占種	キヌボラ			<i>Heteromastus</i> sp.

St. 6	H23.11(秋季)	H24.1(冬季)	H24..6(春季)	H24.8(夏季)
第1優占種	カタマガリギボシイソメ	カタマガリギボシイソメ	ナガオタケフシゴカイ	ナガオタケフシゴカイ
第2優占種	シズクガイ	シズクガイ	カタマガリギボシイソメ	カタマガリギボシイソメ
第3優占種	ヒメカノコアサリ	ヒメカノコアサリ	シズクガイ	シズクガイ
第4優占種	<i>Amphiplus</i> sp.		<i>Euphilomedes</i> sp.	ニセタマグシフサゴカイ

オレンジ 堆積物摂食者
 緑 懸濁物摂食者
 青 肉食者
 黒 不明

※優占種の定義：各地点における上位5種以内、かつ出現頻度が5%以上の種

(3) 食害魚

- ✓ 近隣海域で食害魚とされているウマツラハギ、クロダイなどが確認された。

食害魚調査から、平成 23 年 11 月にウマツラハギ、コモンフグ、クロダイが確認され、平成 24 年 6 月にはウマツラハギ以外にアナハゼ、アミメハギ、メバルが確認された (図 3.3-22)。

広島県の厳島西部における調査では、夏季～秋季にマガキがクロダイやコモンフグに捕食されていることが報告されており (斉藤ら、2008)、それ以外に、フグ、ウマツラハギ、エイ類 (ナルトビエイなど)、イシダイ、アカニシなどが挙げられている (塚村ら、2009)。

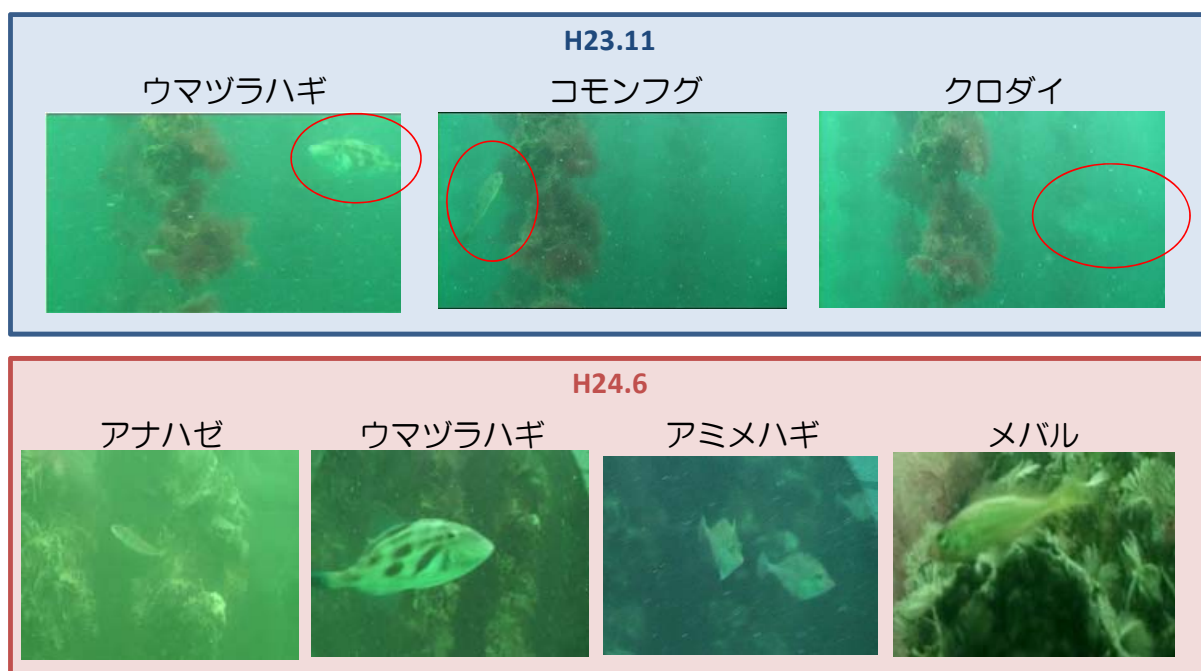


図 3.3-22 三津湾で確認された魚類

斉藤英俊・中西夕佳里・重田利拓・海野徹也・河合幸一郎・今林博道 (2008) 広島湾におけるマガキ種苗に及ぼす魚類の捕食の影響. 日本水産学会誌, 74(5), pp. 809-815.

塚村慶子・倉本恵治・佐々木憲吾・馬場祥宏 (2009) 広島かき養殖における魚類の食害実態調査. 広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター研究報告, 52, pp. 48-51.

(4) アマモの分布

✓ アマモは三津湾西部の沿岸域に多く分布していた。

三津湾においてアマモは、西側の沿岸域に集中して分布しており、藍之島から東南に位置する浅瀬にもわずかであるが、アマモを確認した（図 3.3-23）。また、西側沿岸域の一部及び大芝島沿岸域では、アマモ場だけでなく、ガラモ場も確認した。

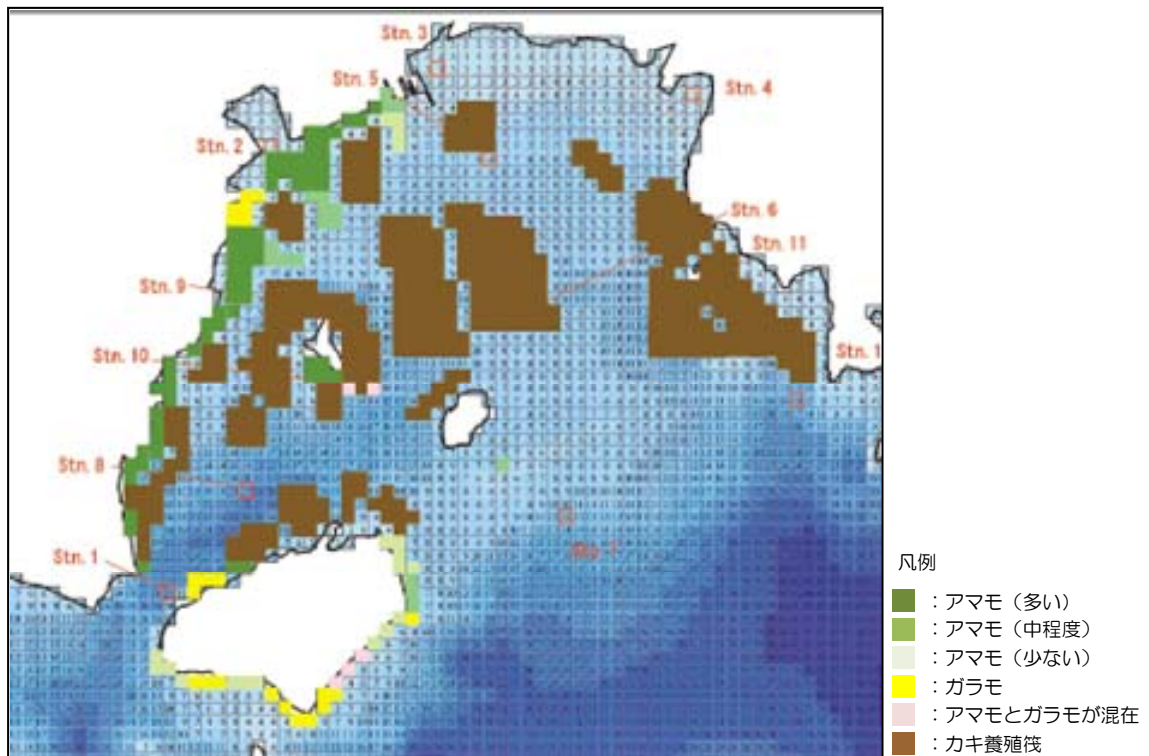


図 3.3-23 三津湾における藻場の状況

(5) 附着珪藻

✓ 底質中のChl. aは、8月に比べて6月の方が高かった。

調査結果から、三津湾の底質中（表層0～1cm）のChl. aは、6月に33.7～101.9mg/m²の範囲内であり、St. 3及び5で高かった（図3.3-24）。8月になると、5.6～70.6mg/m²の範囲内になり、6月に比べて全体的に低くなったものの、St. 5で最も高く、地点間の傾向は6月と似ていた。

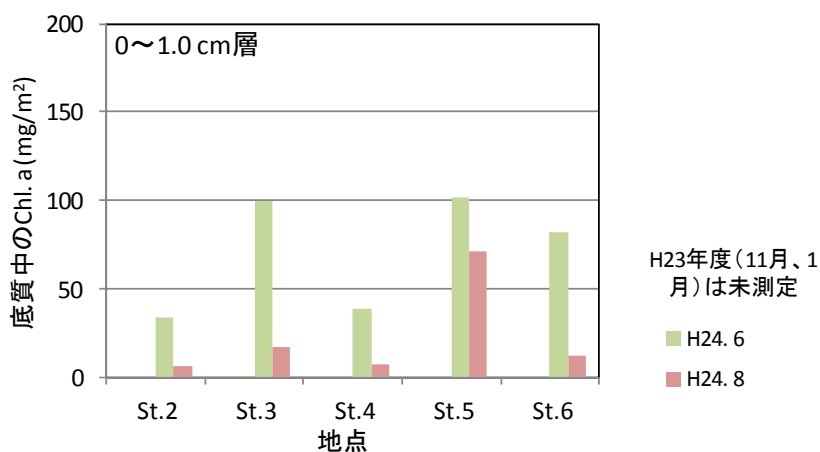


図3.3-24 三津湾の表層堆積物（0～1cm）のChl. a

3.4 健全化に向けての課題の抽出

3.4.1 インパクトレスポンスフローによる課題の抽出

- ✓ 河川からの流入負荷より、湾外水の流入の方が大きい。
- ✓ 湾奥の一部の海域において、底質の硫化物濃度などが高い。

物質循環のバランスが抱える課題を抽出するために、物質循環に係わる自然的条件、社会的条件及び現地調査結果を簡易にインパクトレスポンスフロー（図 3.4-1）として整理した。

フローからわかるように、湾全体をみると貧酸素水塊が発生していないことから、良好な環境であると推察される。しかし、湾外水の影響が大きく、栄養塩類の濃度が低いこと、さらに湾奥の一部の海域では底質の硫化物濃度などが顕著に高いことが示唆された。よって、三津湾における健全化に向けての課題は、以下のようにした。

- 河川からの流入より湾外水の流入の方が大きく、栄養塩類の濃度が低い。
- 湾奥の一部の底質で硫化物濃度などが高い。

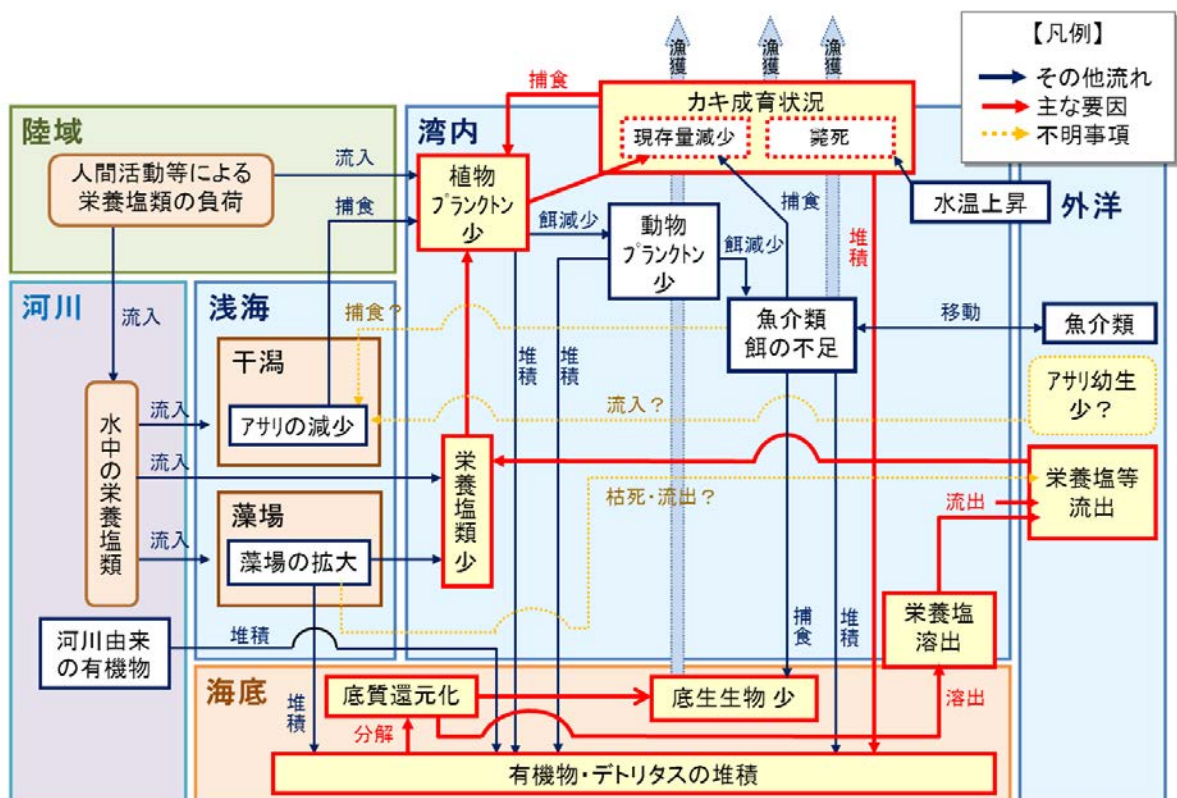


図 3.4-1 三津湾におけるインパクトレスポンスフロー

3.4.2 課題の要因分析 等

- ✓ 現地調査から、三津湾の水質には湾内全域に影響する不健全な事象の要因（貧酸素水塊の発生など）は確認されていない。
- ✓ カキ筏の下（周辺）では局所的な底質の悪化が確認されている。
- ✓ 栄養塩の湾外への流出などにより、カキの成育に十分な基礎生産力がない可能性がある。
- ✓ カキの摂餌圧と植物プランクトン現存量のバランスの欠如

三津湾において、現地調査及びシミュレーションの結果より、不健全な事象の要因に対する仮説を以下のように検証した。

(1) 基礎生産力の低下

不健全な事象の要因の1つである基礎生産力の低下の原因として、「栄養塩不足」及び「カキの摂餌」が挙げられる。また、不健全な事象である「カキの小粒化（成育不良）」は、「植物プランクトンの種組成」の影響も受けている可能性がある。これらの原因のメカニズムを以下のように検証した。

1) 栄養塩不足

- ✓ 湾内の栄養塩類及び植物プランクトンが、速やかに湾外に流出するため、湾内における基礎生産が低くなる可能性がある。

栄養塩（DIN 及び $\text{PO}_4\text{-P}$ ）は、近隣海域と比べてほとんど差異がなく、低い水準であった。この低濃度の栄養塩を引き起こす原因として、湾外との海水交換や陸域からの流入負荷の減少が考えられる。

シミュレーションの結果によれば、湾内水の滞留時間は約 2.5 日と短い期間であり、湾内の物質が湾外に流出しやすい結果が得られた。このことは、湾内の海水交換が良く、湾内に物質が留まりにくいことを示す。

また、陸域からの栄養塩類の供給量をみると、流入河川からの負荷量を計算した結果、季節変動のほか、2007 年以降、全般にやや減少していた（図 3.4-2）。また、2007 年 3 月に運用開始した安芸津浄化センターからの負荷量を計算すると、溶存態窒素の流入負荷は概ね横ばい、りん酸態りんは微増の傾向がみられた（図 3.4-3）。

しかし、シミュレーションの計算結果をみると、T-N 及び T-P の湾内外への流入量は、河川に比べて一桁以上多かった（図 3.4-4）。

したがって、三津湾において栄養塩類が低濃度である原因の1つとして、陸域からの負荷量の現象ではなく、湾内の栄養塩などが湾外に流出する、または湾外の低濃度の栄養塩が湾内に流入することが考えられた。つまり、三津湾において基礎生産力が低いことは、それらに起因していると考えられた。

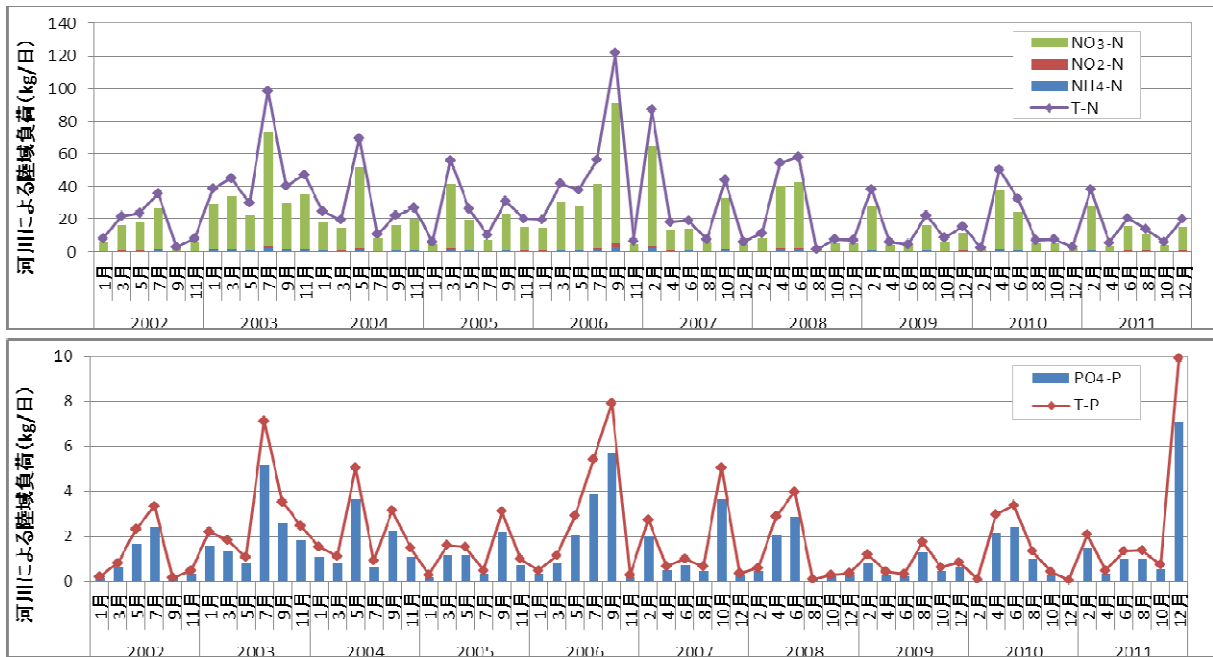


図 3.4-2 三津湾の流入河川による負荷量

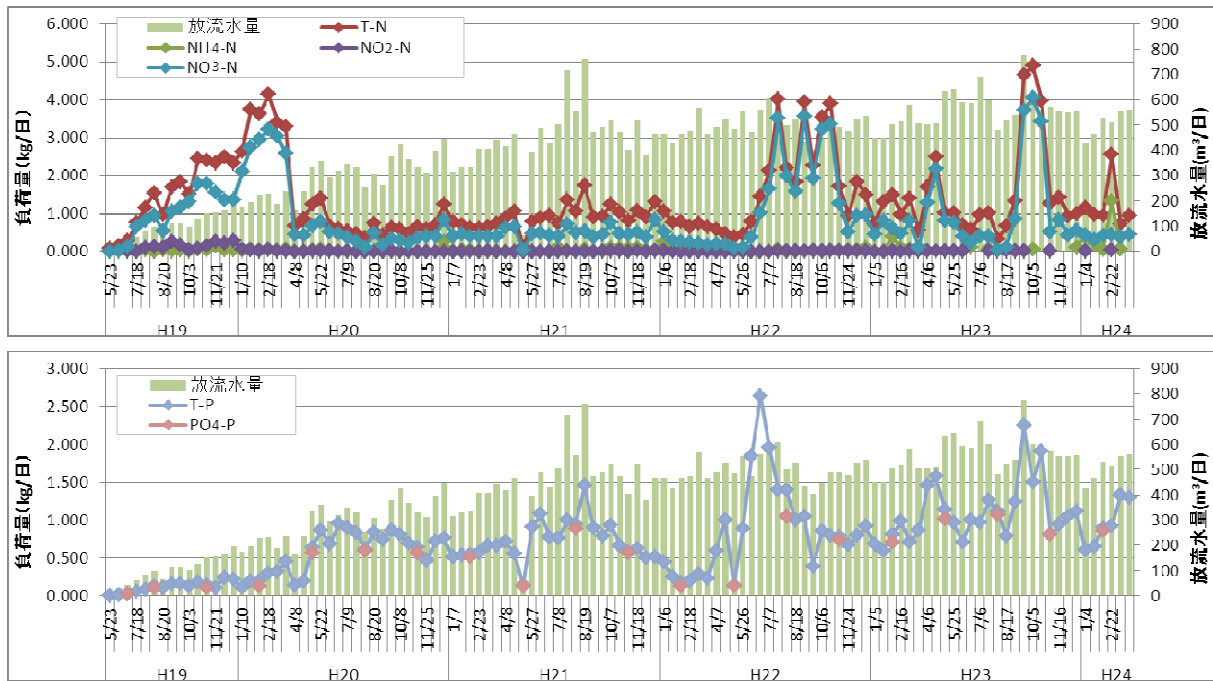


図 3.4-3 安芸浄化センターからの流入負荷量

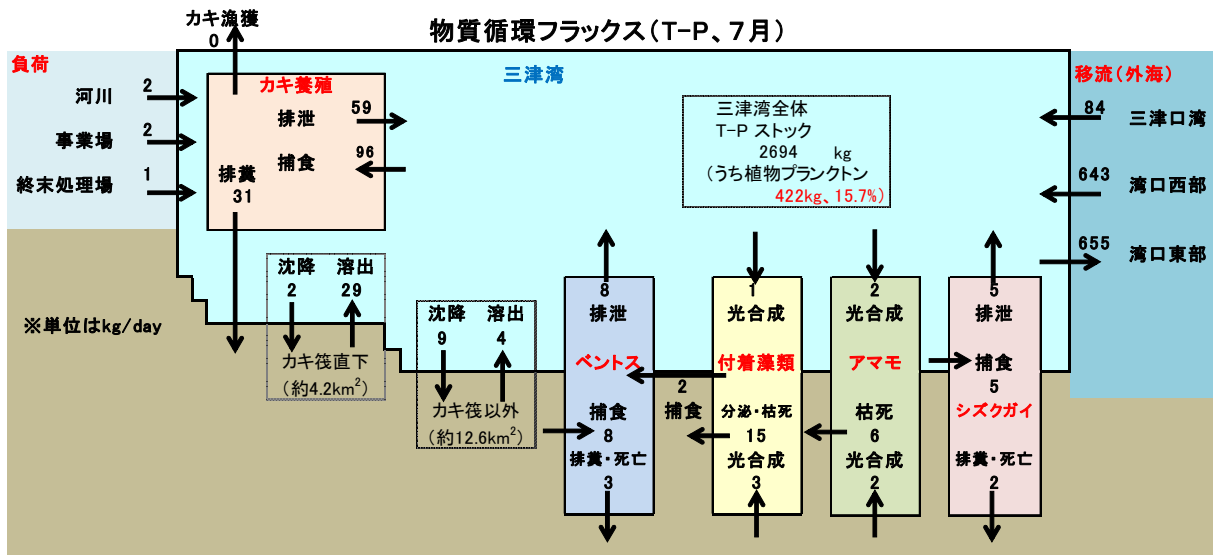
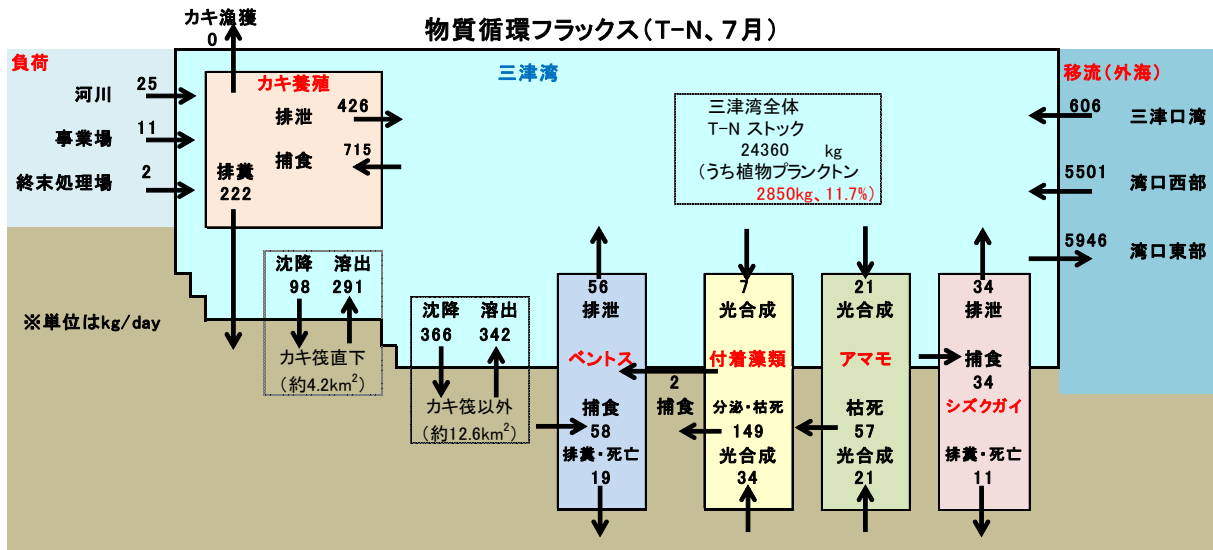


図 3.4-4 T-N (上) 及び T-P (下) のシミュレーション結果

2) カキの摂餌

- ✓ カキの摂餌量に対して植物プランクトン量が少なく、バランスが悪い。

基礎生産力の低下には、カキの摂餌も影響している可能性がある。

植物プランクトンの細胞数は、11月、1月及び6月に少なかったが、8月に顕著に多かった。また、動物プランクトンも同様に、8月に顕著に多かった。公共用水域水質調査結果をみると、三津湾に最も近い調査地点(安芸津・安浦地先4)で、2012年8月のChl. aは検出限界(0.5µg/L)未満であった。

三津湾で養殖されているカキはマガキである。そのマガキは、7、8月の濾水量が他の月に比べて低くなり(楠木、1978)、さらにマガキの鰓の繊毛運動は産卵期(6~8月)に鈍くなる(森ら、1965)ことが報告されている。

これらのことから、植物プランクトンが8月に顕著に多かった要因は、水温が上昇し、カキの摂餌が少なくなったためだと考えられ、他の月に植物プランクトンが少なかったのはカキの摂餌が多かったためだと考えられた。

したがって、三津湾の植物プランクトンの細胞数は、マガキの摂餌による影響が大きく、少なくとも6~8月を除く月には、マガキの摂餌量によって植物プランクトン量が少ないことが懸念された。

3) 植物プランクトンの種組成

- ✓ 植物プランクトンの中でも増殖速度が速い珪藻が卓越しやすく、種組成としては問題がないと考えられる。

一般に珪藻は、渦鞭毛藻などの他綱に比べて増殖速度が速く、生産性が良い。つまり、渦鞭毛藻が優占種であった場合、珪藻よりも餌として十分な現存量をカキに供給できない可能性がある。また、近年、瀬戸内海では *Heterocapsa circularisquama* によって、二枚貝の斃死が起きており、餌生物となる植物プランクトンの種によっては、斃死する可能性がある。

植物プランクトンの調査結果から、珪藻の割合は61.1~92.3%であり、植物プランクトンの種組成に問題がない上、*H. circularisquama* などのマガキの成育に影響する種は確認されなかった。

以上のことから、植物プランクトンの種組成がマガキの成育及び斃死に影響している可能性は低いと考えられた。

4) 基礎生産力の低下のメカニズム

- ✓ 基礎生産力が低いことに対する要因として、主に三津湾の海水交換が短く、湾外水の影響を受けやすいためだと考えられる。

以上の検証を図3.4-5のようにまとめた。三津湾の基礎生産力が低い要因として、湾外水との交換が良く、湾内に物質が留まりにくいことが考えられた。さらに、マガキの非産卵期(6~8月以外)では、マガキの摂餌が多く、植物プランクトンがほとんど捕食されている可能性があり、それが見た目の基礎生産力の低下につながっていると考えられた。

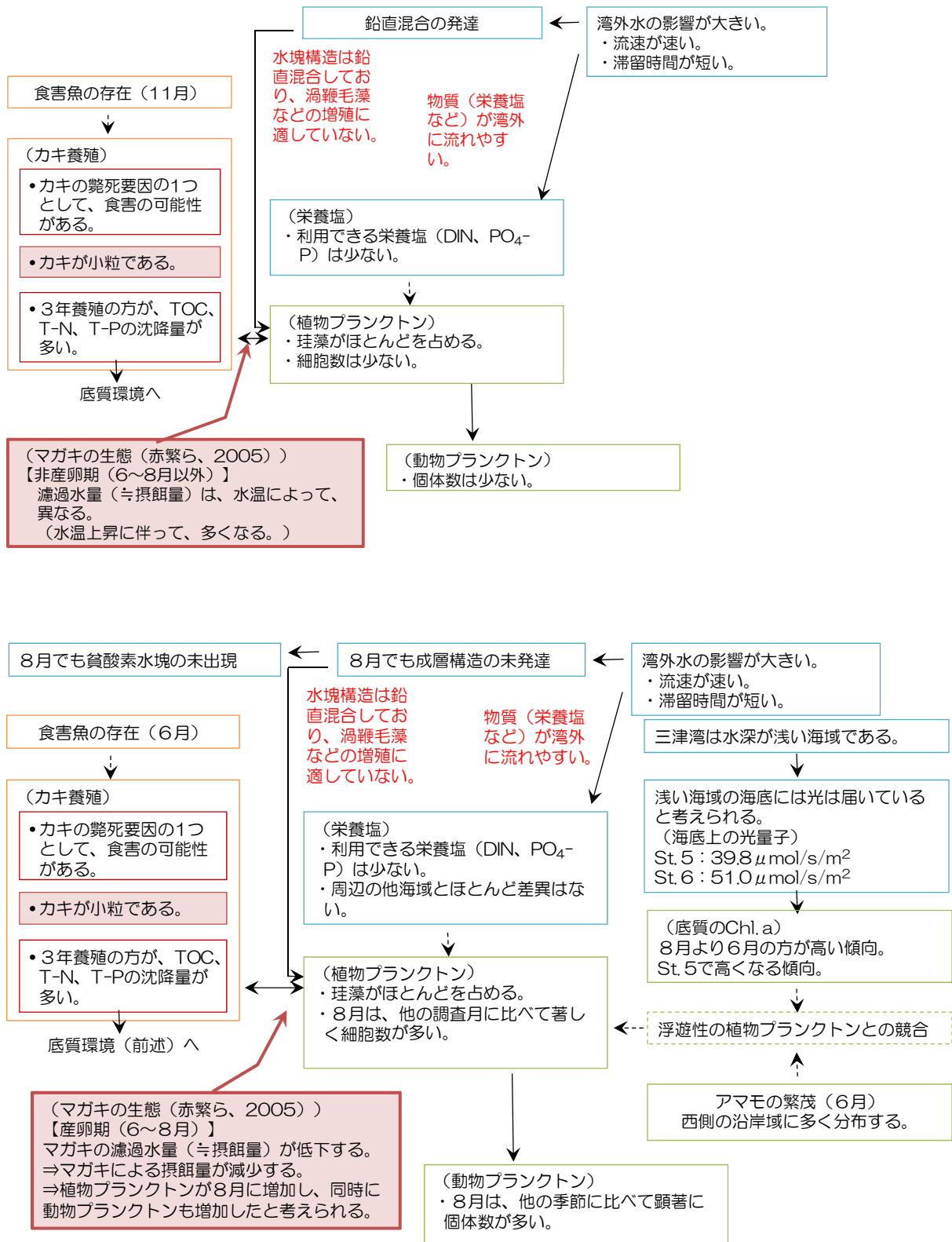


図 3.4-5 三津湾における水質環境（上：11月及び1月、下：6月及び8月）

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. 生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「ベントスによる底質浄化機能の低下」が考えられる。そこで、三津湾の底質を整理した上で、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、粒度が細かかったことから、細かい粒子でも堆積しやすい、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。同地点の COD は他地点と比べてほぼ同等もしくは若干高かったが、T-N、T-P 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年通じて超過した。

St. 5 以外の地点は、1年を通じて水産用水基準の超過し続けることはなかった。

よって、三津湾の底質はほとんどの海域で COD 及び硫化物が水産用水基準を超過し続けることはなく、良好な底質環境であるものの、一部の海域で底質環境が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の底質の悪化要因の1つとして、カキ養殖筏からの負荷の可能性はある。

セジメントトラップ調査の結果から、1月に比べて8月に多くの沈降粒子を確認した。沈降粒子に含まれる TOC、T-N 及び T-P は、1年養殖筏直下（イキス[※]もしくはヨクセイ[※]）に比べて、3年養殖筏直下（ノコシ[※]）の方が1日あたりの負荷量が大きかった。3年養殖カキ筏直下（St. 5）における底質悪化は、川口ら（2011）と同様、養殖期間が長く、サイズが大きくなったカキの排糞による TOC、T-N、T-P 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年養殖筏付近である 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。

したがって、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（硫化物など）によって、特異的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。この現存量の変化は、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ではなく、底質の性状、餌の供給及び捕食者による影響に応じたものであると考えられた。

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[※]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た。また、St. 5 においては、8月調査

時の優占種として、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、St. 5では8月に現存量が多くなったものの、汚濁指標種のカタマリギボシイソメや硫化物耐性種のシズクガイが多く、その要因として、St. 5では底質のCOD及び硫化物が多いためだと考えられた。

また、ベントスの食性をみると、ほとんどの優占種が堆積物捕食者であり、堆積物の有機物を餌としていると考えられた。

これらのことから、ベントス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T-N、T-P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。この底質悪化の要因として、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一番の要因だと考えられた。

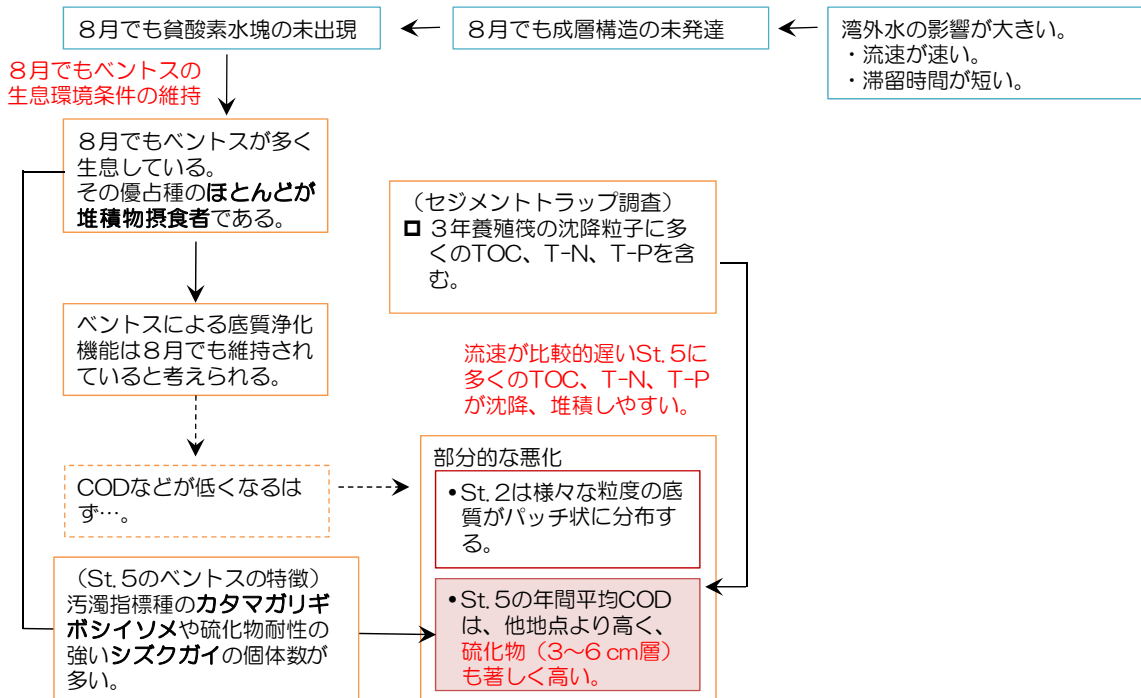


図 3.4-6 三津湾における底質環境

※イクス、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。

- イクス：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：イク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

※汚濁指標種とは・・・

環境因子をよく反映する生物のことであり、汚濁（有機物が多いなど）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い。

食害調査の結果から、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ており、これらの魚類は、近隣海域で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、食害によるカキの斃死の可能性は否定できなかった。

(4) まとめ

前述した検証結果より、各不健全な事象の要因を表 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く、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 ✓ カキ自体の摂餌量に比べて、植物プランクトンが少ない
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に寄与する可能性は否定できなかった ✓ 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存在する。

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 年を境に減少傾向がみられていたが、近年ではほぼ横ばいである（図 4.1-1）。また、三津湾のほぼ全域でカキ養殖を実施している（図 4.1-2）。

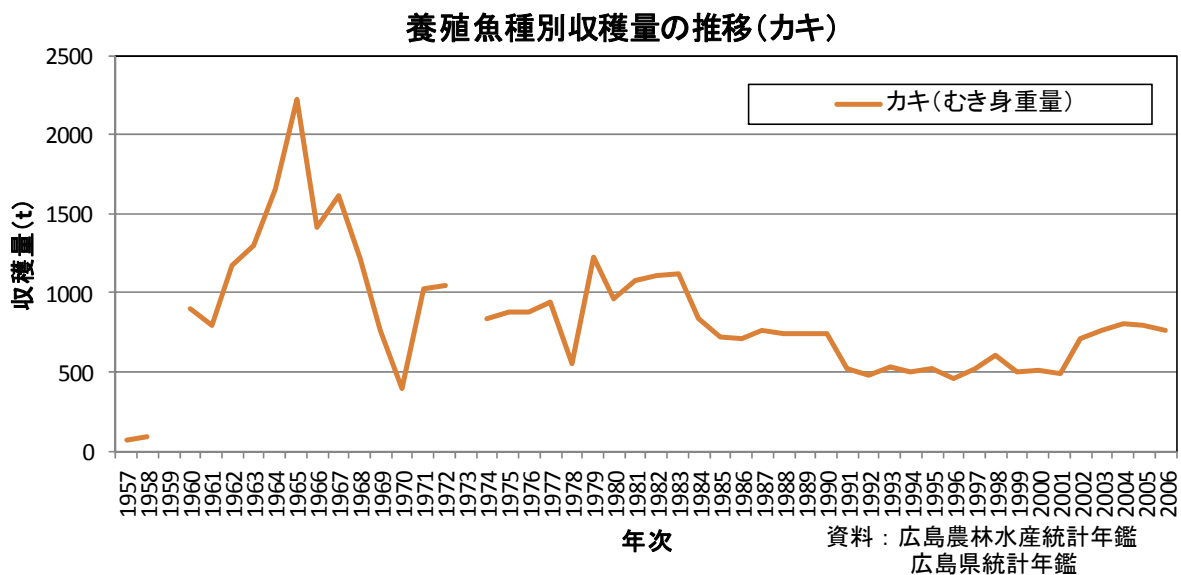
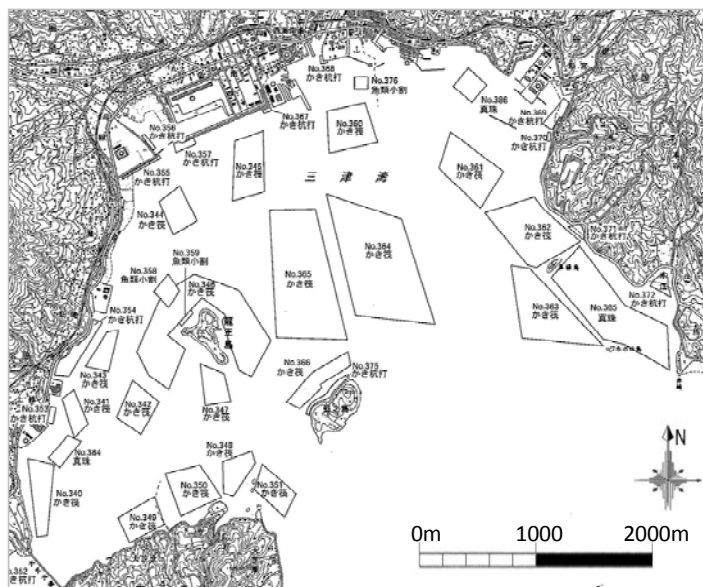


図 4.1-1 三津湾のカキ（むき身重量）の推移



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し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ていなかったが、本事業において現地調査を実施したところ、

- ✓ 湾外水の影響が大きい
- ✓ 魚介類に影響を及ぼすような貧酸素水塊が発生しにくい
- ✓ 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
- ✓ 一部の海域の底質において、硫化物濃度が高いなどの底質悪化が確認された

と、三津湾では、現在、比較的良好な環境であるが、一方では課題が抽出され、特に局所的な底質悪化により、今後、水質などの悪化は否定できなかった。

三津湾において、その一部の課題に対策を実施して解消するには、望ましい海域像を各主体（行政、漁業者、専門者など）で共有しておくことが重要である。その際、望ましい海域像を過去に遡り、例えば高度成長期や海域利用（養殖など）の実施以前の海と設定するのは現実的でない。つまり、三津湾の場合、カキ養殖業などの海域利用が盛んなことから、それらと共存できるような形で定義する方が良い（図 4.2-1）。

したがって、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、今回定義した望ましい海域像は、社会情勢や自然環境の変動などによって、適宜、見直していく必要がある。

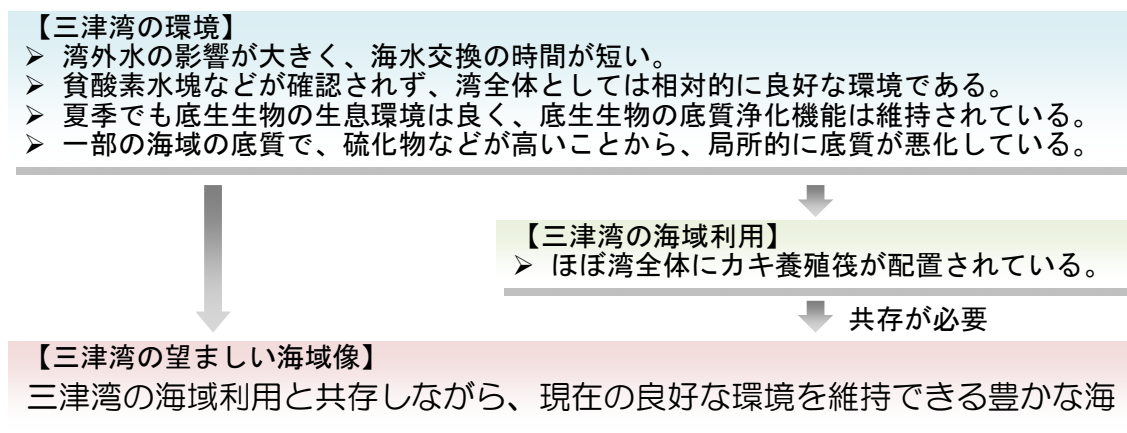


図 4.2-1 三津湾の環境から望ましい海域像の設定

5. 管理方策策定のプロセス

5.1 健全化基本方針の決定

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

前述したように、三津湾においては、局所的な底質の悪化が確認されている。その不健全な事象により、今後、水質などが悪化（物質循環バランスの悪化）する可能性は否定できない。また、三津湾はカキ養殖による海域利用が盛んであることから、それに対しても配慮し、物質循環の健全化に資する方策を実施することが重要である。

以上のことから、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」と基本として、「栄養塩不足対策」を併用することとした。なお、栄養塩不足対策を実施した場合、栄養塩が湾外に流出し、周辺海域で富栄養化の原因になる可能性を検討する必要がある。

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 管理方策（案）リスト（1）

【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	<p>【主な改善対象】底質</p> <p>【主な指標項目】底質の成分、DO、栄養塩</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 貧酸素水塊の発生の抑制 • 底泥からの栄養塩供給の抑制 • 生物生息状況の変化 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<p>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.</p> <p>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.</p>
【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	<p>【主な改善対象】底質</p> <p>【主な指標項目】底質の成分（AVS（酸揮発性硫化物）、有機物など）</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • AVS や有機物量の減少（低水温期を除く） 	<ul style="list-style-type: none"> • 経費が安い • 漁業者が実施可能な簡便な方法 	<ul style="list-style-type: none"> • 効果が一時的である • 一時的に海底直上の DO が下がる 	<p>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.</p>
【底質改善剤】 （熱風乾燥カキ殻）	底質中の硫化物イオンを吸着し、底質を改善する	<p>【主な改善対象】底質</p> <p>【主な指標項目】底質の成分（AVS や有機物など）や底質間隙水の成分（硫化水素など）</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • AVS や間隙水中の硫化水素の減少 	<ul style="list-style-type: none"> • 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） • 方法によっては、漁業者でも実施可能になる 	<ul style="list-style-type: none"> • カキ養殖筏などの直下で実施する場合は、工夫が必要 	<p>T. Yamamoto, S. Konco, 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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
【人工中層海底】	カキ筏直下に沈降有機物をトラップする構造物を設置する	<p>【主な改善対象】底質への負荷の軽減</p> <p>【主な指標項目】底質の成分（有機物、T-N、T-P など）</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 沈降物を水中で回収するため、海底への有機物負荷を減少させる • 中層水中の好気的環境下における有機物の分解促進 • 生物生息環境の創造 	<ul style="list-style-type: none"> • 方法によっては、漁業者でも実施可能になる 	<ul style="list-style-type: none"> • 設置場所の制限（水深や構造物など） 	<p>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—. 日本水産学会誌, 75(5), pp. 834-843.</p> <p>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回日本水環境学会シンポジウム講演集, pp. 22-23.</p>

表 5.2-1 管理方策（案）リスト（2）

【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
【底生生物（ナマコなど）を用いた底質浄化】	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>【主な改善対象】底質、底生生物</p> <p>【主な指標項目】底質の成分（有機物など）、底生生物の現存量</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> •底質の有機物を底生生物に摂餌させ、減少させる •漁獲対象種（ナマコなど）の成長を促す 	<ul style="list-style-type: none"> •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、漁獲することで栄養塩類を系外除去が可能になる 	<ul style="list-style-type: none"> •成長や生存などをコントロールできない •貧酸素水塊が発生などの悪生息環境だと、効果が得られず、死骸自体が有機物の負荷になる 	岡本健太郎・山本潤・上平大介（2009）底質が汚濁した港南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.

表 5.2-1 管理方策（案）リスト（3）

【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】	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	<p>【主な改善対象】 底質、底生生物</p> <p>【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</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 湾内の物質の滞留時間を長くする • 自然エネルギーの地域利用（洋上発電） • カキの大粒化に期待 	<ul style="list-style-type: none"> • コストが多大にかかる • 海域の富栄養化を適正にコントロールするのが難しい • 貧酸素水塊が発生する可能性が高まる • 水面利用の調整が難しく、現実的でない 	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、または養殖量を削減することで、物質循環を改善する	<p>【主な改善対象】 カキ</p> <p>【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</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 養殖期間（イキス、ヨクセイ、ノコシ）毎の筏を三津湾の環境に合わせて、場所を変更する • カキ養殖量を三津湾の環境収容力に合わせて、削減する 	<ul style="list-style-type: none"> • 湾内の物質の滞留時間を長くする • 養殖量の削減に伴うカキの大粒化に期待 	<ul style="list-style-type: none"> • 地元産業との兼ね合い • 海面利用上の調整が必要 	
【施肥】	カキの付着物または枯れたアマモを水中に係留し、それらが分解されることにより、栄養塩濃度を上昇させる	<p>【主な改善対象】 栄養塩の添加</p> <p>【主な指標項目】 水質（栄養塩類、植物プランクトンなど）</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • カキ殻の付着物を活用する。 	<ul style="list-style-type: none"> • 地元住民、関係者の理解が必要 • 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）下水処理水を放流し、栄養塩濃度を上昇させる。	<p>【主な改善対象】 栄養塩の添加</p> <p>【主な指標項目】 栄養塩類、植物プランクトンなど</p> <p>【効果】</p> <ul style="list-style-type: none"> • 栄養塩濃度が高い下水処理水が添加されることで、栄養塩濃度を上昇させる。 • 栄養塩濃度の上昇によって、植物プランクトンが増える 	<ul style="list-style-type: none"> • 既存施設の活用 	<ul style="list-style-type: none"> • 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

- ✓ 数多くの方策のうち、管理方策を絞り込んだ結果、以下の方策の効果検証を行うこととなった。

【実証試験＋シミュレーションモデルによる計算】

- 底質改善剤の鋤き込み（底質改善剤＋耕耘）

【シミュレーションモデルによる計算】

- 人工中層海底
- カキ養殖量の調整
- 下水処理水の放流調整
- 施肥

表 5.2-1 に挙げた方策のうち、その中から実際に三津湾地域で実施していく方策（実証試験）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、養殖カキのレンガ、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と考えられる。

- ✓ 効果が現れるまでの期間

対策の効果が現れるまでの期間は、対策によって異なる。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、対策効果が比較的早く発揮するものが望ましい。

しかし、三津湾では一部で底質悪化が確認されているが、全体的には良好な環境であり、貧酸素水塊の発生は確認されていない。そのため、今回の場合、本項目の検討は他項目より優先順位は低いですが、今後、見直しする際に、参考になるように検討した。

- ✓ 効果の持続性

管理方策の効果は、課題に対して持続的かつ自律的に将来にわたって解決できることが望ましい。そのために、リストアップした管理方策の効果の持続性についても検討し、絞り込むことが重要である。

- ✓ 簡便性

管理方策を実施する場合、実施主体が誰であるかが重要であり、実施主体がどこであろうとも実施可能な方策が最も望ましい。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、少なくとも漁業者が実施できる簡便性が必要であると考えられる。

- ✓ コスト

管理方策を実施する場合、コストが少なからず掛かることが多い。特に大規模な工事を必要とする方策は、膨大な経費が必要となり、実施しにくい面がある。そこで、参考であるがコストが分かるものだけでも評価することとした。

上記の検討項目を基に、表 5.2-1 で挙げた方策を三津湾地域の現状に考慮して、表 5.3-1 のように評価した。

表 5.3-1 管理方策（案）の評価（1）

【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】	× 水深が浅く、対象海域のカキ養殖場への影響が懸念される	○ 覆砂材及び覆砂厚によるが、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	× 環境経済産業局では、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】	△ 養殖筏を動かす際に、漁船による実施が可能となる	○ AVS（酸揮発性硫化物）は、1日後には効果が現れる	× 有機汚濁に対する軽減効果は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
【底質改善剤】 （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、モデルのシミュレーションの計算結果によると、少なくとも3.2年は持続するとされている	○ 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/20kg
【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、時間を要すると考えられる	△ 持続的に効果を得るには、流速が遅い場所に設置、人工中層海底の形状、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。
【底生生物（ナマコなど）を用いた底質浄化】	○ 底生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	？ 底生生物の生息状況によって変化すると考えられる	？ 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 管理方策（案）の評価（2）

【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	？ 三津湾内の海水交換が悪くなれば、効果は継続する可能性があるが、湾内流況が変化し、他の環境項目が悪化する可能性がある	× 大規模な工事などが必要	× テトラポットの20トンクラス（高さ3m）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不明	○ カキ養殖量を減らして底質改善がみられた場合、カキ養殖量を守れば、改善効果は続く可能性がある	○ 養殖量を減らすのみ	× コスト自体はあまり掛からないと思われるが、養殖量の減少に伴う地域の産業には影響がある
【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	？ 三津湾では海水交換が良いため、瞬時に栄養塩濃度を上げるには、相当量の施肥が必要になると考えられる	△ 効果を継続するには、施肥を取り換えるなどのメンテナンスが少なくとも必要	？ 施肥に使われる量や方法によって、簡便性が異なる	△ カキの付着物の場合、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の制限は受けない	△ 排出口付近では瞬時に効果が得られるが、三津湾では海水交換が良いので、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、湾全体への効果が持続するか不明	△ 関係機関の調整	△ 大規模な設備は必要ないが、細かい点でコストがかかる可能性がある

表 5.3-1 の評価結果を受けて、以下の方策に絞った。

【底質改善対策】

- 底質改善剤+耕耘
- 人工中層海底

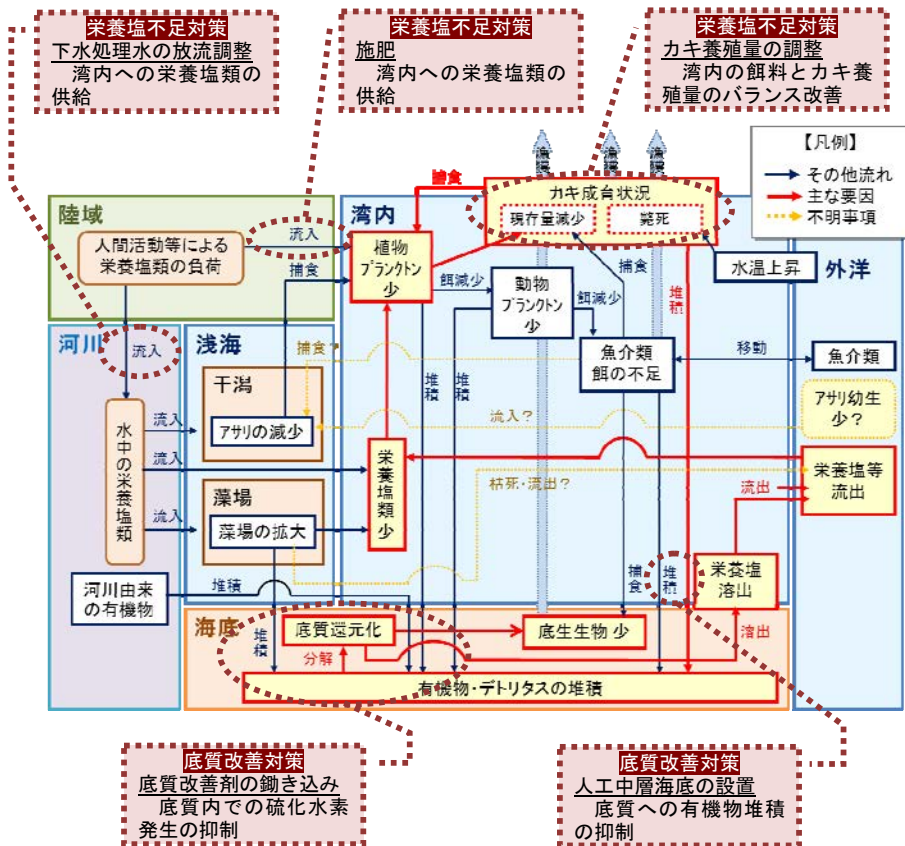
【栄養塩不足対策】

- カキ養殖量の調整
- 下水処理水の放流調整
- 施肥

5.4 管理方策の効果検証 等

前述の方策は、三津湾において物質循環が円滑に進んでいないと考えられる箇所に効果が期待されるものであり（図 5.4-1）、どの程度効果があるかを検証する必要がある。

現在、把握している三津湾の課題は、「局所的な底質の悪化」及び「栄養塩不足」であるが、三津湾の海水交換が良く、栄養塩不足対策は大規模なものないし、関係機関の調整が必要であったため、底質改善対策の実証試験を実施することとした。また、底質の悪化が確認された海域の水深が浅いことから、「人工中層海底」は見送り、現場で実施する実証試験は、底質改善剤+耕耘とした。なお、実証試験として選ばれなかった方策については、シミュレーションによる評価のみで効果を検証することとした（表 5.4-1）。



※図中の引き出し枠（点線）は施すべき対策を示す。

図 5.4-1 三津湾の物質循環と管理方策（案）との関係

表 5.4-1 管理方策（案）リスト

対策	選定理由	効果の把握方法
耕耘	底質改善剤の実施時に、改善剤のみの効果を把握するために実施	実証試験結果及び シミュレーションによる計算 (方策名:底質改善剤の鋤き込み)
底質改善剤	底質改善剤の効果の即時性、持続性が期待され、硫化物の減少が期待されるため	
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	シミュレーションによる計算
カキの養殖量の調整	実際に養殖量を調整するのは難しく、即時性の効果が不明なので実証試験としては見送った	シミュレーションによる計算
下水処理水の放流調整	関係機関の調整や詳細な検討が難しいため、実証試験としては見送った	シミュレーションによる計算
施肥	三津湾の海水交換が良いことやモデルの試算だと相当量の付着物が付いたカキ殻が必要となるため、見送った (ただし、広島湾と同等の栄養塩レベルにするためにはどの程度の栄養塩が必要かを算出)	シミュレーションによる計算

以下に上記の各方策の検証方法と結果を示す。

5.4.1 底質改善剤の鋤き込み（実証試験及びシミュレーションによる計算）

【底質改善剤の鋤き込み（底質改善剤+耕耘）】

- ✓ 実証試験の結果、硫化物や硫化水素を抑制し、三津湾の局所的な底質の悪化に対する改善効果はあると考えられた。
- ✓ シミュレーションの結果でも同様な結果であり、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（St. 5）において底質の T-N、T-P、硫化物が他地点よりも局所的に高い状態になっている。特に硫化物が高いと硫化水素が発生し、底生生物の生息環境に問題が生じる恐れがある。そのため、底質の硫化物を下げるために、底質改善剤（熱風乾燥カキ殻^{*}）を鋤き込み、硫化水素を低減させる方法を採用した。

(2) 効果の検証方法

1) 実証試験による検証

底質改善剤を鋤き込む際、耕耘効果も影響する。そこで、実証試験では3つの区画（5m×5m）を設け、“改善区（底質改善剤あり）”、“耕耘区（底質改善剤なし）”、“対照区”とし、底質改善剤自体の効果及び耕耘の効果を得ることとした（図 5.4-2）。

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は、表 5.4-2 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

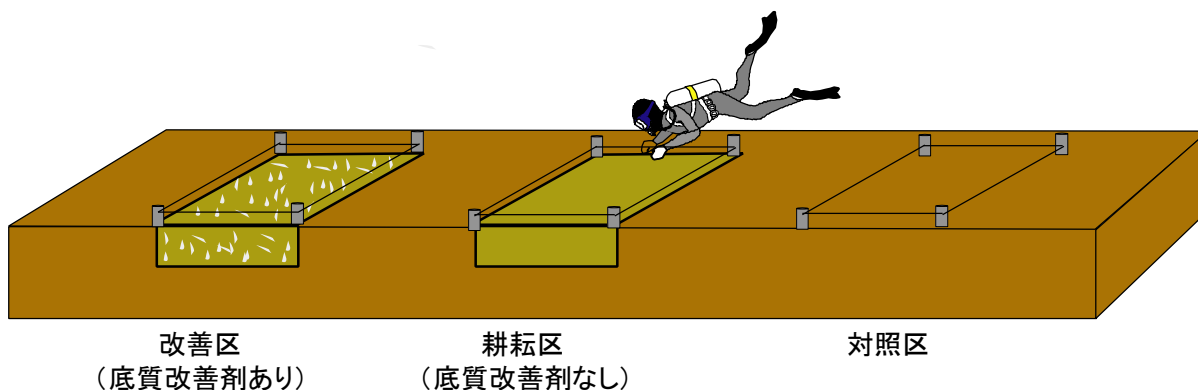


図 5.4-2 実証試験のイメージ

表 5.4-2 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	7月	
施工規模	5m×5m/区画、底層 (0~10cm)	
施工方法	底質改善剤と堆積物の比率を 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	水温、塩分、Chl. 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	底質 (0~10cm 層) の AVS (酸揮発性硫化物)、T-N、T-P、Chl. a
底質間隙水効果の把握	底質間隙水中の成分への効果を把握する	底質 (0~10cm 層) の硫化水素、窒素 (D-T-N、NO ₂ -N、NO ₃ -N、NH ₄ -N) 及びりん (D-T-P、PO ₄ -P)
栄養塩の溶出速度及び酸素消費速度	底質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	底質 (0~30cm 層) から溶出する栄養塩 (T-N、T-P) 及び底質が消費する酸素量
底生生物調査	底生生物に与える効果を把握する	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モデルの設定条件は、以下のようにした (表 5.4-3)。

表 5.4-3 底質改善剤の鋤き込みによるモデルの設定条件

方策	底質改善剤の鋤き込み			
条件	底質間隙水の硫化水素の吸着、底質からのりんの溶出削減			
設定方法	実証試験結果を基に設定 施工直後 (1 か月後) の底質間隙水中の硫化水素が対照区に比べて 87.2%減少、りんの溶出が 99.8%減少させる。 硫化水素の変化の結果から、効果がなくなると予測される日数 (今回は 507 日) に減少率が 0 となるように減少率を直線的に変化させた。			
計算ケース		硫化水素の吸着効果	りんの溶出の削減効果	計算 BOX (図 5.4-3 参照)
	ケース①A	あり	あり	BOX7~9 (モデル上で硫化物の上位 3BOX)
	ケース①B	あり	あり	BOX3~12 (モデル上でカキ養殖筏として設定している全 BOX)
	ケース②A	あり	なし	BOX7~9
	ケース②B	あり	なし	BX03~12
期間	7月1日に施工 (効果開始)			
設定根拠	Yamamoto et al. (2012)			

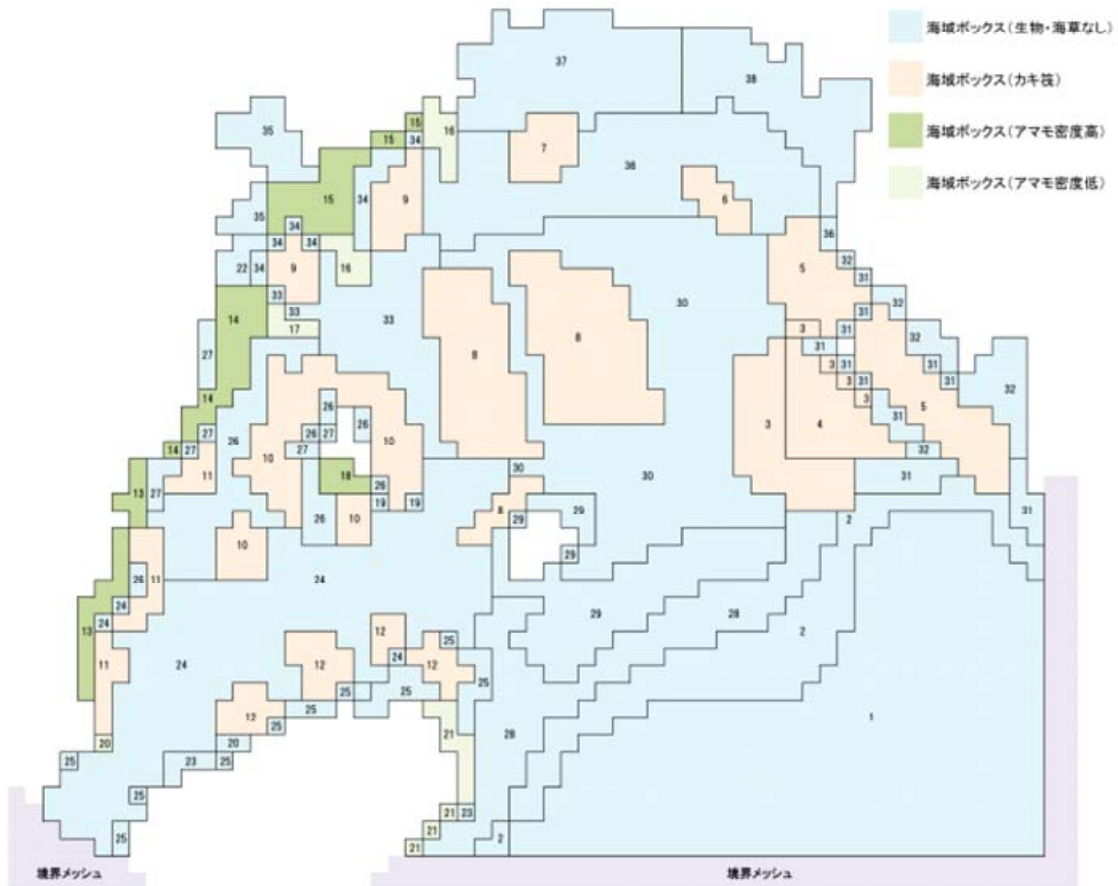


図 5.4-3 モデル上のBOXの位置

(3) 実証試験及びシミュレーションモデルの結果

1) 実証試験の結果

改善区における硫化水素は、施工前に比べて施工1か月後に82.3%の減少がみられ、施工3か月後でも84.4%の減少がみられ、(図5.4-4)。また、他の区画に比べても明らかに減少し、施工1か月後に対照区の12.8%、施工3か月後でも23.8%であった。一方、耕耘区は、対象区とほぼ同じであった。

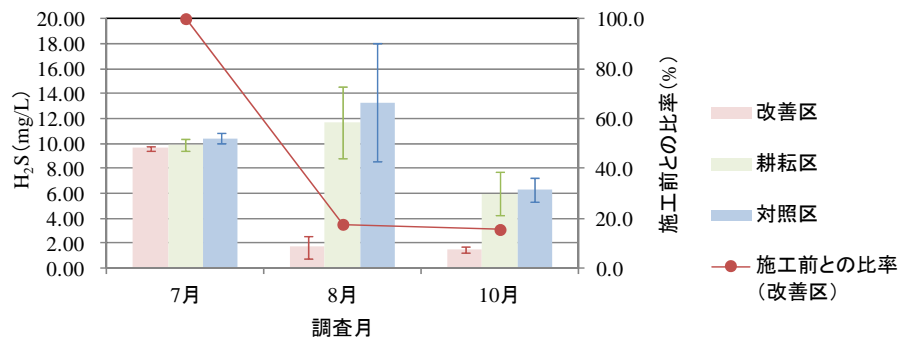


図 5.4-4 実証試験における硫化水素の調査結果

改善区における硫化物（AVS）は、施工前に比べて施工1か月後に76.9%、施工3か月後に50%減少しており（図5.4-5）、硫化水素と同様、他の区画に比べて明らかに低かった。一方、耕耘区では、AVSが減少することはなかった。

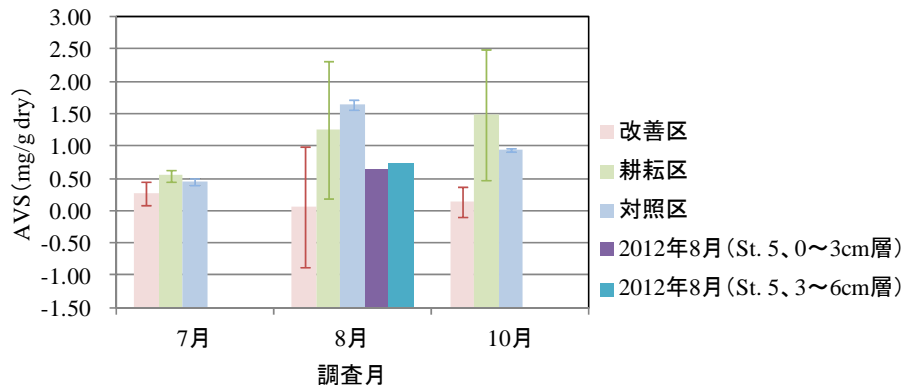


図 5.4-5 実証試験における AVS の調査結果

また、底質及び底質間隙水の窒素及びりんについては、全ての区画で顕著な変化がみられなかった（図5.4-6、7）。

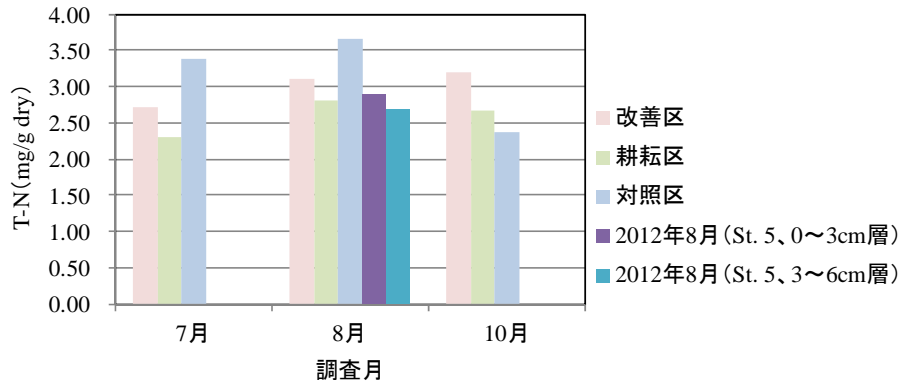


図 5.4-6 実証試験における T-N の調査結果

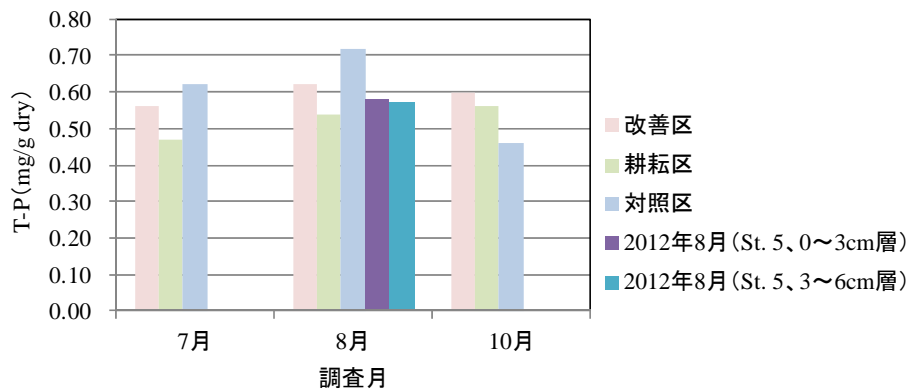


図 5.4-7 実証試験における T-P の調査結果

海底直上水の酸素消費速度は、改善区及び対照区で差がなく、2012年8月の調査結果と比べても差がなかった（表 5.4-4）。一方、底質からの栄養塩の溶出では、改善区における T-N は対照区及び 2012 年 8 月調査に比べて低く、T-P に関しては顕著に低かった（表 5.4-4）。

表 5.4-4 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	T-N の溶出速度 mg/m ² /h	T-P の溶出速度 mg/m ² /h
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

底生生物調査結果、底生生物の現存量は、全区画ともに同様の経時変化がみられたが、改善区において施工 3 か月後に他の区画に比べて若干の回復がみられ（図 5.4-8）、優占種も異なった（表 5.4-5）。

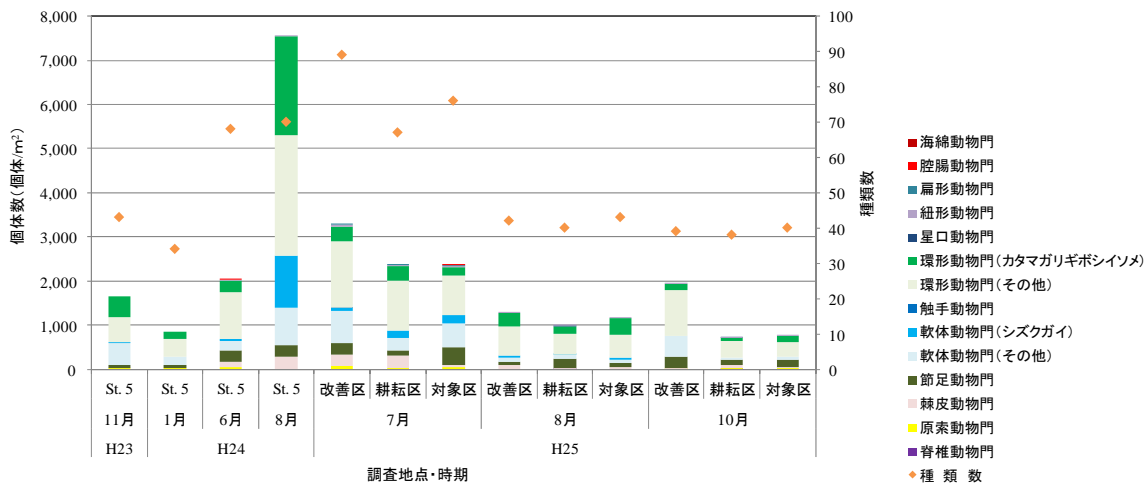


図 5.4-8 実証試験における底生生物調査の結果

表 5. 4-5 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	カタマガリギボシイソメ (10.1) キヌマトイガイ (7.3) <i>Harmothoe sp.</i> (6.1)	カタマガリギボシイソメ (24.5) <i>Heteromastus sp.</i> (14.8) ニホンヒメエラゴカイ (10.2)	ルドルフイソメ (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	カタマガリギボシイソメ (14.1) ニホンヒメエラゴカイ (10.5) <i>Ophiopeltis sp.</i> (8.2)	カタマガリギボシイソメ (17.4) <i>Nebalia sp.</i> (10.8) ニホンドロソコエビ (8.8)	カタマガリギボシイソメ (8.4) <i>Heteromastus sp.</i> (8.4) フサゴカイ科 (6.6) <i>Nebalia sp.</i> (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) <i>Harmothoe sp.</i> (9.0) カタマガリギボシイソメ (7.9) シズクガイ (7.9)	カタマガリギボシイソメ (32.6) フサゴカイ科 (9.2) ニホンドロソコエビ (6.3) <i>Harmothoe sp.</i> (6.3)	カタマガリギボシイソメ (19.9) <i>Pista sp.</i> (6.1) <i>Amaeana sp.</i> (6.1)
St. 5 (昨年度)	種類数		70	
	現存量 (個体/m ²)		7,560	
	優占種		カタマガリギボシイソメ (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、**オレンジ**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) シミュレーションモデルの結果

計算結果確定後、記載予定

5.4.2 人工中層海底の設置（シミュレーションモデルによる計算）

【人工中層海底】

計算結果確定後、記載予定

(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回収するために、カキ養殖筏の直下に人工中層海底の設置を採用し、シミュレーションモデルにより計算し、効果を検討した。

(2) 方策の方法

効果を検証するためのモデルの設定条件は、以下のようにした（表 5.4-6）。

表 5.4-6 人工中層海底によるモデルの設定条件

方法	カキ筏直下に人工中層海底を設置		
効果	カキ筏からの沈降之物（排糞）の捕捉		
設定方法	カキ筏からの排糞量を底泥に堆積（以降）させる際に、人工中層海底による捕捉をモデル外除去/追加として、計数をかけて増減させる。 （カキからの排糞量自体は変化させない）		
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）		

(3) シミュレーションモデルの結果

【シミュレーションモデルの結果】

計算結果確定後、記載予定

5.4.3 カキ養殖量の調整（シミュレーションモデルによる計算）

【カキ養殖量の調整】

計算結果確定後、記載予定

(1) 方策の目的

三津湾の栄養塩不足対策の1つとして、基礎生産を担う植物プランクトンを餌とするカキ養殖量を増減させることが考えられたため、シミュレーションモデルにより計算し、効果を検討した。

(2) 方策の方法

シミュレーションモデルの設定条件は、以下のようにした（表 5.4-7）。

表 5.4-7 カキ養殖量の調整によるシミュレーションモデルの設定条件

方法	モデル上のカキ養殖量を増減させる。				
効果	カキ養殖量の増減によって三津湾の栄養塩類、Chl. a 及びカキの身入りの変化				
設定方法	カキ養殖量を現在の養殖量の 0.5 倍、0.75 倍、1.0 倍（現在）、1.25 倍、1.5 倍にした場合を設定した。				
係数	ケース①	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤
カキ養殖量の増減	現在の 0.25 倍	現在の 0.5 倍	現在（1.0 倍）	現在の 1.25 倍	現在の 1.5 倍
期間	計算全期間で設定				

(3) シミュレーションモデルの結果

【シミュレーションモデルの結果】

計算結果確定後、記載予定

5.4.4 下水処理水の放流調整（シミュレーションモデルによる計算）

【下水処理水の放流調整】

計算結果確定後、記載予定

(1) 方策の目的

三津湾の海水交換が良く、湾外水の影響を受けやすく、湾内の栄養塩濃度が低くなりやすいことが考えられた。湾内で栄養塩類を負荷する1つの手段として、下水処理を排水基準の上限で湾内に放流することが考えられたため、シミュレーションモデルにより計算し、効果を検討した。

(2) 方策の方法

シミュレーションモデルの設定条件は、以下のようにした（表 5.4-8）。

表 5.4-3 下水処理水の放流調整によるシミュレーションモデルの設定条件

方法	下水処理水の栄養塩類の濃度調整
効果	三津湾内の栄養塩類の濃度変化
設定方法	下水処理水から排水される栄養塩類濃度を調整し、湾内の栄養塩類濃度の増減させる
係数	下水処理水の栄養塩類濃度を排水基準（T-N：20mg/L、T-P：2mg/L）とする。
放流量	2010年、2011年の放流量の実績にする。
放流時期	10～11月

(3) シミュレーションモデルの結果

【シミュレーションモデルの結果】

計算結果確定後、記載予定

5.4.5 施肥（シミュレーションモデルによる計算）

【施肥】

計算結果確定後、記載予定

(1) 方策の目的

三津湾では、カキの摂餌量に比べて植物プランクトン量が少なく、バランスが悪いことが懸念された。植物プランクトンを増加させるには、栄養塩の負荷が必要であるが、どの程度負荷すればよいか不明である。そこで、シミュレーションモデルによる計算から、栄養塩をどの程度負荷すれば、良いかを検討する。

(2) 方策の方法

基礎生産量の目標を広島湾として、シミュレーションモデルの設定条件は、以下のようにした（表 5.4-9）。

表 5.4-4 施肥によるシミュレーションモデルの設定条件

方法	栄養塩を直接負荷し、広島湾と同等の基礎生産力にする。		
効果	広島湾と同等の基礎生産力にするには、どの程度の栄養塩が必要かを把握する。		
設定方法	BOX7 において栄養塩を負荷する。		
計算ケース		IN 負荷量 (kg/day)	IP 負荷量 (kg/day)
	ケース①	3,240	650
	ケース②	6,480	1,300
	ケース③	9,720	1,950
期間	10月～11月に実施		

(3) シミュレーションモデルの結果

計算結果確定後、記載予定

6. 物質循環健全化に向けた行動計画

6.1 行動計画の考え方

物質循環を改善するための対策は、地元が主体となり継続して取り組み可能な方法が望ましい。また、施した対策が期待した効果を発揮しているかの検証も必要となる。

三津湾で施すべき対策毎の行動計画（実施方法やモニタリング方法）を以降に整理した。

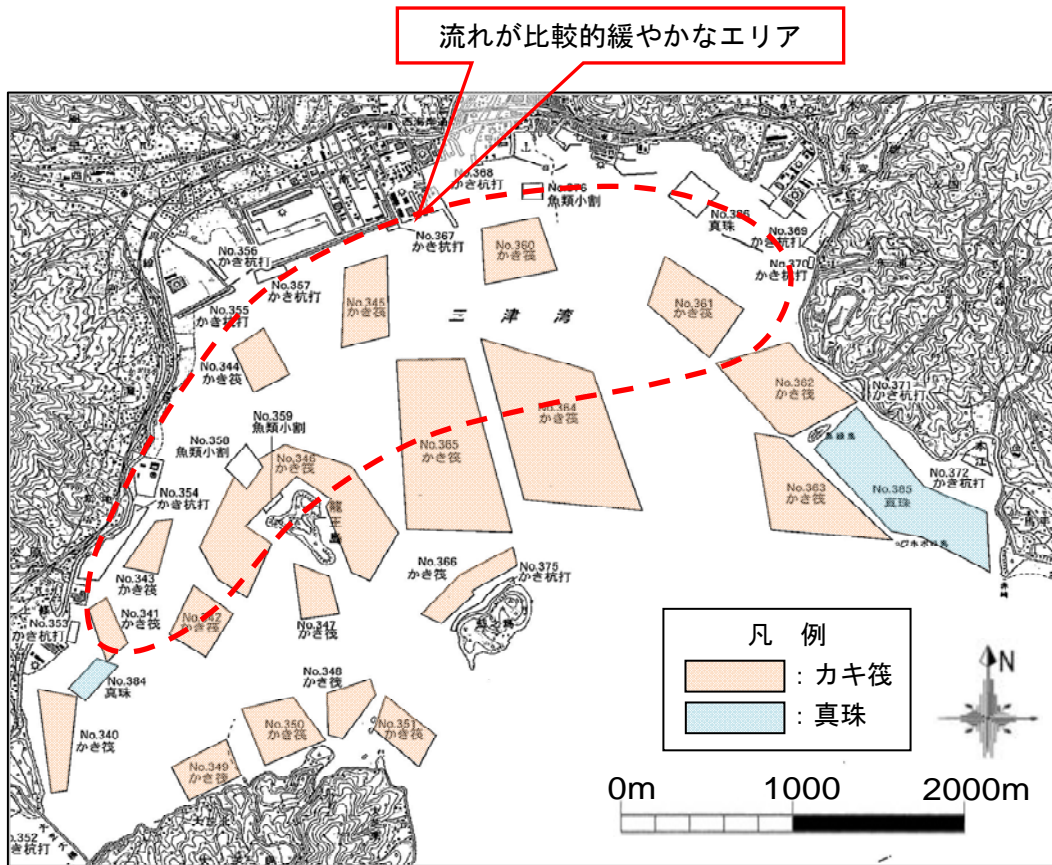
6.2 底質改善対策（底質改善剤の鋤き込み）実施に向けた行動計画

6.2.1 対策の実施内容

(1) 対策の実施位置

底質改善剤の鋤き込みによる改善効果を十分発揮するためには、底質が悪化傾向にあるエリアでの実施が望ましい。現地調査の結果、底質の悪化傾向が認められるエリアは、養殖カキからの糞等が堆積しやすい、流れの緩やかな湾奥側のカキ養殖筏エリアである。

カキ養殖エリアを図 6.2-1 に、水深 0~3m 層の流れの状況（物質収支モデルによる計算値）を図 6.2-2 に示した。



資料：広島県水産課資料（漁業権図）より作成

図 6.2-1 三津湾内の養殖エリア

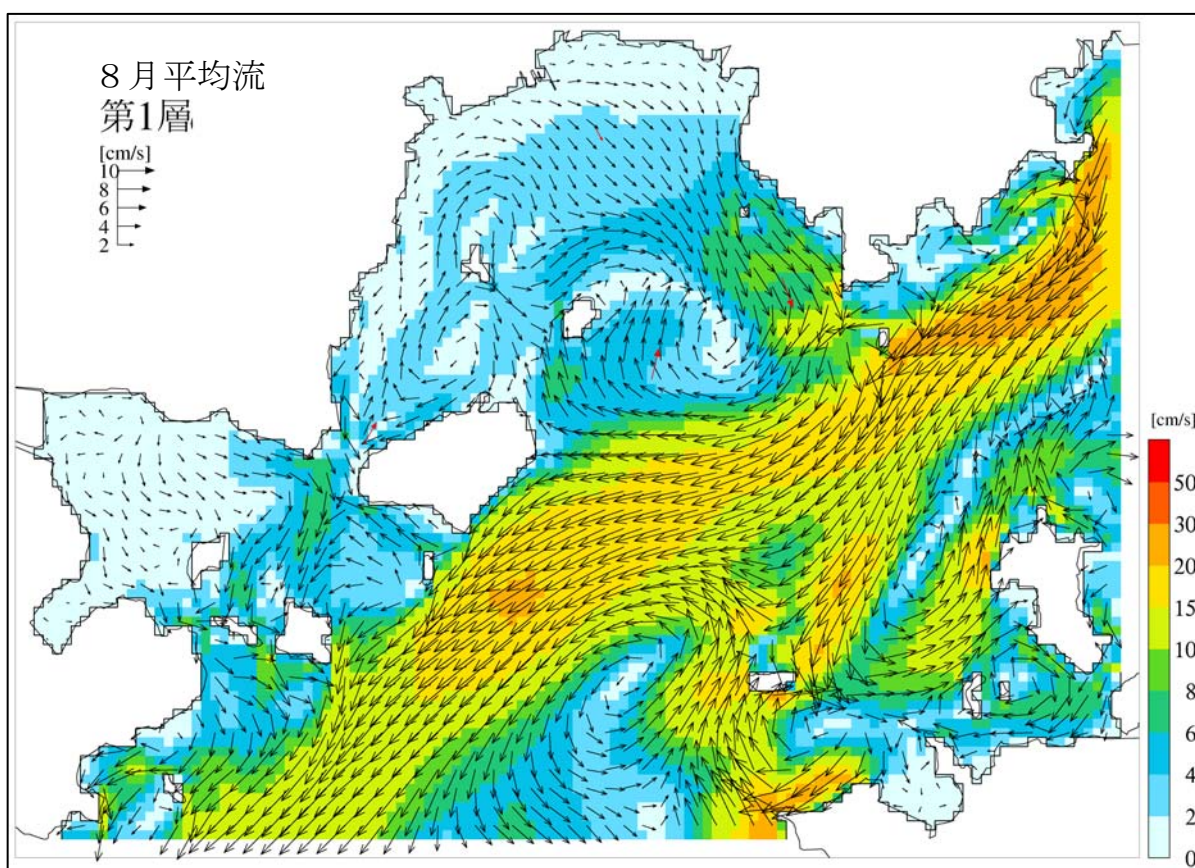
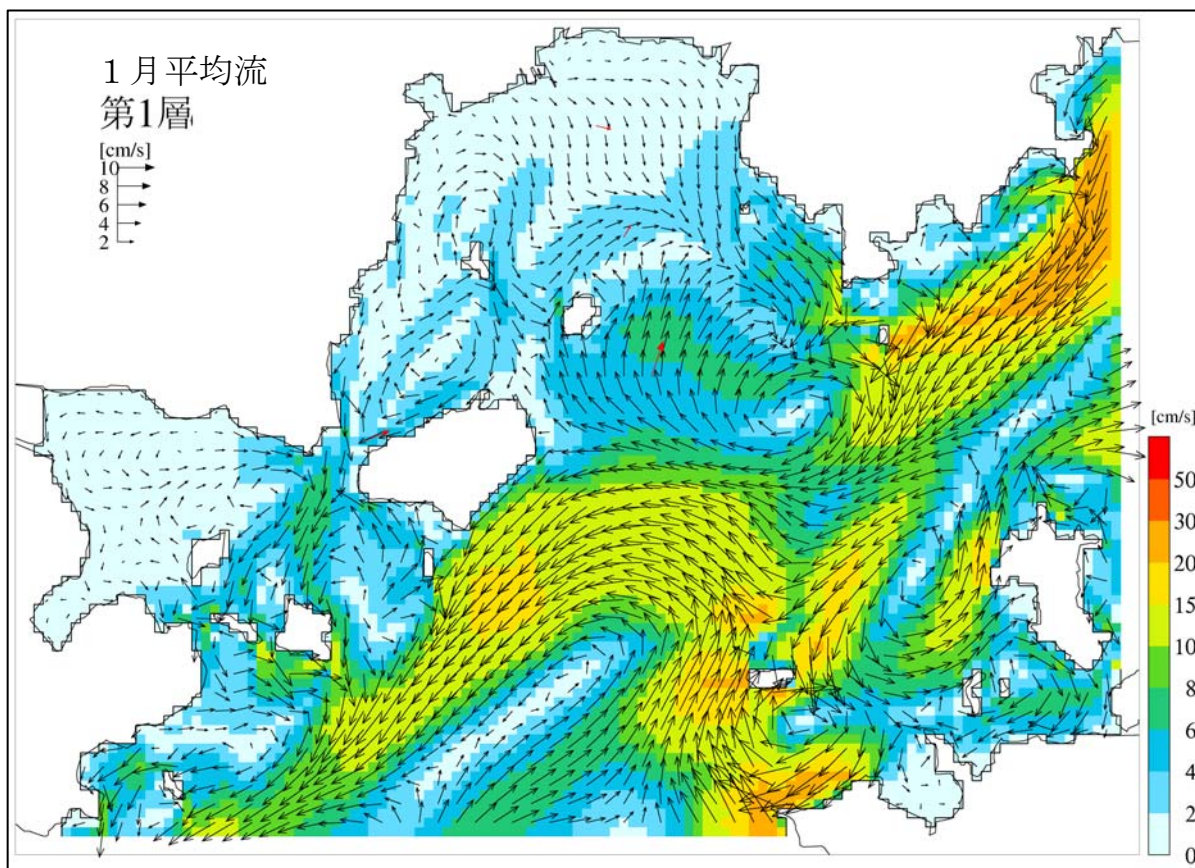


図 6.2-2 水深 0~3m 層の流れの状況（物質収支モデルによる計算値、上：1月、下：8月）

(2) 対策の実施方法（例）

以下の手順で底質改善剤（右※）の鋤き込みを実施する。
鋤き込みのイメージを図 6.2-3 に示した。

①底質改善剤の散布

底質改善剤を 40kg/m² を目安に対象域の海底に船上から散布

②底質改善剤の鋤き込み

散布エリアでマンガンを曳航し、底質改善剤を海底表層に鋤き込む（鋤き込み深度は 10cm を目安）。

※底質改善剤
（熱風乾燥カキ殻）
▼最少寸法：4～7mm



丸栄株式会社 HP より

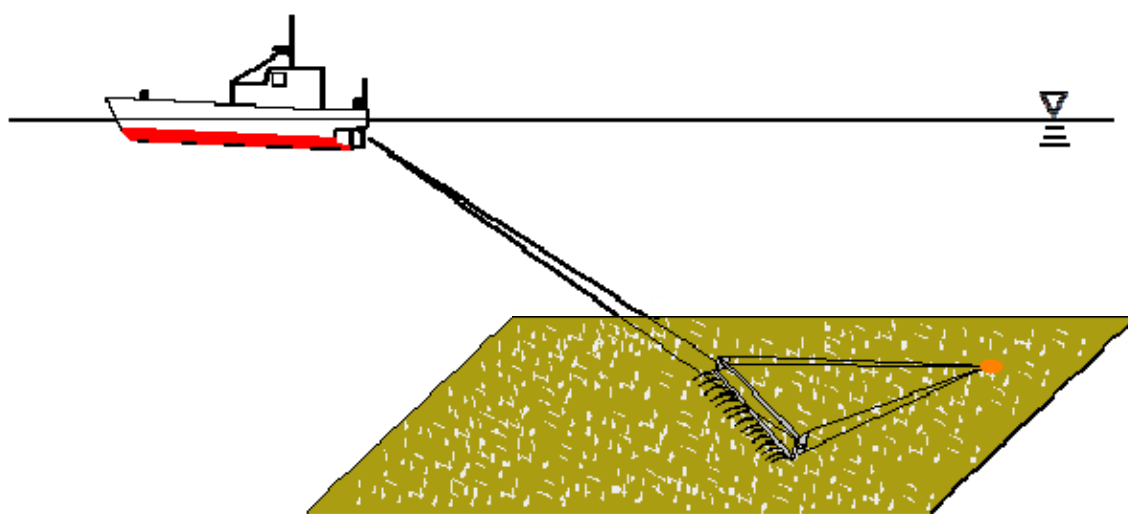


図 6.2-3 底質改善剤鋤き込み方法のイメージ

(3) 対策の実施規模

物質収支モデルによる検討の結果、底質改善剤の鋤き込みは、規模の大小にかかわらず実施したエリアに対して改善効果を発揮することが明らかになっている。

したがって、対策の実施にあたっては、海域の利用状況や予算に応じた規模設定が可能である。

(4) 対策の実施時期

底質改善を目的とした対策は、一般的には底質の悪化が進行する時期になる前での実施が効果的と考えられる。現地調査の結果、養殖筏直下での底質の悪化（硫化物の増加）は秋季にピークがみられている。

底質改善剤の鋤き込みによる底質改善効果は、実証試験では 3 か月以上、モデル計算では 1 年以上継続することが明らかになっている。したがって、対策の実施時期は、季節には厳密に拘らず、海域の利用状況に応じた設定（※）でも効果を発揮するものと考えられる。

これらより、対策の実施時期は以下の点に留意し、“初夏”に設定した。

▼養殖筏直下の底質が悪化する秋季の前に該当する。

- ▼カキの出荷時期から外れている。
- ▼高水温によりカキの活性が下がる夏季はさける。

※カキ種苗を抑制棚から本垂下に移行する間（秋季）に、養殖筏が海面からなくなるタイミングがあり、海面の利用状況からはこの時期の対策も実行しやすい。

6.2.2 モニタリング調査の内容

(1) モニタリング調査位置

モニタリング調査では、施した対策が目指す効果を発揮しているかの評価が求められる。

効果を比較・評価するため、調査位置は“対策実施区”と改善の目標となる“対照区”とする。

平成 23～24 年度に実施した現況把握調査結果に基づき、対照区は以下の理由につき図 6.2-4 の St.6（養殖エリア外）付近が望ましいと考えられる。

- ▼対策実施区（湾奥の養殖エリア）と近く、水深も同等である。
- ▼平成 23～24 年度に 4 季調査データを取得している。

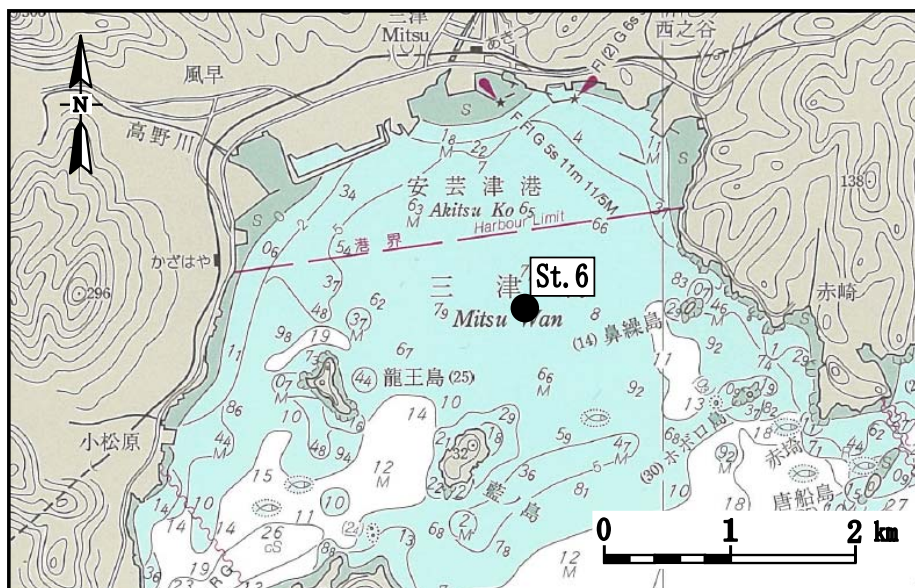


図 6.2-4 対象地点位置

(2) モニタリング項目

モニタリング調査を実施する目的は以下のとおりである。

- ▼対策の効果が発揮されているかどうかの確認
- ▼対策の効果の持続性を確認
- ▼対策の効果評価と改善策の検討

地元と一体となって継続的にモニタリング調査を実施するため、調査項目の選定には以下の点に留意した。

- ▼できる限り定量的な評価が可能な項目とする。
 - ▼調査の実施、分析に際し、汎用性の低い高度な技術や専門的な機器をできるだけ要しない項目とする。
 - ▼現況と比較できるように平成 23～25 年度に実施した調査項目と共通の項目とする。
- 上記に基づき選定したモニタリング項目を表 6.2-1 に示した。

表 6.2-1 底質改善策（底質改善剤の鋤き込み）に対するモニタリング項目

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)	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)	▽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、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)

(3) モニタリング調査の工程

対策の実施及びモニタリング調査の工程を表 6.2-2 に示した。

工程検討の際、以下の点に留意した。

- ▼対策実施は底質の悪化する秋季の前、かつ、高水温でカキの活性が下がらない初夏とする。
- ▼平成 23～24 年度に実施した現況把握調査と同じ 4 季調査とする。
- ▼数か月以上の対策効果が見込まれることから、対策実施 1 年後に必要なに応じ改善案の実施を検討する。

表 6.2-2 モニタリング工程

初年次 月次	6月	7月	8月	9月	10月	11月
対策の実施	★					
モニタリング調査			●			●

初夏に対策を実施

夏季調査

秋季調査

初年次 月次	12月	1月	2月	3月	4月	5月
対策の実施						
モニタリング調査			●			●

冬季調査

春季調査

※二年次は必要に応じて実施を判断

二年次 月次	6月	7月	8月	9月	10月	11月
改善対策の実施	(★)					
モニタリング調査			(●)			(●)

モニタリング結果を評価し、必要に応じ対策の改善案を実施

冬季調査

冬季調査

6.3 継続的な推進に向けて

6.3.1 順応的管理の適用

自然を対象とした対策の場合、当初の対策を施したとしても期待どおりの効果が得られるとは限らない。このような事態に柔軟に対応するため、期待どおりの効果が発揮されない場合を予め想定して、図 6.3-1 のように PDCA サイクルを回しながら、順応的にヘルシープランを継続実施していく必要がある。

順応的管理を進めるためには、地元利用者、行政関係者、有識者等、地域に関わる多様な主体による検討と擦り合わせが必要になる。

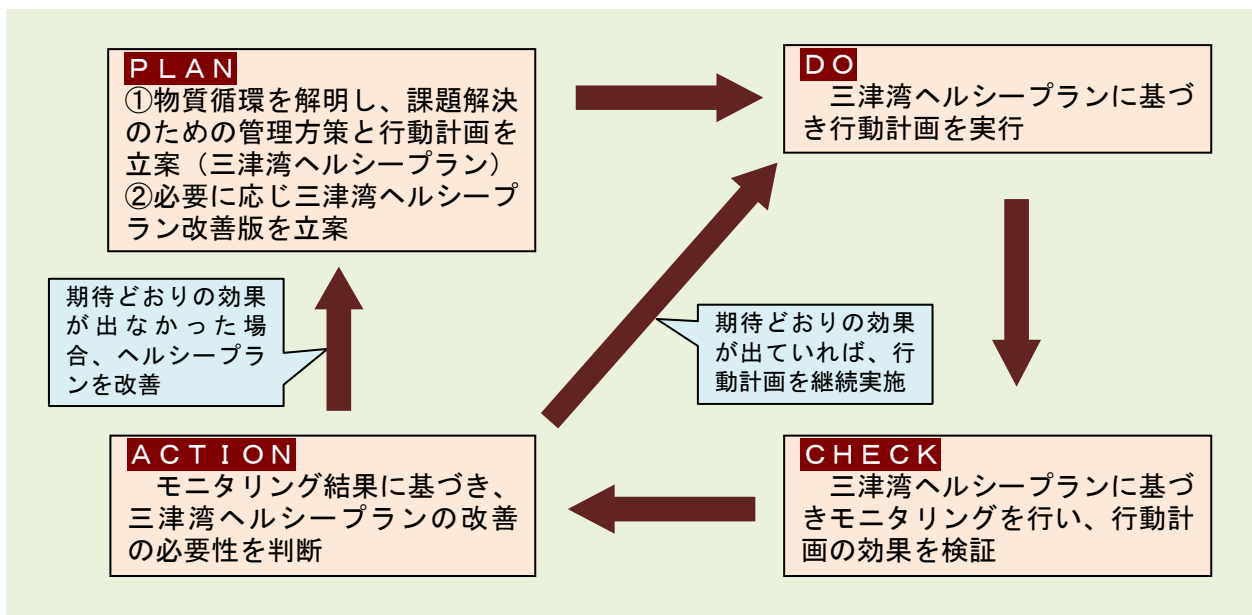


図 6.3-1 三津湾ヘルシープランの順応的管理のフロー

6.3.2 行動計画の実行に向けて

物質循環の改善のためには、地域の多様な関係者が一体となり行動計画を継続的に実行していくことが重要となる。

三津湾ヘルシープランの実行に向けた取り組みのイメージを記載した（図 6.3-2）。

多様な関係者が一体となりヘルシープランを実行するためには、地元自治体、地元団体、有識者等で、ヘルシープランの具体的な実行計画を検討・推進していくことが望ましい。

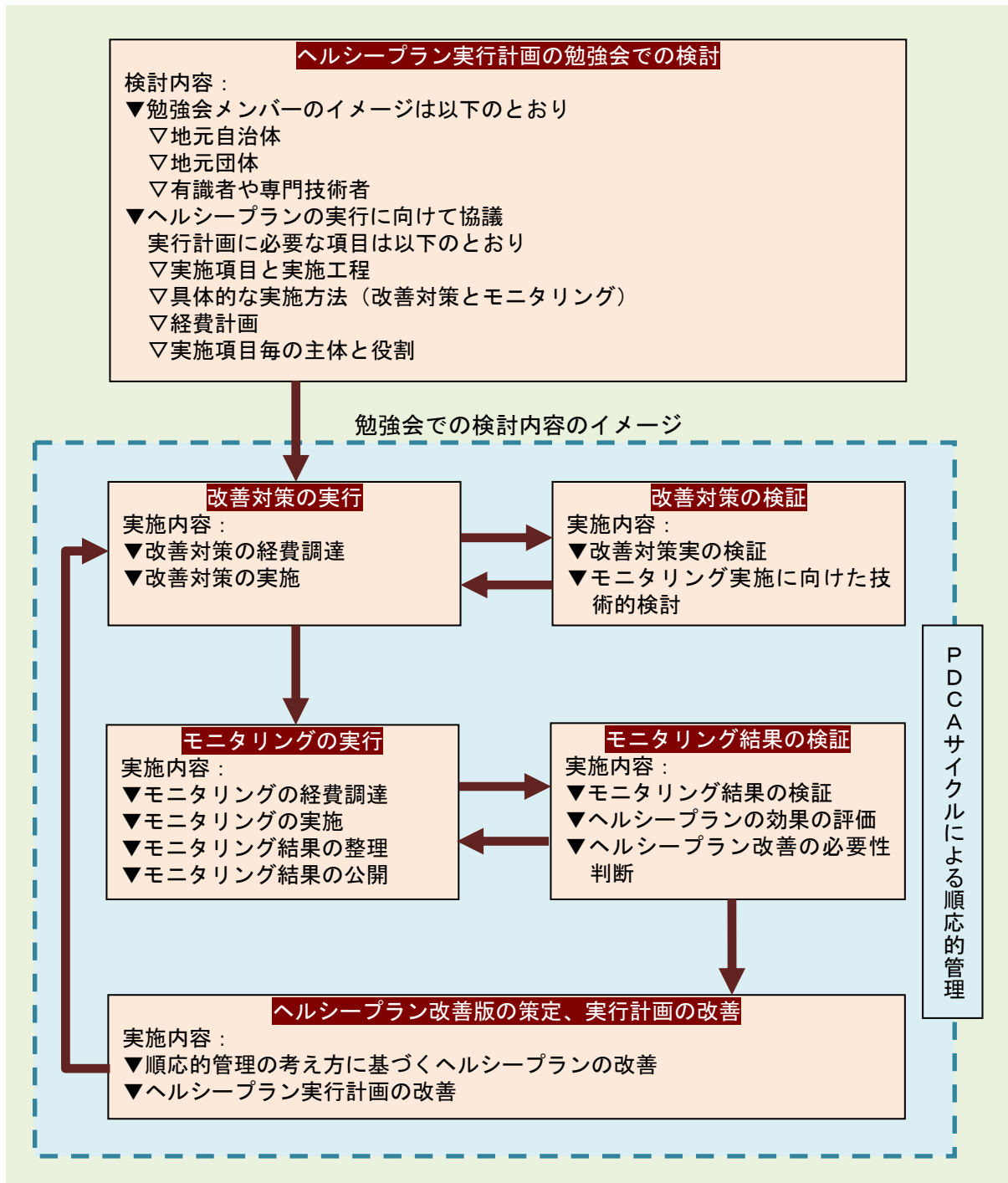


図 6.3-2 三津湾ヘルシープランの実行に向けた検討のイメージ