

三津湾地域ヘルシープラン

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

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	1-4
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の結果	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 これまでに実施されてきた取り組み	2-6
3. 三津湾地域における物質循環の現状と課題の抽出	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
3.3.3 底質	3-17
3.3.4 生態系	3-23
3.4 物質循環健全化に向けての課題の抽出	3-30
3.4.1 インパクトレスポンスフローによる課題の抽出	3-30
3.4.2 課題の要因分析 等	3-31
4. 三津湾地域の目指す姿	4-1
4.1 三津湾の海域利用状況	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	管理方策などの効果の検証結果	5-11
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）	5-11
5.4.2	【方策】人工中層海底の設置（シミュレーション）	5-27
5.4.3	【方策】下水処理水の放流調整（シミュレーション）	5-33
5.4.4	【方策】カキ養殖量の調整（シミュレーション）	5-35
5.4.5	【感度実験】施肥（シミュレーション）	5-39
5.5	管理方策の効果の評価	5-44
6.	物質循環健全化に向けた指針	6-1
6.1	物質循環健全化に向けた考え方と行動計画の立案	6-1
6.2	管理方策（底質改善材の鋤き込み）の実施手順	6-2
6.2.1	方策の実施内容	6-2
6.2.2	モニタリング調査の内容	6-6
6.3	継続的な推進に向けて	6-9
6.3.1	順応的管理の適用	6-9
6.3.2	管理方策の実行に向けての体制	6-10

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

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。窒素やりんなどの栄養塩類は、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（図 1.1-1）。

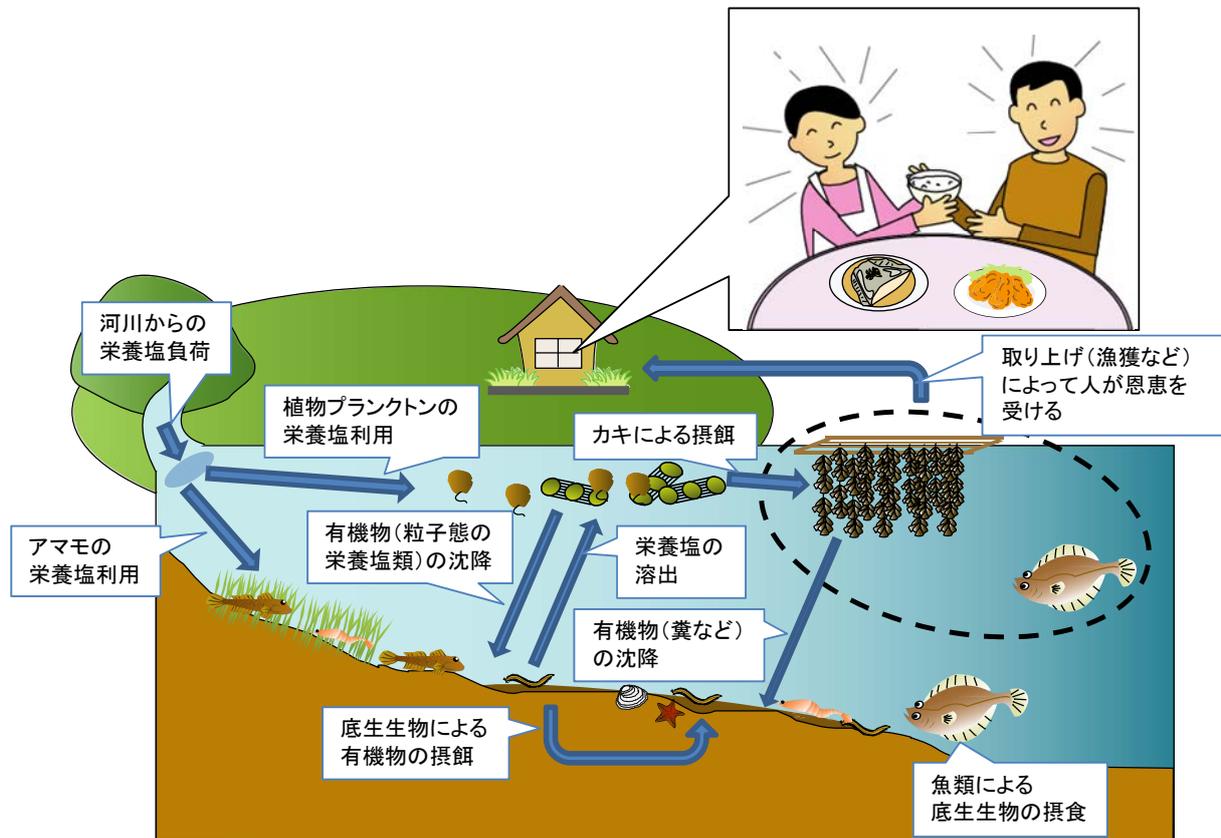


図 1.1-1 栄養塩の循環による海の恵み

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、海域など、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。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の検討及び行動計画（三津湾地域ヘルシープラン）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、類似した海域や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たものである。

表 1.1-1 三津湾地域検討委員会 委員名簿（平成 25 年度委員の 50 音順）

委員長

氏名	所属
山本 民次	広島大学大学院 生物圏科学研究科 教授

学識経験者

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）	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
安田 政男（平成 24 年度）	広島県 西部農林水産事務所 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）	広島県 環境県民局 環境保全課 参事
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）	広島県 農林水産局 水産課 参事
大谷 政広（平成 24 年度）	広島県 農林水産局 水産課 参事
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）	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
若野 真（平成 24 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 副主任研究員
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 副主任研究員
伊豫 浩司（平成 23、24 年度）	広島県 西部東厚生環境事務所 環境管理課 課長
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）	東広島市 生活環境部 環境対策課長
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）	東広島市 産業部次長 兼 農林水産課長
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	平成26年2月21日	(1) 管理方策の効果検証結果について (2) 三津湾地域ヘルシープランについて

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立案し、その仮説を検証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方策を立案し、その効果を検証するための実証試験及び物質収支モデルによるシミュレーションを経て「三津湾地域ヘルシープラン」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。

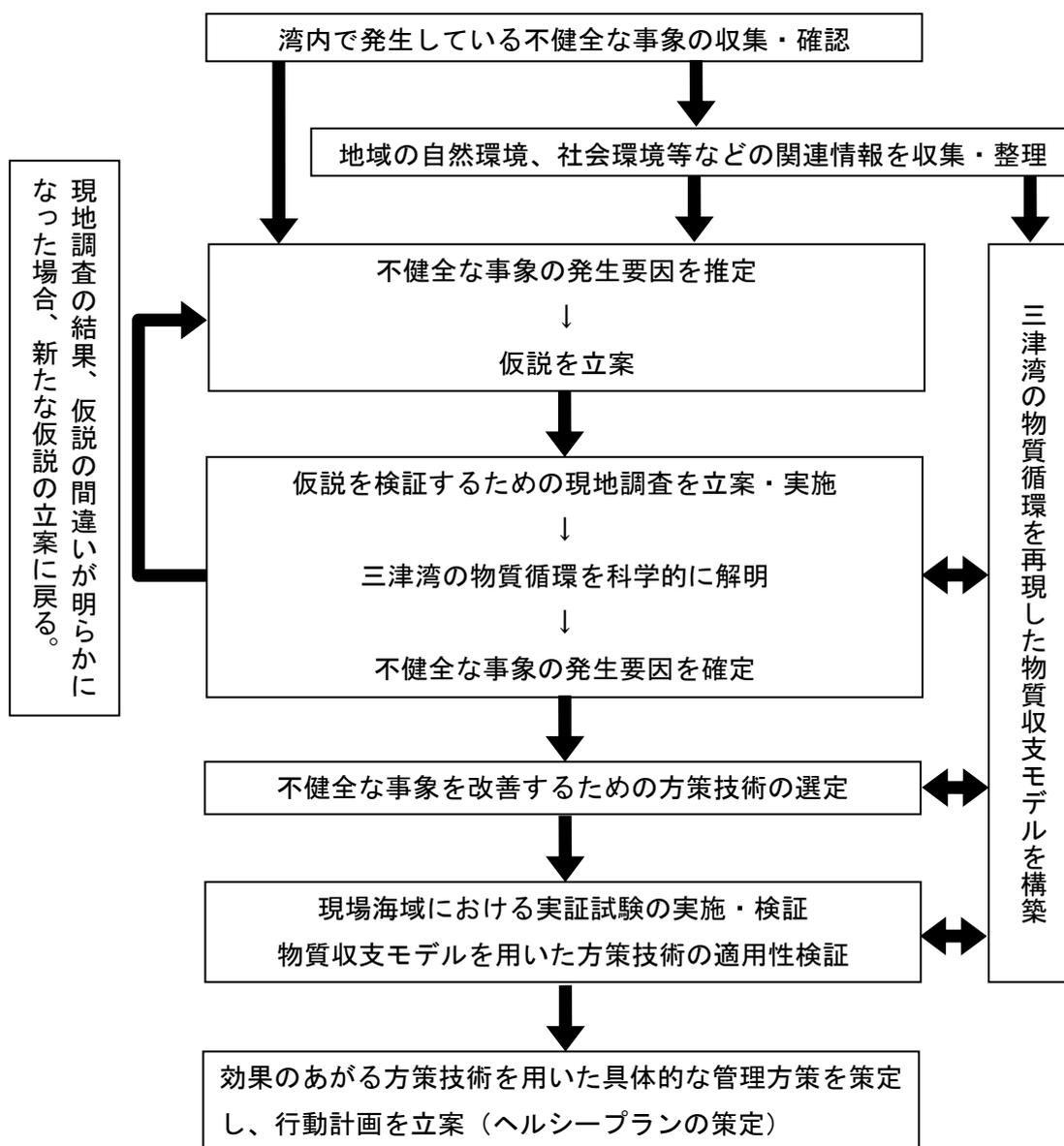


図 1.2-1 三津湾地域ヘルシープラン策定の流れ

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環境と社会環境について、過去からの変遷も含めて既存資料を収集するとともに、現地調査を実施して必要な情報を収集・整理した。

収集・整理した情報の一覧は表 2.1-1 のとおりである。既存資料から得た情報の詳細は巻末資料編に掲載し、三津湾に関する主な情報や環境変遷の整理結果を本章に再掲した。

表 2.1-1(1) 物質循環に関する収集資料

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	
4		航空写真	国土情報マップマッピングシステム 国土交通省HP	1. 縮尺30000, 1枚 (2002) 2. 縮尺40000, 6枚 (1964, 1968, 1977, 1977, 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	
5				その他航空写真	
6		地形的特徴	自然環境保全基礎調査 (海岸調査)		地区別の詳細情報なし。
7		海岸線の変遷			
8	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。	
9		航空写真	国土情報マップマッピングシステム 国土交通省HP	ア. と共通。 http://airphoto.gis.go.jp/aplis/Aplis.jsp	
10		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/Fil1e110102.html	
11		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/Fil1e110102.html	
12		土地利用	統計データ	東広島市資料	
13		污水处理状況	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	
14			下水道接続率の推移	東広島市下水道関連部局	
15			し尿処理実績の推移	東広島市廃棄物対策課	
16			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)	
17		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	
18	ウ. 海域、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		
19		水質汚濁に基づく環境類型等	広島県環境白書		
20		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. 海域、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. 海域の環境保全に関する取り組み	海域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		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	広島農林水産統計年報 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	No. 39～No. 41の項目		
47	ケ. 漁業・養殖業関連情報	主要養殖種の生産高等	広島農林水産統計年報	
48		主要漁獲種の漁獲量等	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からの情報収集	
53	サ. 親水利用に関する情報	水浴場の分布	広島県	広島県HP（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	No. 21と共通。

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。

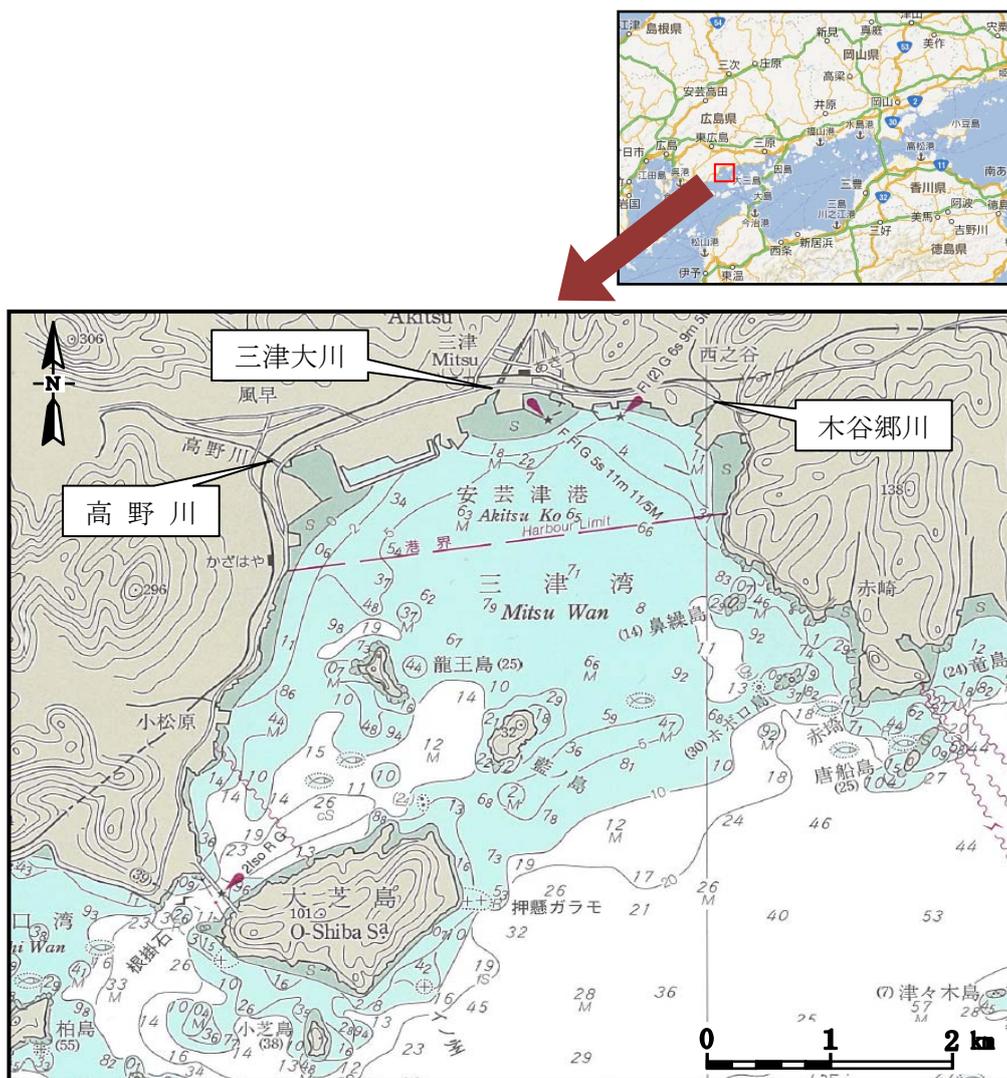


図 2.2-1 三津湾の地形的、地理的状况

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 と全窒素は横ばいないし緩やかに減少、全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

【地形など】

○沿岸の地形などの大規模な改変は、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 年間に全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ほとんどなく、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との情報があり、市の事業として、鉄炭団子の撒布など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。

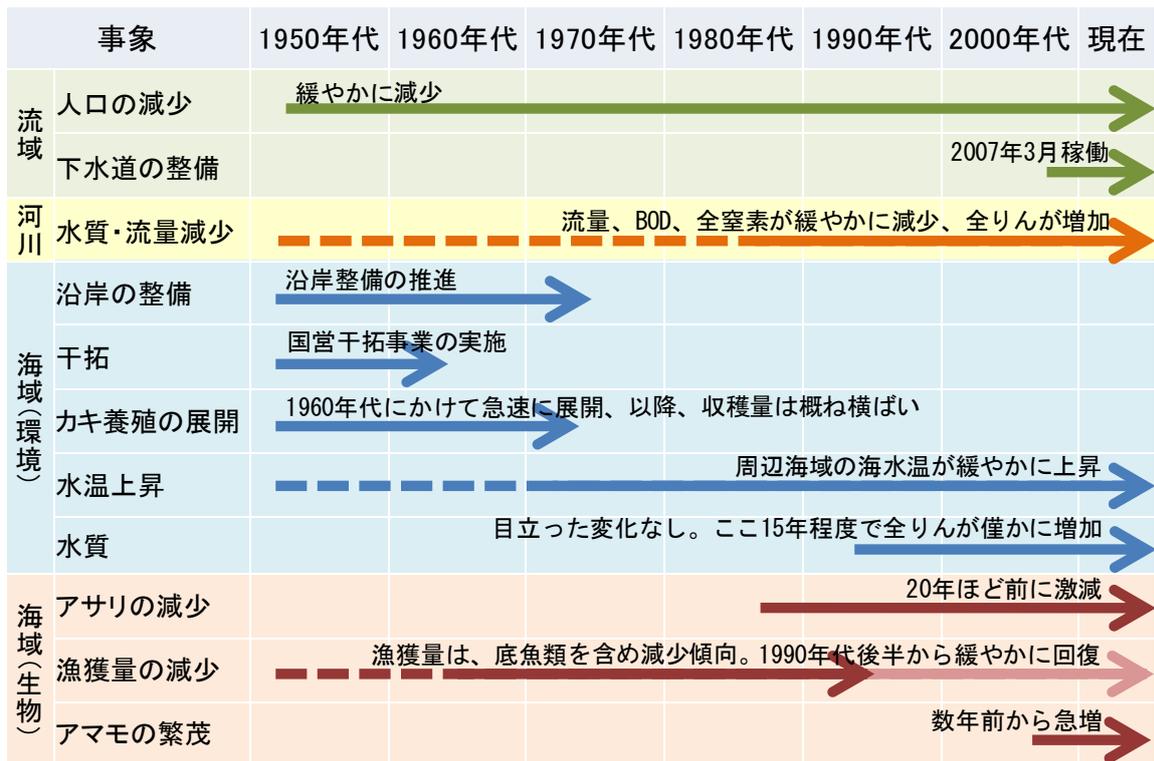
○底魚類の年間漁獲量は 1960 年代から 70 年代は 100t を超えていたが、1990 年代には 50t 程度まで減少し、2000 年代には 70t 程度まで回復している。

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

○ノリ類の年間生産量は 1972 年の 8,000（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。

養殖カキの年間収穫量は 1965 年の 2,200t 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取り組み

三津湾における環境改善に関する取り組みとして、(1) カキ残渣による干潟造成事業（1994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年からカキのむき処理の過程で発生する粉碎カキ殻などを活用した人工干潟造成が実施されている。

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 箇所である。



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などを把握した上で、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、適地を耕耘し、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、ヘドロに起因した酸素欠乏による死滅や、成長が遅い、食味が悪いなどの課題があり、食害への対策に加え、

干潟のヘドロ解消や栄養分の補給などが必要であることも明らかになった。

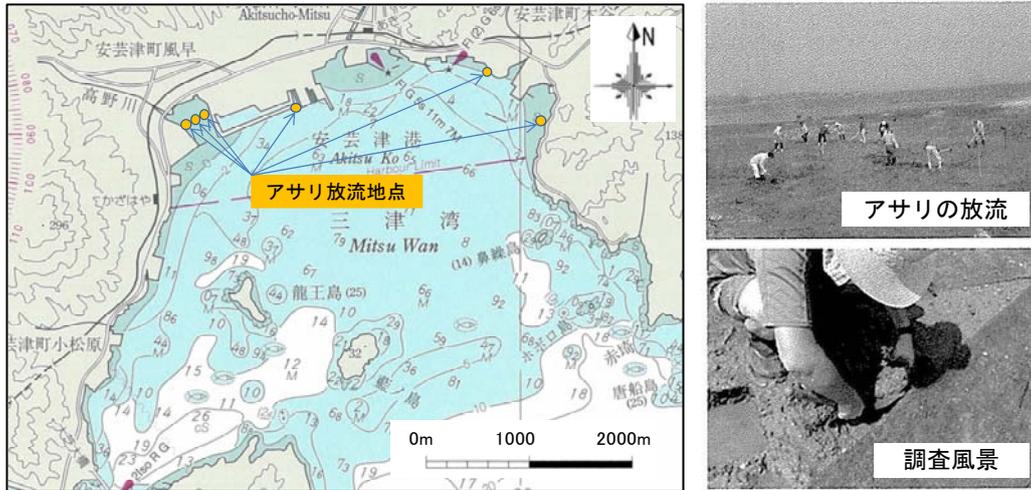
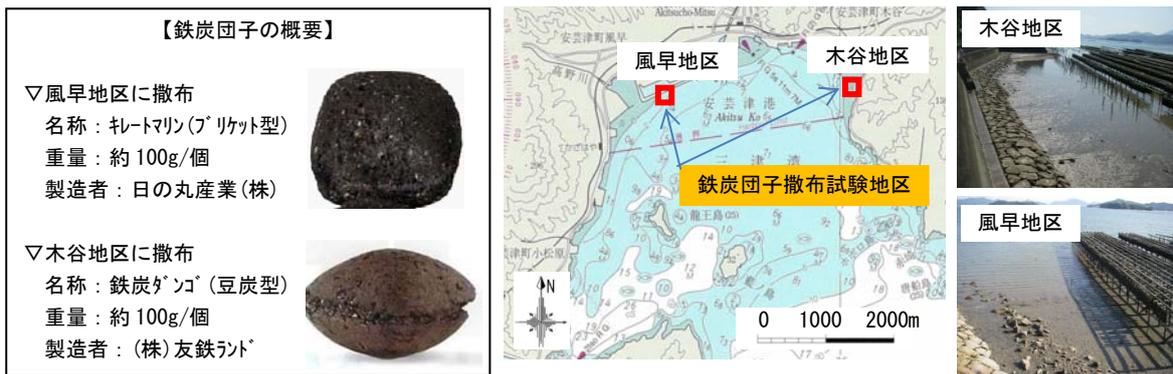


図 2.2-4 アサリの産地再生事業の実施地点

(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証した。

その結果、収集したデータに明確な変化は見られず、海域に十分な栄養塩がないことが指摘される中、鉄炭団子の効果が発揮されなかったことが想定された。



資料：安芸津湾漁場再生調査業務 報告書

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の抽出

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、海の健康診断（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、貧酸素水塊及び底泥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、物質循環に係わる問題点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量が増加した結果、底質悪化を招き、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）。

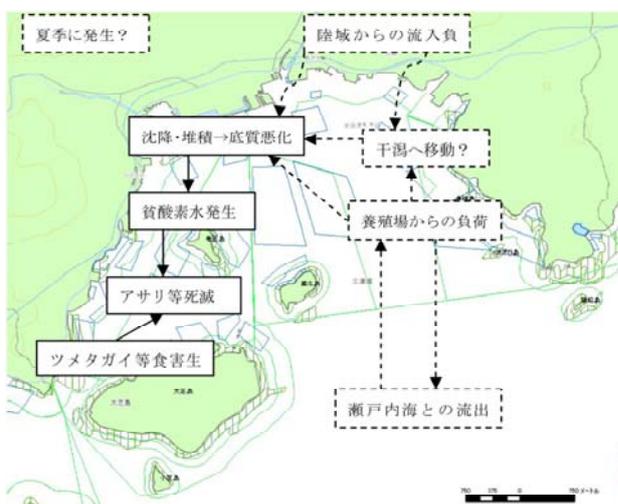


図 3.1-1 富栄養海域でみられる現象



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、下表（表 3.1-1）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を検討することとした。

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 ✓ 陸域及び底泥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"> ✓ 底泥のヘドロ化 <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

3.2 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、三津湾における 4 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、底泥の現状を把握する。	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)	貧酸素水塊の出現状況を把握する。	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、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、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、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。栄養塩類やクロロフィル 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	底泥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、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	表層堆積物に付着する微細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)

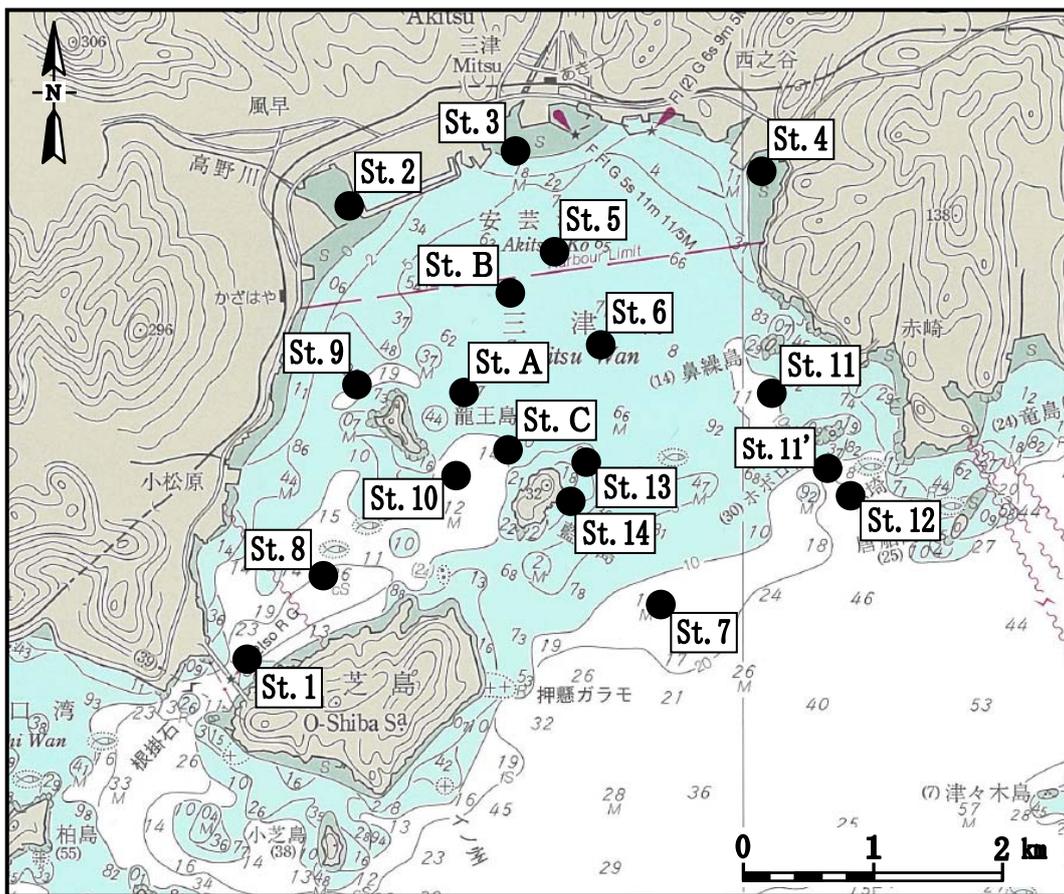
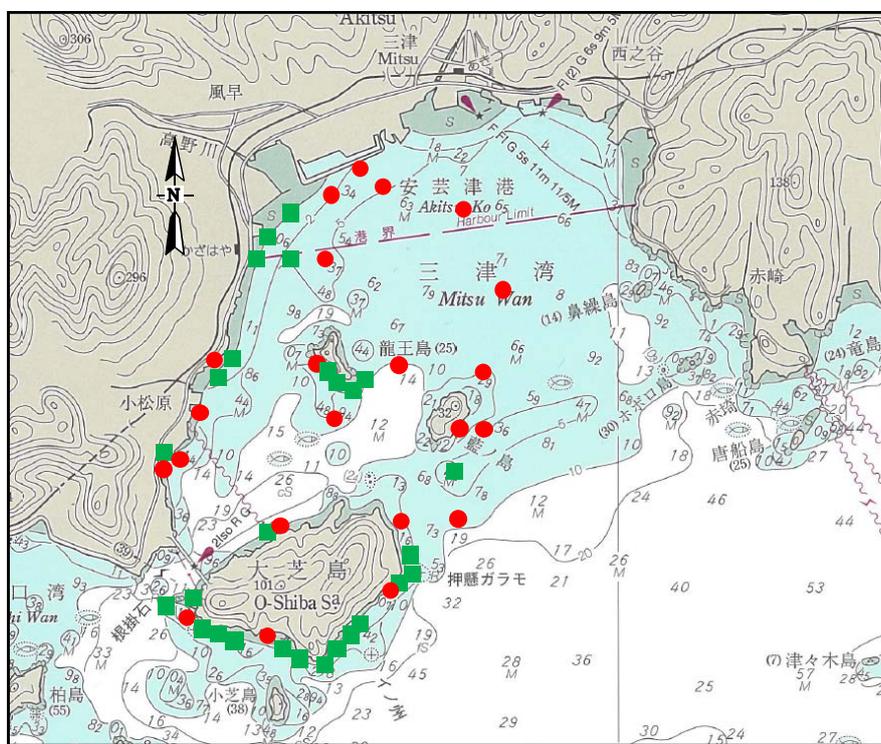


図 3.2-1 調査地点図



- : 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モデルによるシミュレーションの結果を総合して、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。

物質収支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、三津湾では、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。

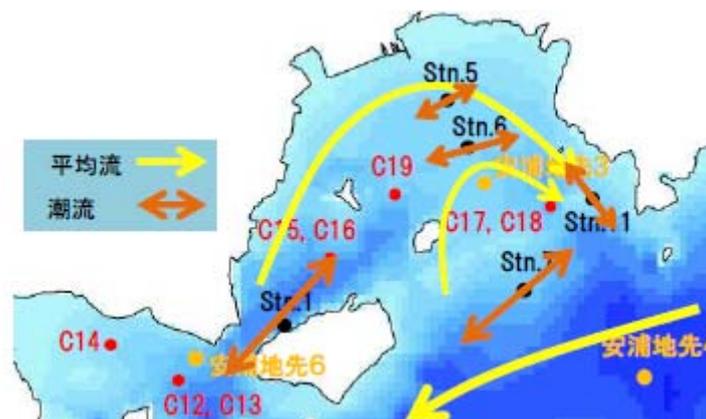


図 3.3-1 三津湾の流況シミュレーションの結果（統括検討委員会事務局より）

3.3.2 水質

(1) 貧酸素水塊の有無

- ✓ 貧酸素水塊の発生は、本調査期間には確認されなかった。
- ✓ 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）を行ったが、貧酸素水塊の発生は確認されなかった（図 3.3-2、3）。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シミュレーションの結果では、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。

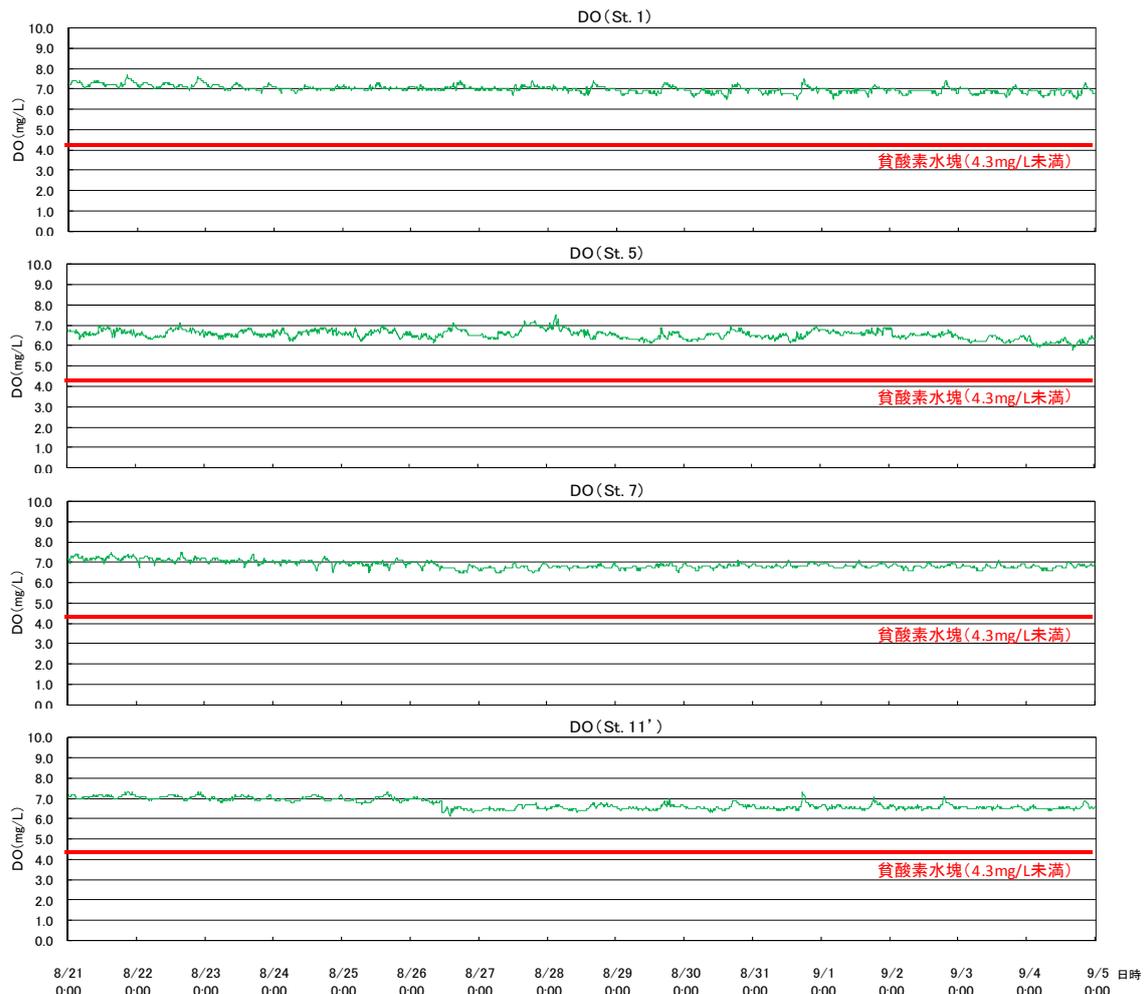


図 3.3-2 三津湾の底層（海底上 0.5m）における連続観測（DO）の結果（8月）



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安定する状態。密度が成層化すると、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、上層と下層間での物質の循環が滞る。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。
- ✓ 全窒素及び全りん濃度は、11月及び1月に高く、6月及び8月に低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適切であった。

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、溶存無機態窒素（DIN）と溶存無機態りん（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はないと考えられた。

以下に、栄養塩類の詳細を記述する。

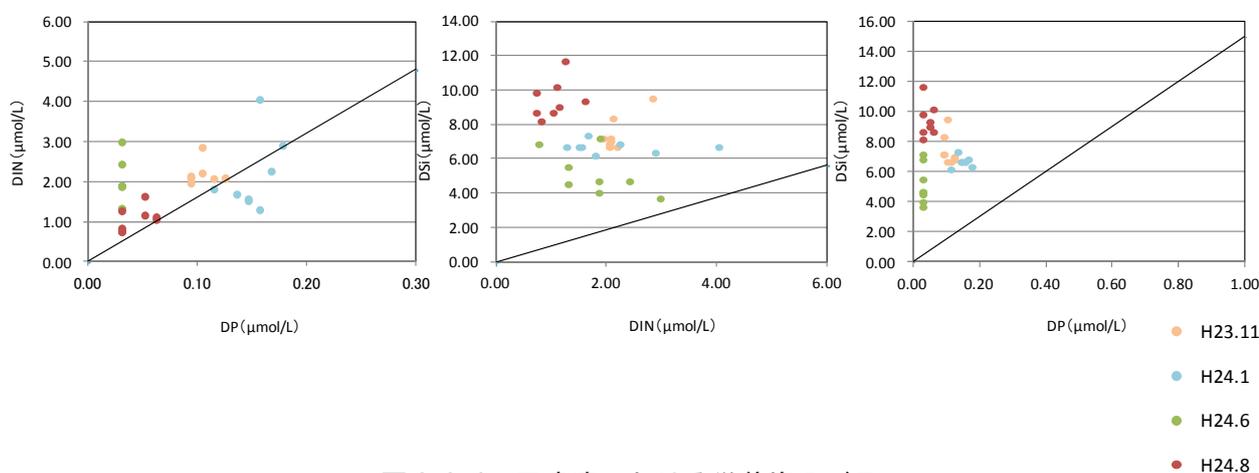


図 3.3-4 三津湾における栄養塩のバランス

※ レッドフィールド比とは・・・
植物プランクトン群集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 とされ、海水中にこの比で栄養塩が溶けているとき、植物プランクトン群集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、三津湾における全窒素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、溶存無機態窒素濃度が高かった11月及び1月には硝酸態窒素（NO₃-N）の割合が高く、反対に溶存無機態窒素濃度が低かった6、8月にはアンモニア態窒素（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。

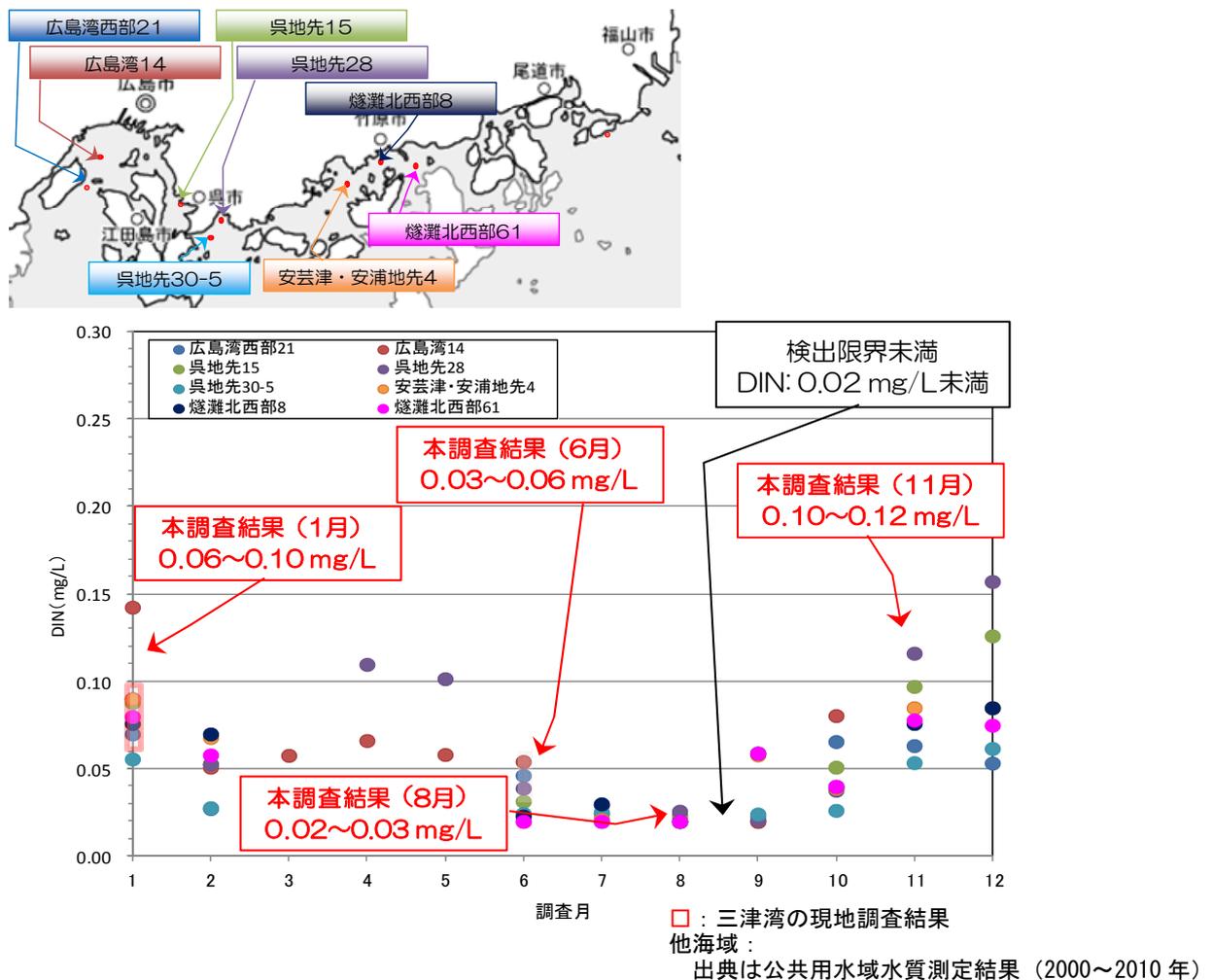


図 3.3-5 三津湾及び他海域における溶存無機態窒素（DIN）の比較

※ 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亜硝酸態窒素（NO₂-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、アンモニア態窒素（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。溶存無機態窒素の他に溶存有機態窒素（DON）や生物体、沈降粒子に含まれる懸濁有機態窒素（PON）を合わせた合計を全窒素（T-N）という。

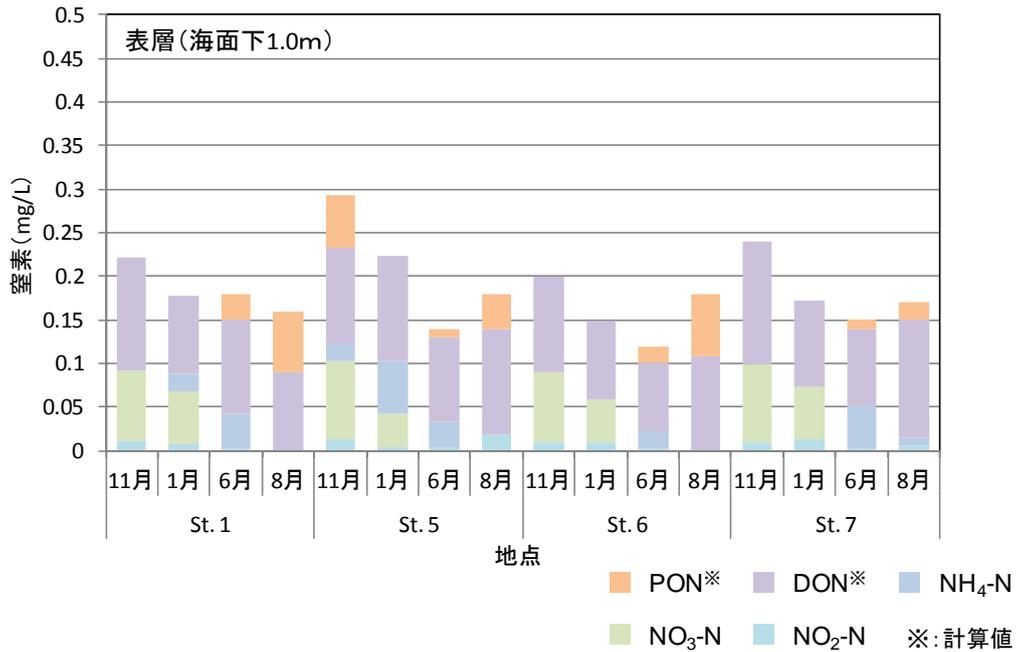


図 3.3-6 三津湾における栄養塩類の濃度と組成（窒素）

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・・・
 溶存無機態窒素と同様、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、全りん (T-P) という。

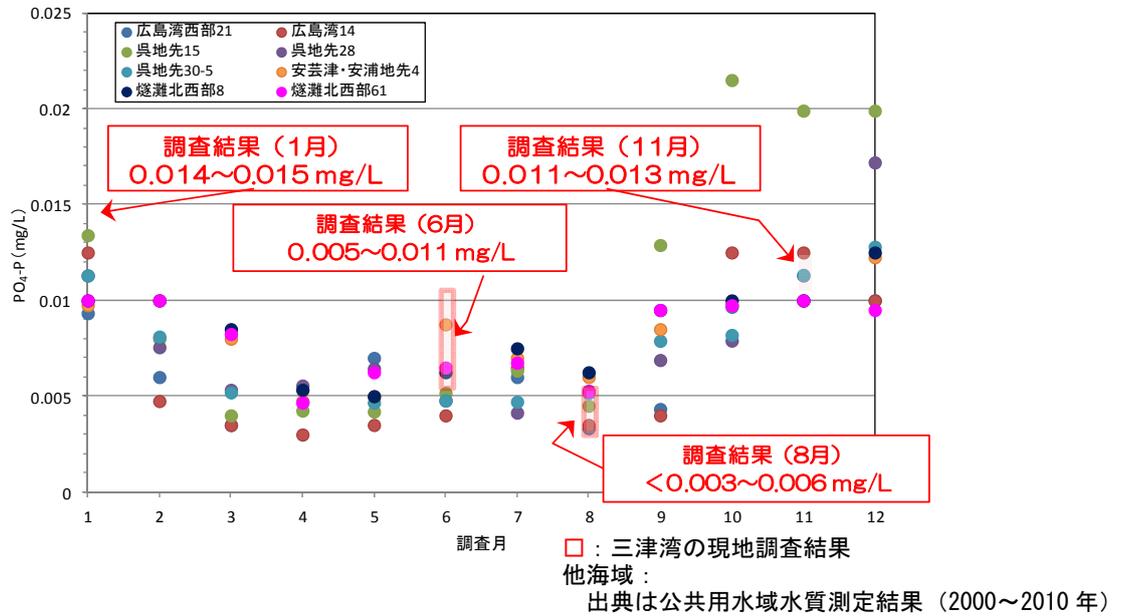
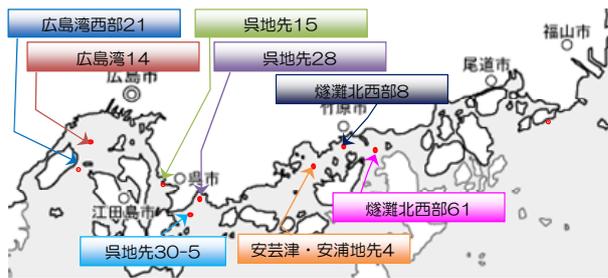


図 3.3-7 三津湾及び他海域におけるりん酸態りん (PO₄-P) の濃度の比較

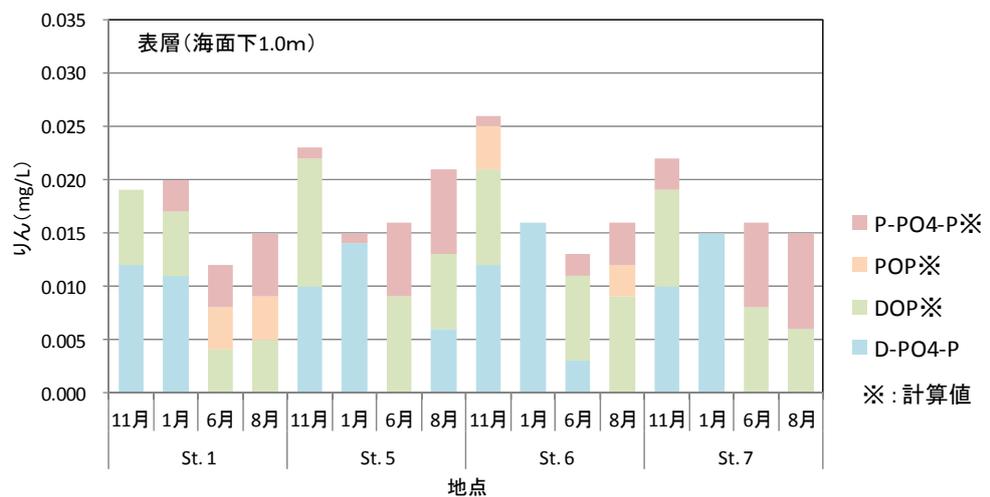


図 3.3-8 三津湾における栄養塩類の濃度と組成 (りん)

3) 珪酸塩

現地調査の結果から、溶存珪酸塩（DSi[※]）は1月には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）。さらに全調査地点において8月には他月よりも高いことが明らかとなった。

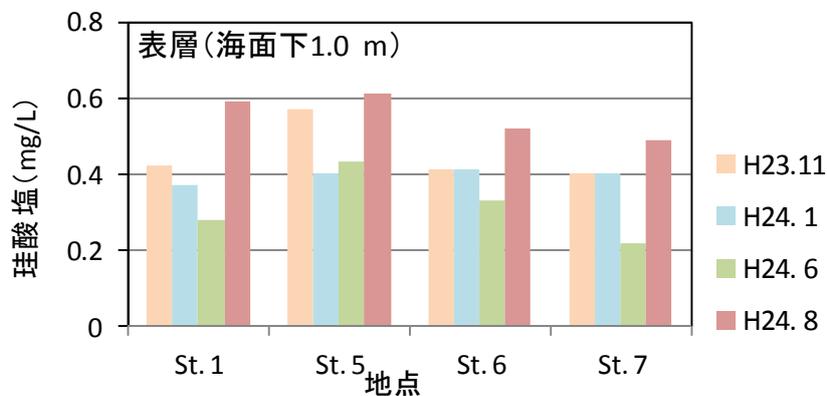


図 3.3-9 三津湾における溶存珪酸塩（DSi）の濃度

※ 溶存珪酸塩（Dissolved Silicate: DSi）とは・・・

溶存無機態窒素、りん酸態りん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) クロロフィル a 及びフェオフィチン

- ✓ クロロフィル 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、三津湾におけるクロロフィル a 濃度は低い水準であった。

調査結果より、クロロフィル a (Chl. a) ※1 濃度は 8 月に表層 (海面下 1.0m) で 2.0~4.6µg/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、 $1.7 \pm 1.3 \mu\text{g/L}$ となり、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った (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。クロロフィル 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、全層でクロロフィル a の方が明らかに高かった。

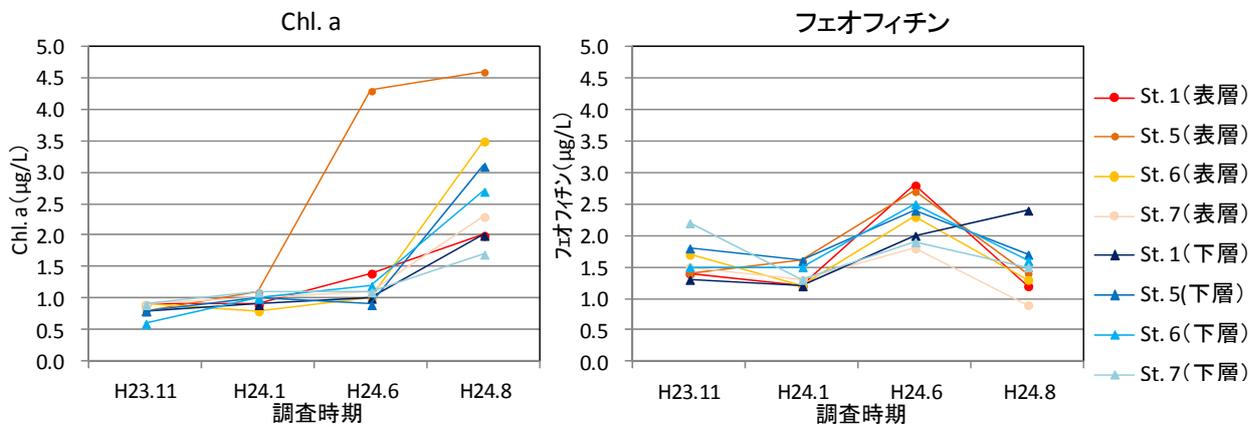


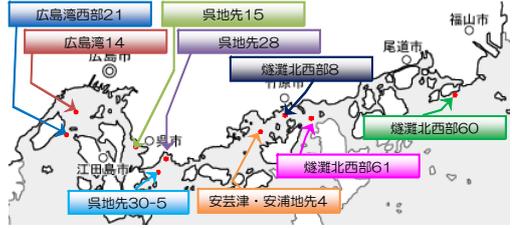
図 3.3-10 三津湾におけるクロロフィル a (Chl. a) とフェオフィチン

※1 クロロフィル a (Chl. 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。

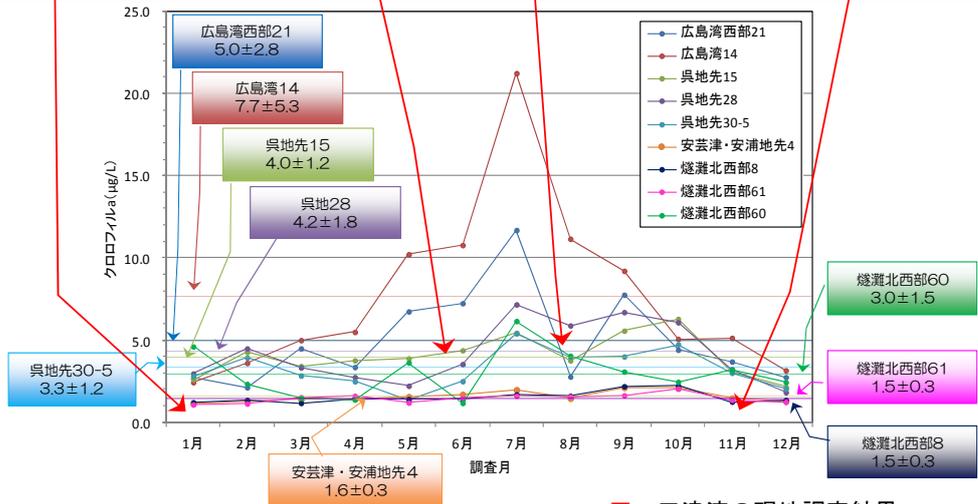
※2 フェオフィチンとは・・・

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、クロロフィル a 量に対するフェオフィチン量の比が高ければ、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 (クロロフィル a)

(4) COD 及び TOC

- ✓ COD 及び TOC は、1月に低く、6月に高かった。
- ✓ COD は、全調査地点、調査層で基準値以下であり、他海域と比べても低い水準であった。

調査結果から、COD^{※1}及びTOC^{※2}は1月に低く、6月に高い傾向がみられた(図3.3-12)。有機汚濁の指標とされるCODは、全地点の全層で環境基準(A)値よりも低く、近隣の他海域と比べても低い水準であった(図3.3-13)。

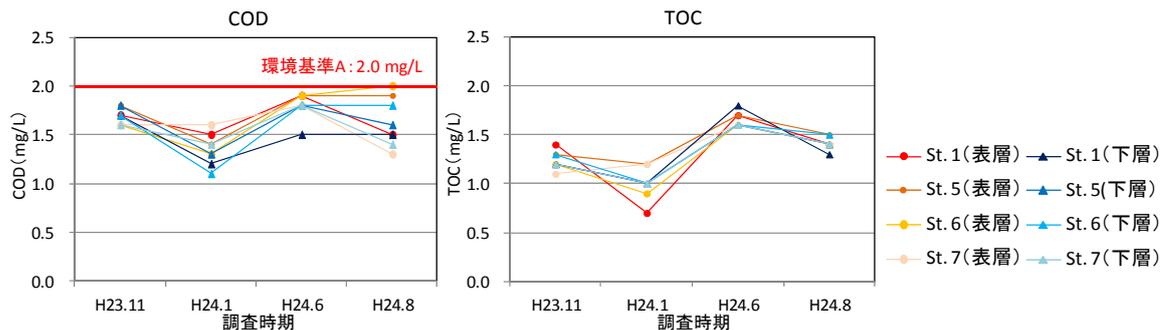


図 3.3-12 三津湾における COD 及び TOC

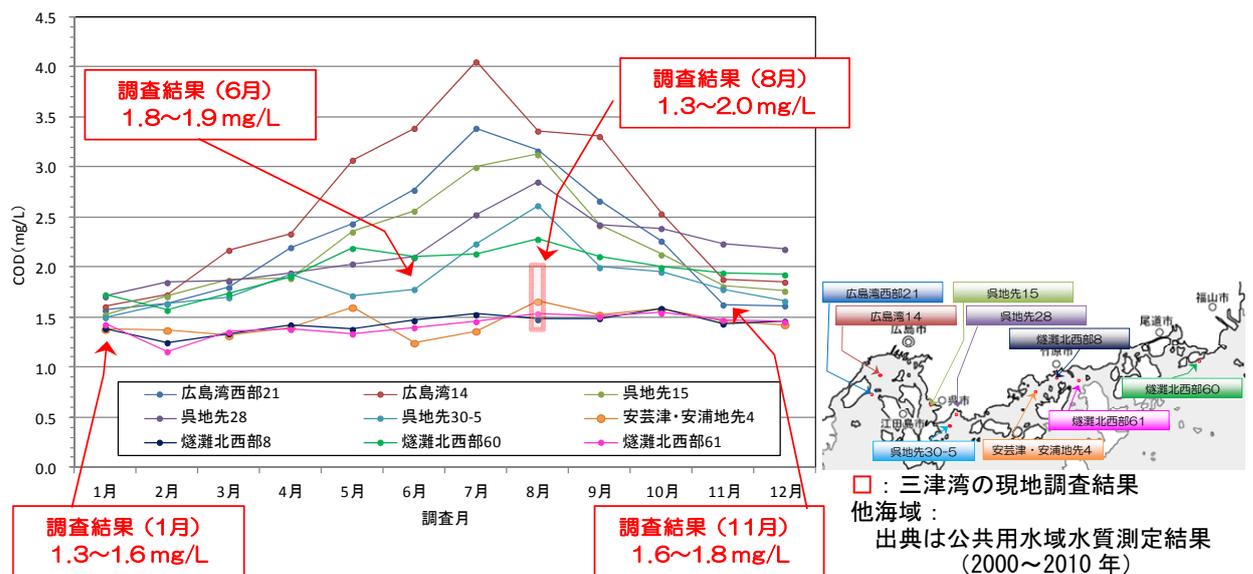


図 3.3-13 他海域との比較 (COD)

※1 COD (化学的酸素要求量) とは・・・

水域における有機汚濁の指標の1つであり、その水中にある有機物を化学的に無機化するために必要な酸素量で示す。この値が大きいは、水中の溶存酸素を消費する可能性が高いことを示し、水塊が低酸素ないし貧酸素化する可能性がある。

※2 TOC (全有機炭素) とは・・・

水中に存在する有機物に含まれる炭素の総量を示す。一般にプランクトンなどの生物体に含まれる炭素に比べて、デトリタスや溶存有機物のような非生物体中の炭素が圧倒的に多いので、CODと同様、水域の有機汚濁の指標となる。なお、CODは有機物の分解に必要な酸素量で示されるのに対し、TOCは有機物の分解の際に発生した二酸化炭素量で有機物量を表している。

(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年養殖のカキ養殖筏直下では、1年養殖のカキ養殖筏直下に比べて、沈降量は少ないが、全窒素、全りん及び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、全窒素及び全りんを測定した。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年養殖のカキ養殖筏直下（St. 5）よりも1年養殖のカキ養殖筏直下（St. C）で多かったが、それに含まれる TOC、全窒素及び全りんは、いずれも St. 5、つまり3年養殖のカキ養殖筏直下で多かった。そのような沈殿物が海底に堆積して分解されるとき、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年養殖のカキ養殖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。

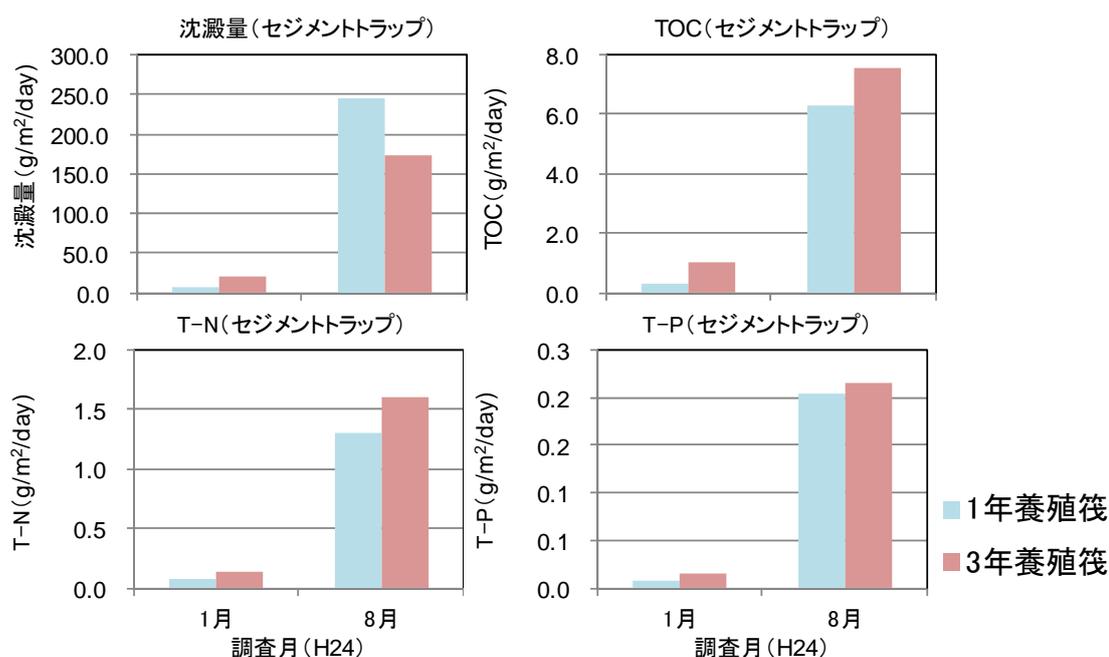


図 3.3-14 セジメントトラップ調査の結果

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。

粒度組成※の調査結果から、カキ養殖筏周辺の St. 5 及び湾中央に位置する St. 6 における底泥の主要構成粒子は、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 では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、調査月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、様々な粒度の底泥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。

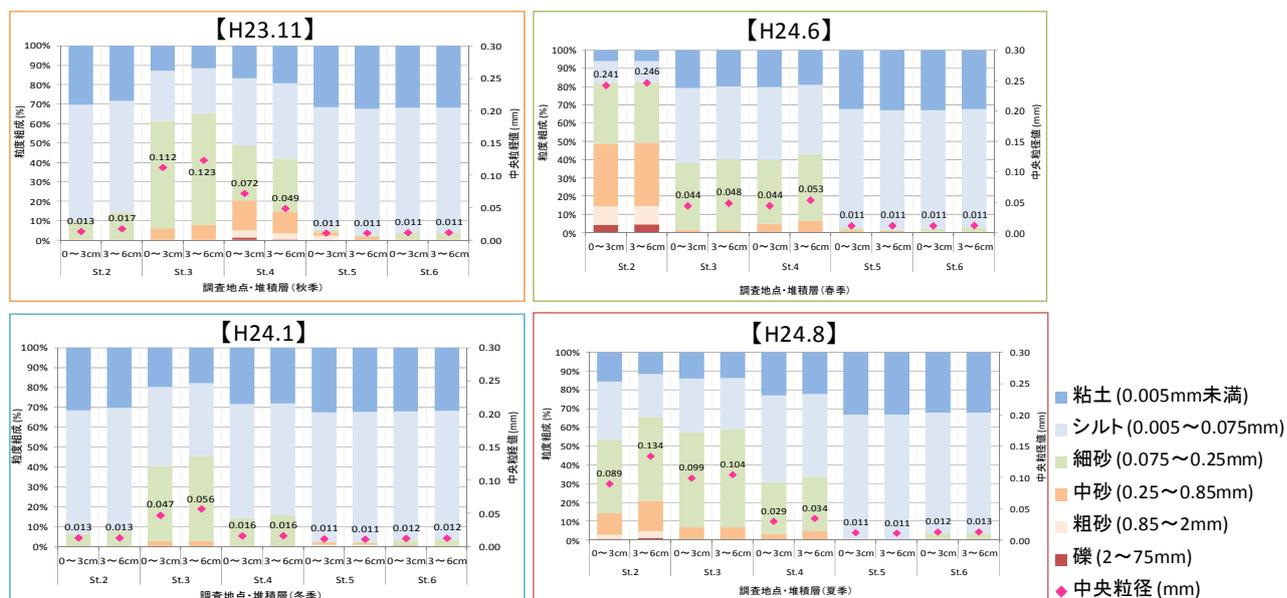


図 3.3-15 三津湾における粒度組成

※ 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構成される。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 が高いときも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。

底泥の 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、底泥の 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、底泥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、粒度組成の変動が最も大きかった 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、底泥悪化が常態化していないと考えられた。

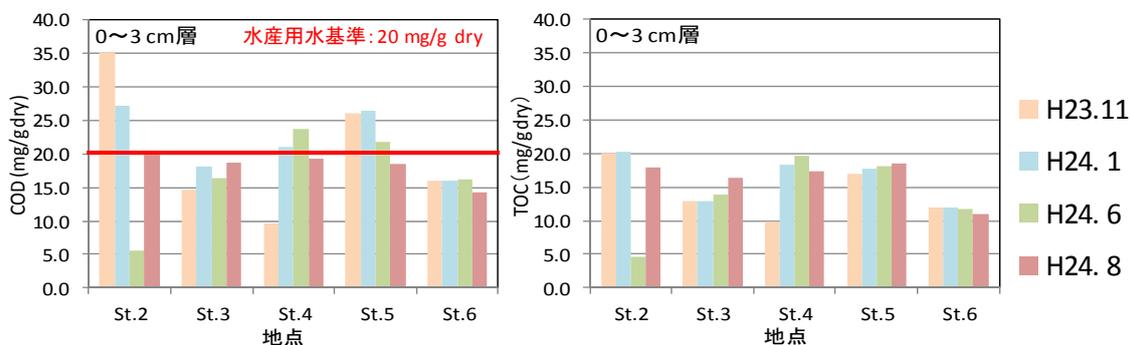


図 3.3-16 三津湾における底泥（0～3cm）の COD 及び TOC（左：COD、右：TOC）

※ 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推奨されている。

(3) 全窒素及び全りん

- ✓ St. 5 で全窒素、全りんともに最も高かった。
- ✓ TOC に対する全窒素、全りん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、底泥（0～3cm）に含まれる全窒素の年間平均値は、St. 5（ $2.90 \pm 0.16 \text{mg/g dry}$ ）で最も高く、全りんも同様に 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）。

全窒素及び全りんは、TOC と同様、底泥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 に対する全窒素あるいは全りんの比は異なる。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 に対する全窒素あるいは全りんの比率は低い。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全窒素あるいは全りんの比率が高くなる。

本調査結果から、TOC（図 3.3-16（右図）：前出）と全窒素と全りん（図 3.3-17）を比較すると、湾央の St. 6 では TOC と同様に全窒素と全りんは少なかったが、河口域に近い St. 3 と比較すると、TOC は少なかったにもかかわらず、全窒素及び全りんは多かった。さらに St. 5 では全窒素、全りん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 の底泥には、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。また、一般的に有機物の中でも窒素及びりんを含む成分は分解しやすいので、TOC に対する全窒素、全りんの比率は、生体で最も高く、死後時間とともに低下していくと考えられている。

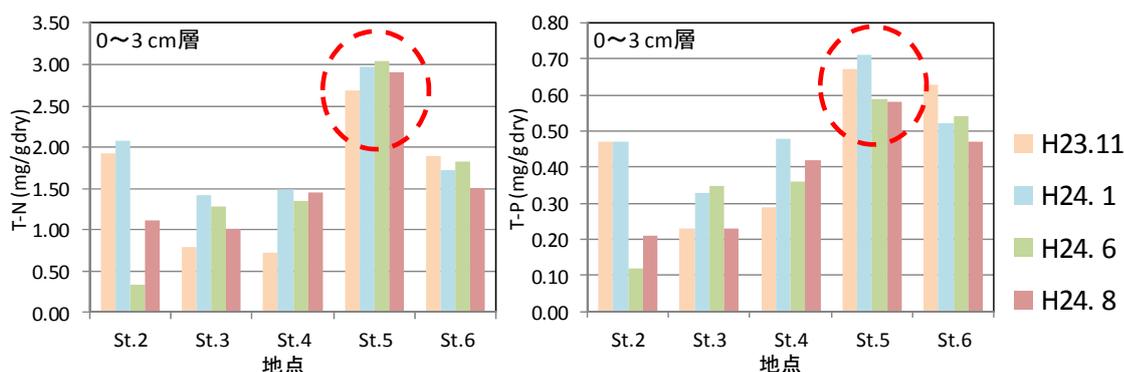


図 3.3-17 三津湾における底泥（0～3cm）の全窒素（T-N）及び全りん（T-P）（左：T-N、右：T-P）

(4) 全硫化物

- ✓ 全硫化物は、St. 5 で最も高く、St. 2 では変動しやすかったが、それら以外の調査地点では水産用水基準以下であった。

三津湾における底泥の全硫化物は、St. 5 では常に水産用水基準（0.2mg/g dry）を超えており、その年間平均値は、表層（0～3cm）で $0.36 \pm 0.11 \text{mg/g dry}$ であり、下層（3～6cm）では $0.56 \pm 0.22 \text{mg/g dry}$ であった（図 3.3-18）。

粒度組成や有機物の変動しやすかった St. 2 では全硫化物も変動しやすく、平成 23 年 11 月と平成 24 年 1 月には表層でも水産用水基準を超えることがあった。しかし、それ以外の調査地点の表層では水産用水基準を超えることはなかった。

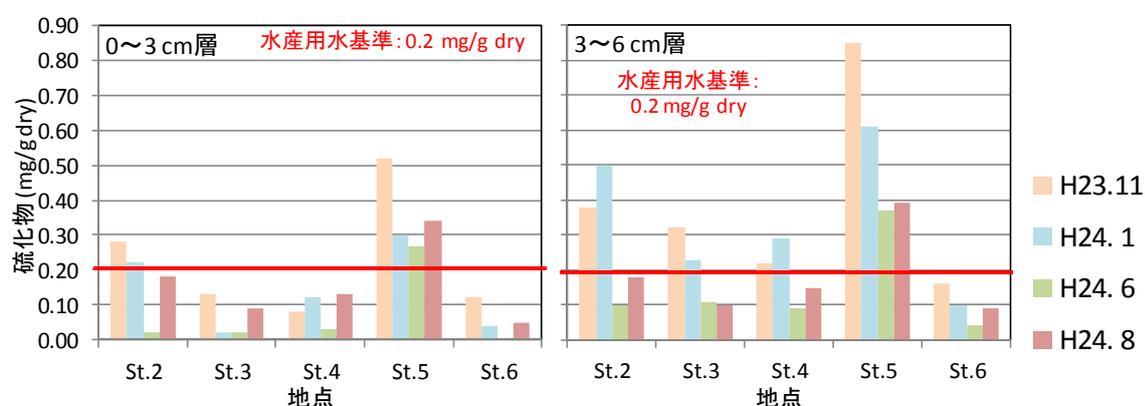


図 3.3-18 三津湾における底泥の全硫化物（左：0～3cm、右：3～6cm）

※ 表層底質と下層底質における硫化物の違い・・・
海水から溶存酸素が補給される表層底質では、硫酸イオンなどに酸化され、硫化物が少なくなる。一方で、下層底質では海水からの溶存酸素供給がないため、有機物の嫌気分解により、硫化水素などの硫化物が多くなる。

(5) 底泥における酸素消費速度

- ✓ 1月及び8月における表層底質の酸素消費速度は、全調査地点で $0.30 \sim 2.52 \text{ g/m}^2/\text{day}$ の範囲にあった。

表層底泥の色調は、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月における底泥の酸素消費速度が $0.30 \sim 1.79 \text{ g/m}^2/\text{day}$ （平均： $1.17 \text{ g/m}^2/\text{day}$ ）であり、8月には $0.44 \sim 2.52 \text{ g/m}^2/\text{day}$ （ $1.67 \text{ g/m}^2/\text{day}$ ）であった（表 3.3-1）。

	1月	8月
St. 2		
St. 3		
St. 4		
St. 5		
St. 6		

図 3.3-19 三津湾における表層底泥の性状

表 3.3-1 三津湾における底泥の酸素消費速度

単位 : g/m²/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) 底泥からの栄養塩類の溶出速度 (全窒素及び全りん)

✓ 底質からの全窒素及び全りんの溶出速度は、1月に比べて8月に大きかった。

底泥からの全窒素及び全りんの溶出速度は、1月に比べて8月に大きくなる傾向を示した(表 3.3-2)。1月には負の値が多くみられ、直上水中で消費されたか、直上水から底泥へ移行したことが暗示された。

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

	全窒素		全りん	
	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月に多く、他の月には少なかったが、その傾向は植物プランクトンの方がより顕著であった。

植物プランクトン群集では、珪藻の割合が 61.1~92.3%と高く卓越していた。植物プランクトンの細胞数は、11月~6月で少なかったが、8月には顕著に多くなり、その傾向はクロロフィル a の変動（前出：図 3.3-10）よりもさらに顕著であった。特に3年養殖筏の近隣である St. 5 では、8月の細胞数が他地点よりも顕著に多かった（図 3.3-20 上段）。

この要因の1つとして、8月に養殖カキの摂食圧が低くなったことが考えられ、反対に8月以外には、カキが必要とする餌量に対して植物プランクトンの細胞数が少ないことが考えられる。これらのことから、三津湾における植物プランクトンの細胞数には、カキの摂食圧が影響していることが示唆された。

また、出現種数も8月に最も多かったが、その中でも珪藻種の増加が顕著であった。このときに急激に細胞数が多かった珪藻類は、*Skeletonema* 属及び *Chaetoceros* 属の種であった。

動物プランクトンの個体数も8月に顕著に多く（図 3.3-20 下段）、その傾向は植物プランクトンと傾向が似ていた。ただし、8月の個体数と8月以外の個体数の比（すなわち増加率）をみると、植物プランクトンに比べて動物プランクトンは小さかった。種組成では、常に節足動物門が卓越していたが、8月には原生動物門、軟体動物門及び原索動物門の個体数も増加した。8月に卓越した節足動物門の種は、カイアシ目の *Oithona davisae* であった。

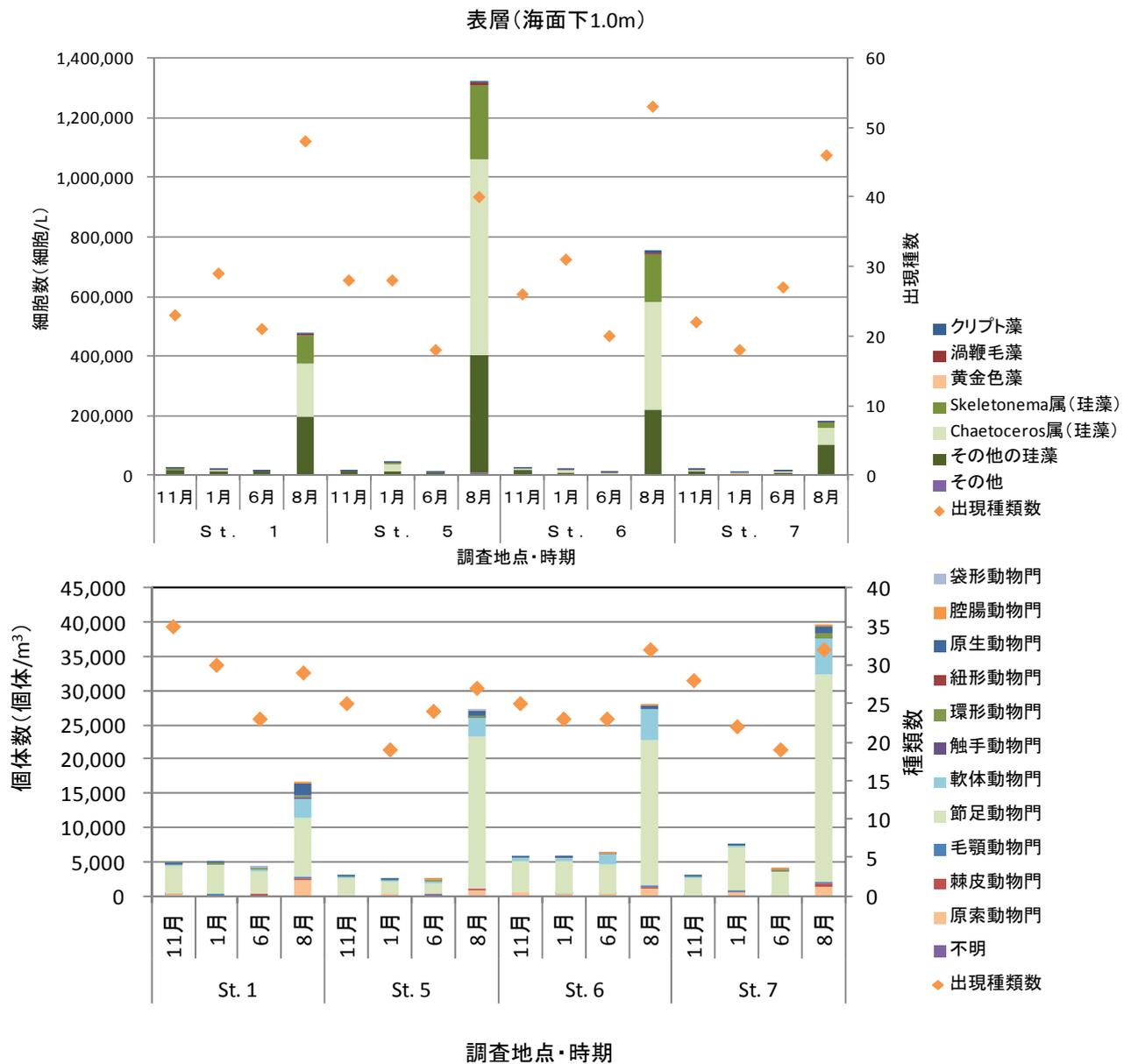


図 3.3-20 三津湾における動、植物プランクトン調査の結果
(上：植物プランクトン、下：動物プランクトン)

(2) 底生生物

- ✓ 底生生物の個体数は、8月に多くなる傾向がみられたが、その変動幅は動、植物プランクトンにみられた変動幅に比べて、明らかに小さかった。
- ✓ 8月にはカタマガリギボシイソメが優占種となり、St. 5 では硫化物耐性が強いといわれるシズクガイも優占した。
- ✓ 優占種の大部分は、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、St. 4 の除く地点で8月に最も多くなり、その傾向は St. 2 で顕著であった（図 3.3-21）。この傾向は、動、植物プランクトンにみられた傾向と類似するが、その変動幅はプランクトンよりも小さかった。ただし、底質環境が不安定であった St. 2 では、他地点よりも季節的な変動幅が大きかった。

8月には St. 2、St. 4 及び St. 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いわれるシズクガイも優占した（表 3.3-3）。優占種のほとんどは、堆積物摂食者であった。

なお、アサリは、全調査期間を通じて、いずれの調査地点においても出現しなかった。

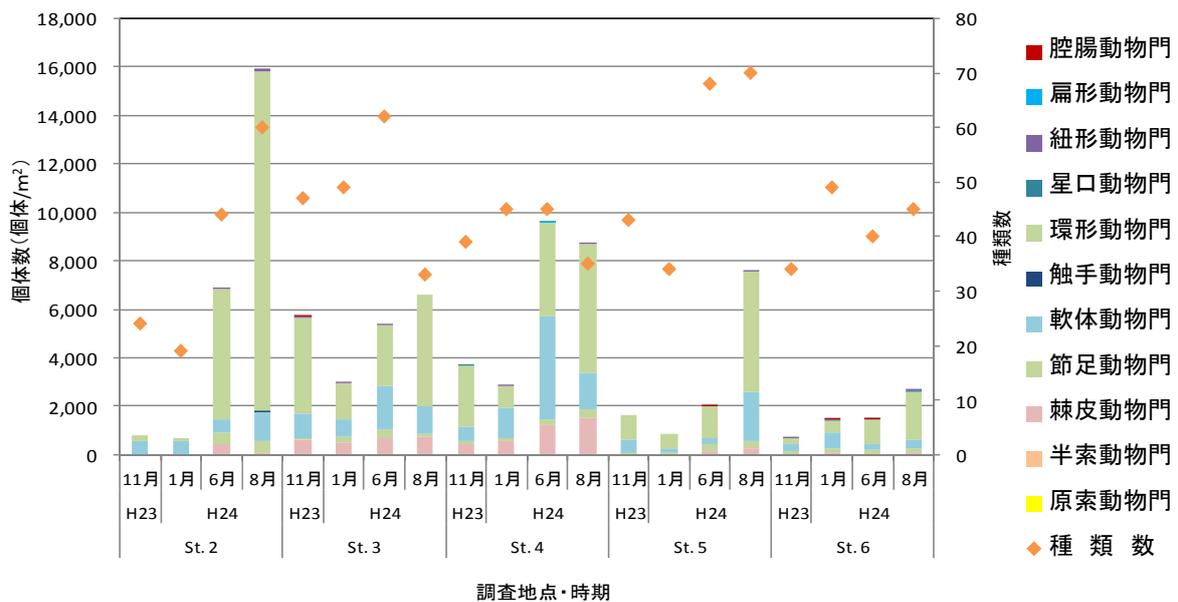


図 3.3-21 三津湾における底生生物調査の結果

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して報告されているウマツラハギ、クロダイなどが確認された。

カキ養殖筏における食害魚調査では、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、アナハゼ、アミメハギ、メバルが確認された (図 3.3-22)。

コモンフグとクロダイは、広島県厳島の海域西部では、夏季～秋季にマガキを捕食していることが報告されており (斉藤ら、2008)、フグ、ウマツラハギ、エイ類 (ナルトビエイなど)、イシダイ、アカニシなども近隣海域の食害魚として挙げられている (塚村ら、2009)。

なお、本調査では、近隣海域からマガキの食害魚として報告された種のうち、ナルトビエイは確認されなかった。

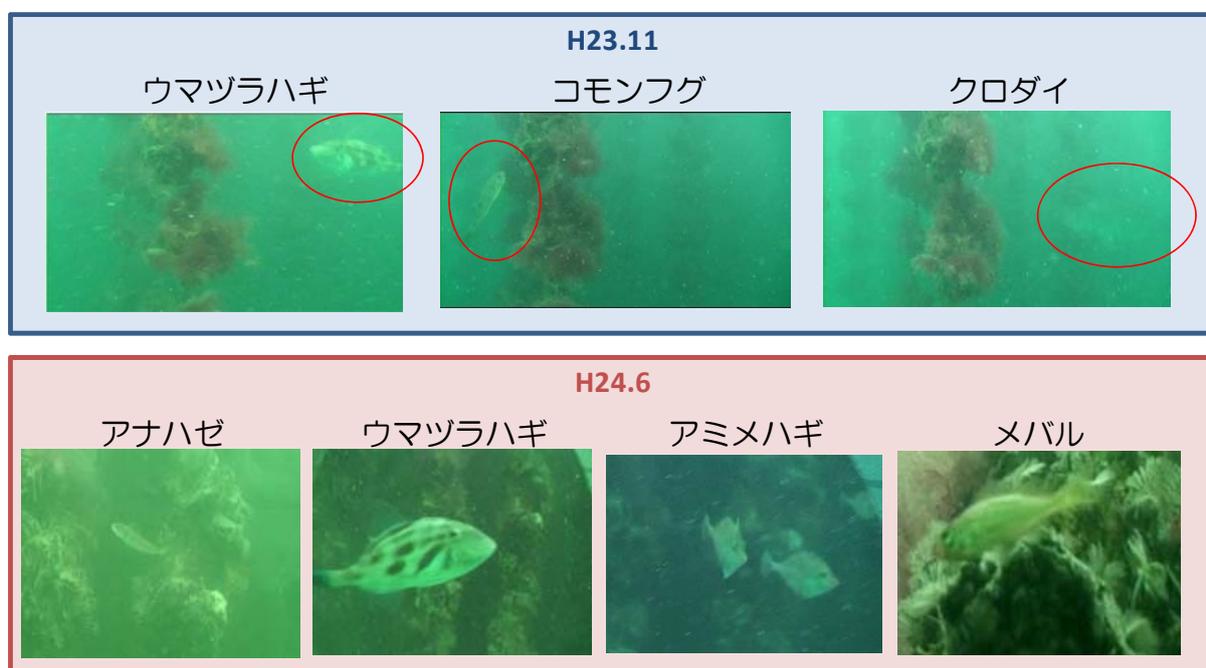


図 3.3-22 三津湾で確認された魚類

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いるが、藍之島から東南に位置する浅瀬でも、わずかであるがアマモを確認した。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）。

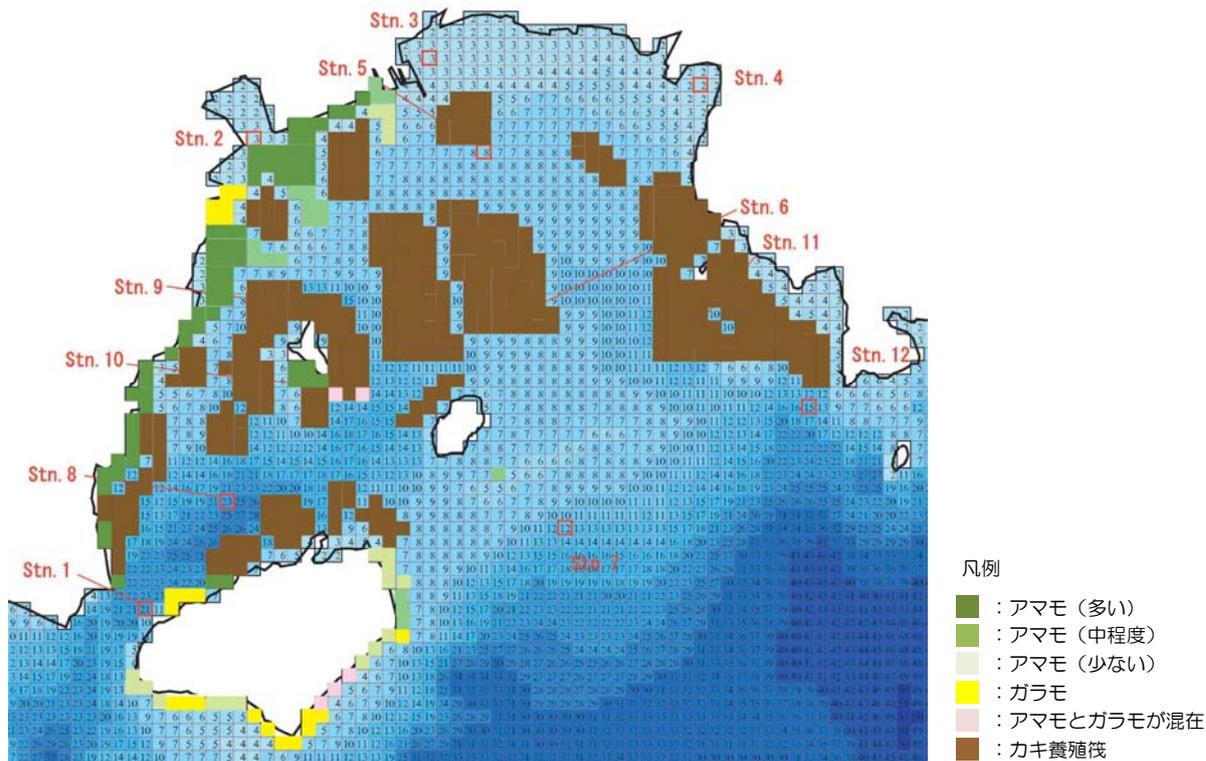


図 3.3-23 三津湾における藻場の状況

(5) 付着藻類

- ✓ 底質のクロロフィル a 量は、8月に比べて6月の方が高かった。

表層底泥（表層 0～1cm）のクロロフィル a 量は、6月に 33.7～101.9mg/m²の範囲内にあり、St. 3 及び St. 5 で最も高く、次いで St. 6 で高かった（図 3.3-24）。8月になるとクロロフィル a 量は減少し、5.6～70.6mg/m²の範囲内になり、最大値はやはり St. 5 でみられた。

その他の調査地点では極めて少なかったものの、調査地点間の傾向は 6 月と同様であった。

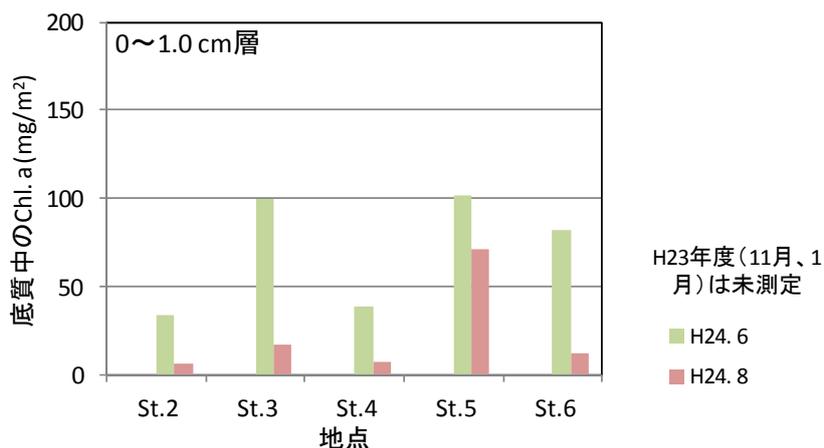


図 3.3-24 三津湾の表層底泥（0～1cm）中のクロロフィル a (Chl. a)

3.4 物質循環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も、湾外からの海水による流入負荷が大きい。
- ✓ 湾奥の一部の海域において、底質の硫化物含有量などが高い。

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。

フロー図からわかるように、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泥の全硫化物含有量などが顕著に高いことが示された。よって、三津湾における健全化に向けての課題としては、以下の 2 点を抽出した。

- 河川からの流入より湾外水の流入の方が大きいため、栄養塩類の濃度が低い。
- 湾奥の一部海域では、底泥の全硫化物などの含有量が高い。

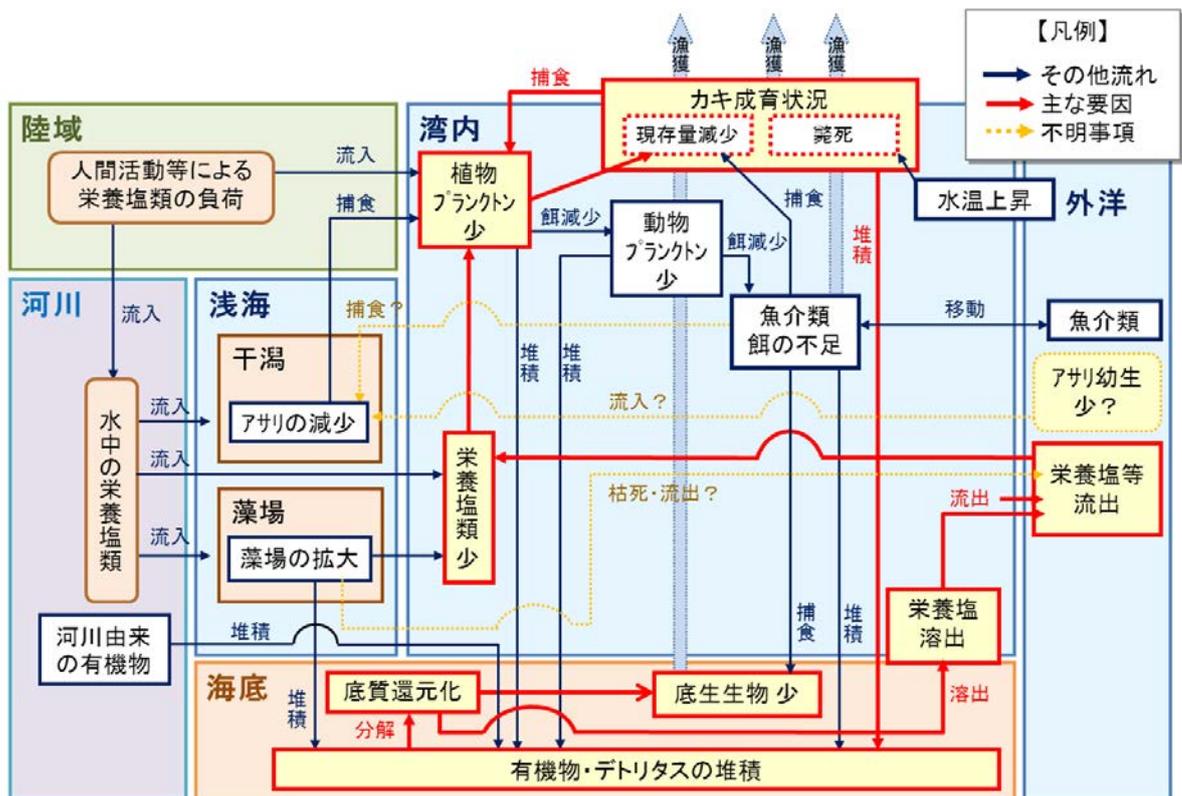


図 3.4-1 三津湾におけるインパクトレスポンスフロー

3.4.2 課題の要因分析 等

- ✓ 現地調査では、三津湾の水質には湾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）は確認されなかった。
- ✓ 湾奥のカキ養殖筏の下（周辺）では、局所的な底質の悪化が確認された。
- ✓ 栄養塩の湾外への流出などにより、基礎生産力がカキの成育に十分でない可能性がある。
- ✓ カキの摂餌圧が低下する8月に、植物プランクトンの細胞数が急激に増加した。

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

不健全な事象である「カキの小粒（成育不良）」は、「低い基礎生産力」及び「カキの餌料として不適当な植物プランクトンの種組成」によると仮定し、さらにその原因として、「海水交換に伴う栄養塩及び植物プランクトンの湾外への流出」及び「カキの摂食圧による植物プランクトンの生産力抑制」を挙げ、これらを検証すべき仮説とした。

1) 栄養塩不足（海水交換に伴う栄養塩及び植物プランクトンの湾外への流出）

- ✓ 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。

三津湾における栄養塩（溶存無機態窒素及びりん酸態りん）の濃度は低く、近隣海域とほとんど同じであった。この低濃度の原因として、湾外との海水交換が速やかであること、及び陸域からの流入負荷が少ないことが考えられる。

シミュレーションの結果によれば、三津湾内水の滞留時間は約2.5日と短く、海水交換が極めて良いことが確認された。

流入河川による陸域からの栄養塩類の負荷量を計算した結果、季節変動はあるものの、2007年3月に安芸津浄化センターの運用が始まった後には、溶存無機態窒素の流入負荷は概ね横ばい、りん酸態りんはやや増加したことが分かった（図3.4-2、図3.4-3）。

しかし、シミュレーションの結果は、この陸域からの流入負荷よりも、海水交換による湾内外での流入出フラックスの方が一桁以上高いことを示した（図3.4-4）。

植物プランクトンは栄養塩のような溶存態ではないが、そのサイズは小さく、特に本調査で優占した珪藻が海水の流動に逆らって能動的に移動する運動能力を欠いているので、流出する栄養塩とともに湾外に流出することは明らかである。

以上のことから、三津湾内の栄養塩類の濃度は、湾外との海水交換に主に支配されており、湾内で植物プランクトンが増殖する程度は極めて小さく、基礎生産力が低くなっていると考えられた。

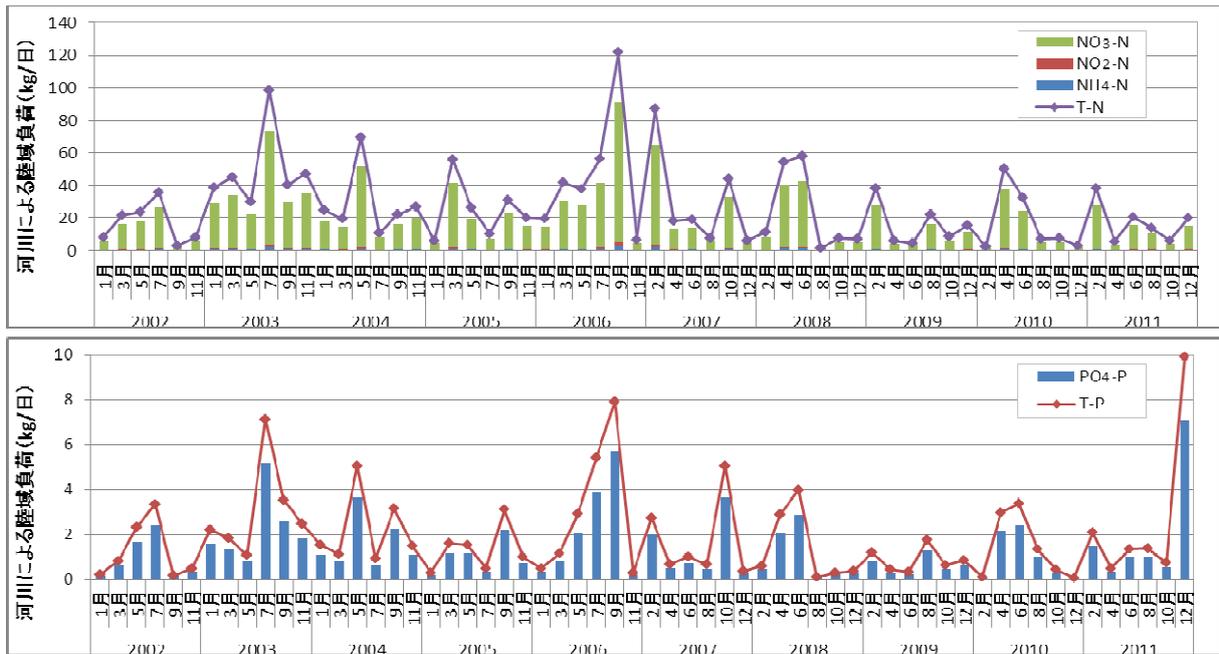


図 3.4-2 三津湾の流入河川による負荷量

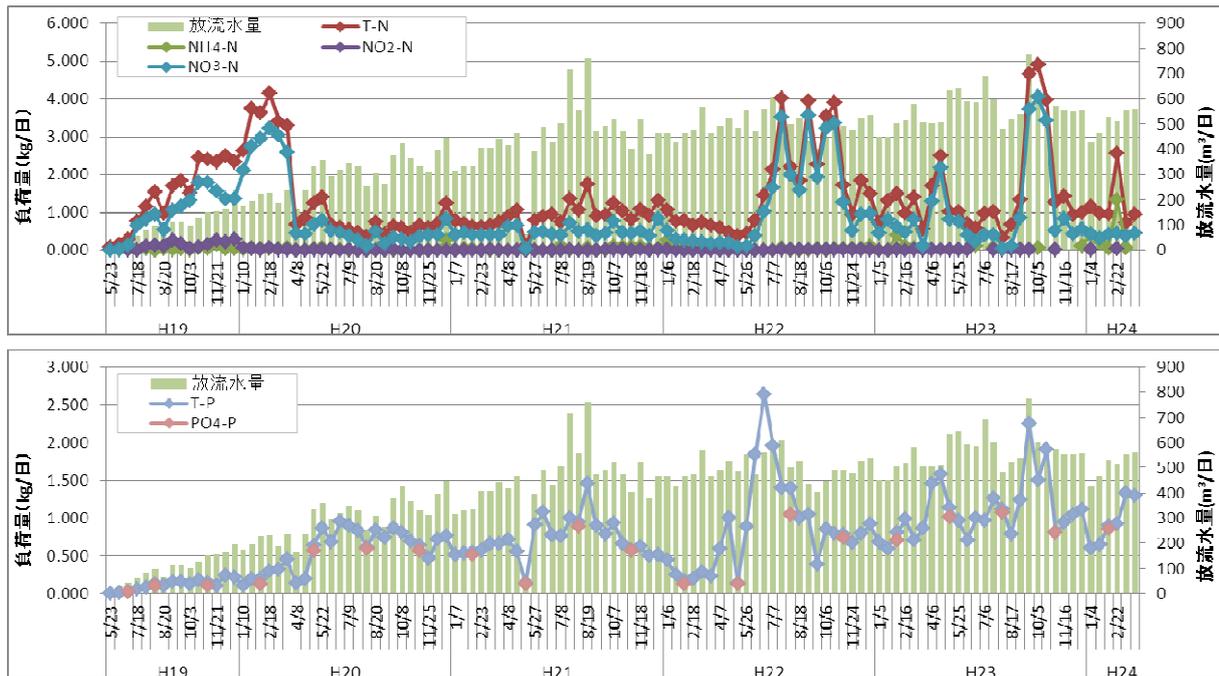


図 3.4-3 安芸浄化センターからの流入負荷量

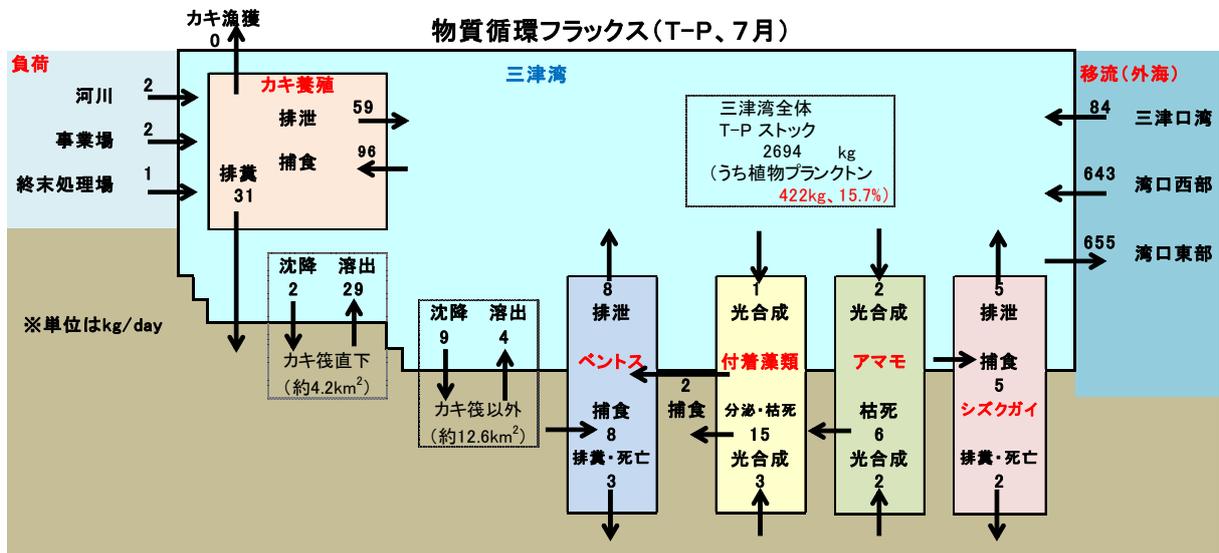
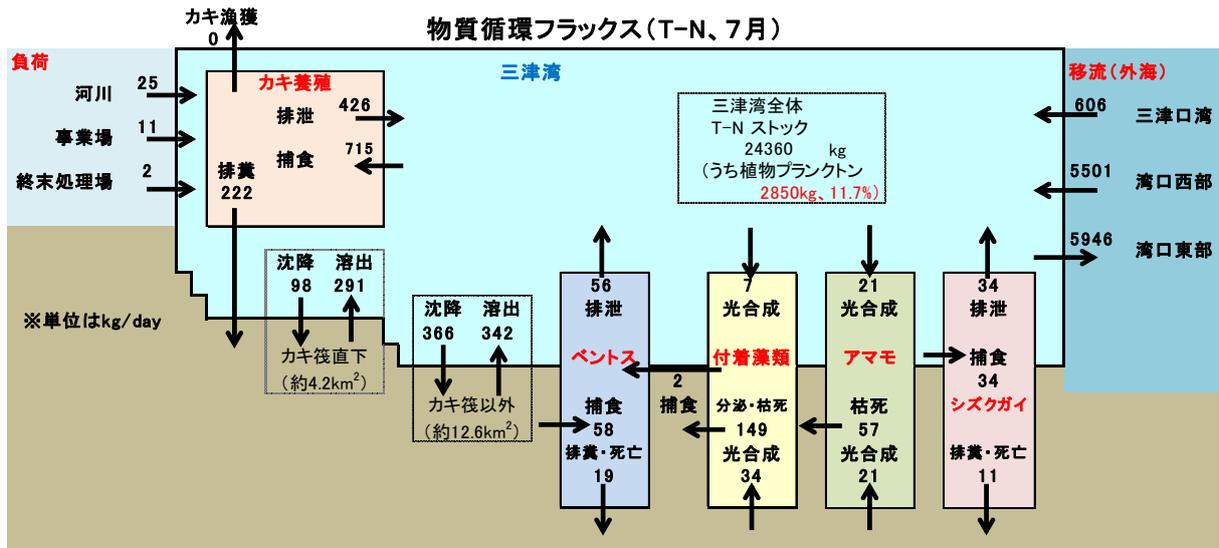


図 3.4-4 全窒素 (T-N、上) 及び全りん (T-P、下) のシミュレーションの結果

2) カキの摂餌（カキの摂食圧による植物プランクトンの生産力抑制）

- ✓ カキの摂食圧によっ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、カキの摂食圧も要因の1つとして懸念された。

植物プランクトンの細胞数は、11月～6月に少なかったが、8月には顕著に多かった。同時に、動物プランクトンも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月のクロロフィル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月に摂餌に伴う濾水量が他月に比べて低くなり(楠木、1978)、摂餌行動につながる鰓の繊毛運動も産卵期(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、三津湾で植物プランクトンが8月に顕著に多かったのは、この時期に養殖カキの摂食圧が小さくなったためだと推察される。そうだとすれば、6～11月に植物プランクトンが少なかったのは、カキの摂食圧が大きかったためだと考えられる。すなわち、6～11月には、マガキの成長は植物プランクトン量に律速されており、植物プランクトンの生産はマガキの摂食圧で抑制されていることになる。

以上のことから、カキの摂食圧による植物プランクトンの生産力抑制は検証された。

3) 植物プランクトンの種組成（カキの餌料としての妥当性）

- ✓ 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い一方で、カキに被害をもたらす種は確認されなかったことから、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、瀬戸内海では渦鞭毛藻である *Heterocapsa circularisquama* による二枚貝の斃死が起きており、植物プランクトンの種によってはカキが斃死する可能性もある。

三津湾では、植物プランクトン群集における珪藻の割合は常に高く(61.1～92.3%)、植物プランクトンの種組成には問題がない上、マガキの成育に被害をもたらす *H. circularisquama* などの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判断された。

4) 基礎生産力の低下のメカニズム

- ✓ 基礎生産力が低い要因として、海水交換が良く、栄養塩と植物プランクトンが常に湾外水によって希釈、あるいは湾外へ流出していることが指摘される。

以上の検証結果を図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)には、マガキの摂食圧が大きいため、植物プランクトンがほとんど増殖しないことも要因として挙げられ、それら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。